

REPUBLICA DE CUBA  
MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO  
FACULTAD METALURGIA - ELECTROMECHANICA

TRABAJO DE DIPLOMA

Titulo: SEPARACION DE NIQUEL Y COBALTO DEL  
SULFURO DE LA FABRICA DE MOA.

Autor: YANEISY POSO HERRERA

Tutor: Ing MIGUEL PELEGRIN

Lic ROGELIO GARCIA



1984 MOA HOLGUIN

AGRADECIMIENTO

Agradezco la valiosa colaboración prestada por el --  
Ing. Profesor: Miguel Pelegrín y el Lic. Rogelio --  
García Sánchez que me brindaron su valiosa coopera-  
ción en la realización de este trabajo y a pesar de  
sus múltiples ocupaciones siempre pudimos contar --  
con su ayuda y a todos aquellos que de una forma u  
otra pusieron su granito de arena a veces no tan pe-  
queño y son muy numerosos para citar sus nombres --  
aquí.

Muchas gracias

Yaneisy Pozo Herrera

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de Grado al XXV Aniversario --  
del Triunfo de la Revolución, así como en especial  
a mis hermanas que me han brindado toda la ayuda -  
en el transcurso de mis años, y gracias a ella he-  
logrado llegar con éxitos a culminar felizmente --  
mis estudios.

<u>INDICE</u>	<u>PAGINAS</u>
RESUMEN	1 - 2
INTRODUCCION	3 - 3-A
BREVE DESCRIPCION DEL PROCESO TECNOLO GICO DE LA FABRICA CMDTE. "PEDRO SOTO ALBA"	4 - 5
ESTUDIO DE LOS TRABAJOS REALIZADOS PA RA EL TRATAMIENTO DE LOS SULFUROS DE- NIQUEL Y COBALTO OBTENIDOS EN LA FA- BRICA DE MOA	6 - 9
TEORIA DE LA EXTRACCION LIQUIDO - LI- QUIDO	10 - 28
METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	29 - 67
CONCLUSIONES	68
RECOMENDACIONES	69
BIBLIOGRAFIA	70

RESUMEN

Este Trabajo "Separación del Níquel y Cobalto de los Sulfuros de la Fábrica de Moa", contiene una breve descripción del proceso tecnológico de la Fábrica Cmdte. "Pedro Soto Alba", un estudio de los trabajos realizados para el tratamiento de estos sulfuros por distintos métodos, una valoración de la teoría del proceso de la extracción líquido - líquido, y los esquemas tecnológicos más utilizados, las metodologías de las principales operaciones del nuevo esquema tecnológico propuesto, entre los que se destacan la Calcinación, lixiviación, extracción con lix - 64N y reextracción del níquel, los cálculos, tablas, gráficos, las conclusiones, recomendaciones y bibliografía consultada.

Dentro del nuevo esquema tecnológico propuesto en éste trabajo, la mayor atención se le presta a la etapa de la Separación del Níquel y el Cobalto por medio del empleo del extrayente lix - 64N disuelto en Kerosene al 40%.

Se logra separar totalmente el níquel del cobalto en tres etapas de extracción continua y a contracorriente. El níquel es extraído totalmente y luego reextraído por medio de una solución de HCL. El Cobalto se queda totalmente en el refinado o fase acuosa que sale de la última etapa de extracción.

Las soluciones acuosas ricas en níquel y cobalto se cristalizan y se obtienen sales de níquel y cobalto por separado.

Al final del trabajo se expone una serie de recomendaciones necesarias para completar el estudio de la Separación del Níquel y Cobalto por el método propuesto.

El Diploma consta de 70 Páginas, 26 Tablas, 6 Gráficos y Dibujos.

### INTRODUCCION

La Empresa "Cmdte. Pedro Soto Alba", fundamenta su proceso en el tratamiento hidrometalúrgico a presión con ácido sulfúrico del mineral laterítico previamente preparado.

Los valores del Níquel y Cobalto pasan a la solución en forma de sulfatos solubles. Después de la separación de los residuos, la solución es tratada con un agente neutralizante para eliminarle parte del ácido libre que contiene. Posteriormente por medio del  $H_2S$  y en condiciones de alta presión y temperatura en autoclaves se precipitan los sulfuros de Níquel y Cobalto. El concentrado de  $NiS + CoS$  es el producto final que hasta el presente contempla el esquema tecnológico de esta industria.

Este producto es de alta calidad y es exportado hacia la URSS, por lo que constituye una fuente de divisas importante para la Economía Nacional.

Dada la importancia que tiene para el país la diversificación de la producción metalúrgica y la obtención de los valores metálicos comerciales a partir de nuestras materias primas metalíferas, varios investigadores han propuesto distintos procedimientos de elaboración del concentrado sulfuroso producto del proceso de la fábrica de Moa, para la obtención de Ni, Co y demás metales contenidos en él en forma pura ó de compuestos. Los esquemas elaborados tienen ventajas y desventajas.

En los últimos años han adquirido gran difusión los métodos de recuperación, separación y concentración de metales con el empleo de extrayentes orgánicos. La utilización

de esta tecnología ha sido probada por varios investigadores para la separación de los metales contenidos en los sulfuros. Teniendo en cuenta las perspectivas de éste procedimiento, el presente trabajo se propone como objetivo fundamental separar el Níquel y el Cobalto del concentrado sulfuroso a través del esquema simplificado: concentrado de sulfuros → Calcinación → Lixiviación con Hcl → Eliminación de impurezas → Separación del Ni y el Co por medio del extractante Lix - 64N.

Las primeras etapas de éste proceso han sido debidamente estudiadas por otros investigadores, por lo que en este trabajo no se le presentó gran atención.

Con más detalle se investigó la separación de los metales a partir de la solución Cloruro - Amoniacal con el extractante Lix - 64N, constituyendo éste el primer trabajo que se propone este fin.

I - BREVE DESCRIPCION DEL PROCESO TECNOLOGICO DE LA -  
FABRICA CMDTE. "PEDRO SOTO ALBA"

La Empresa Cmdte. "Pedro Soto Alba", situada al -  
Noroeste de la Provincia de Holguín, en la ciudad  
de Moa, es un complejo hidrometalúrgico que con--  
templa en sus actividades desde el desarrollo mi--  
nero de los yacimientos hasta el embarque para su  
comercialización del Sulfuro de Níquel y Cobalto.  
En el dibujo Nro. 1 se muestra el esquema tecnoló--  
gico Simplificado de la Fábrica de Moa.

El proceso de obtención de sulfuros de Níquel y -  
Cobalto de dicha fábrica comienza en la prepara--  
ción del mineral.

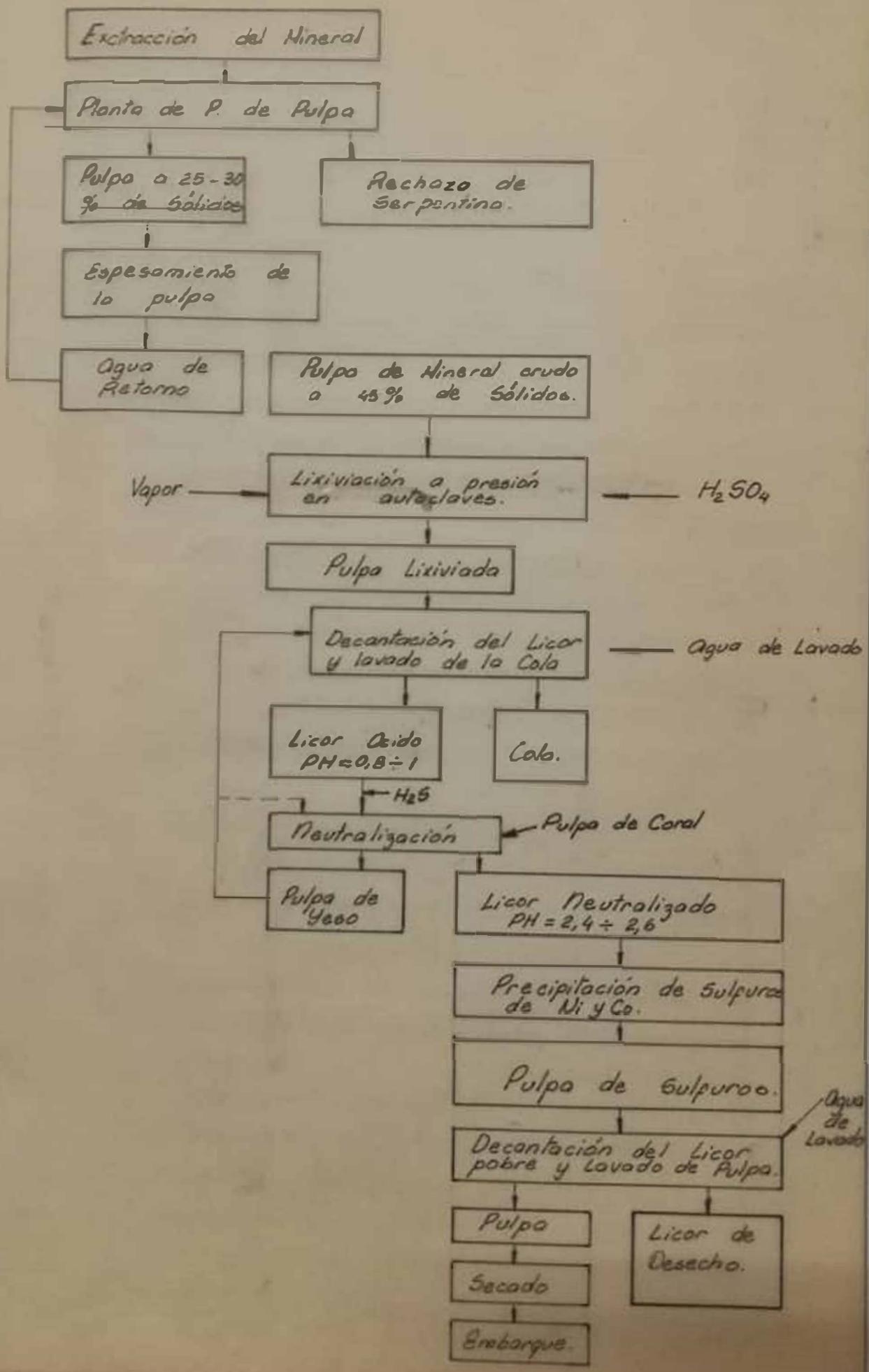
En ésta planta, una parte del mineral extraído de  
las minas ( a cielo abierto ) se transporta por -  
medio de camiones y la otra por el transportador--  
hasta la planta de preparación de pulpa, cuyo ob--  
jetivo es preparar una pulpa acuosa de un 25 a --  
30% de sólido y 0,023 pulg. (0, 584 mm) de tamaño  
de las partículas. Dicha pulpa se envia por grave--  
dad a la planta de espesadores de pulpa, donde se  
somete a un proceso de espesamiento para aumentar  
el porcentaje de sólido hasta un 46 - 47%. Esta --  
pulpa es sometida posteriormente al proceso de -  
lixiviación, en el cuál se le inyecta  $H_2SO_4$  con--  
centrado al 98% de pureza a temperatura y presión.  
En ésta p.lantase lixivian selectivamente los me--  
tales de níquel y cobalto en forma de sulfatos, -  
obteniéndose una pulpa rica en éstos elementos --  
que es enviada al sistema de decantación y lavado

a contracorriente, en el que participan siete tanques sedimentadores, en el cuál se obtiene un residuo (cola) y un licor rico en sulfatos de níquel y cobalto, que posteriormente se alimenta a la sección de neutralización., la función de ésta sección consiste en bajar el grado de acidez del licor, para ello se le añade una sustancia básica: El Carbonato de Calcio contenido en el Coral que al reaccionar con el ácido en un sistema de cuatro reactores el Ph queda en 2,4 a 2,6 que es el ideal para que precipiten selectivamente los sulfuros de níquel y cobalto en las autoclaves de sulfuros.

La Planta de Precipitación de Sulfuros constituye el eslabón final del proceso metalúrgico de la fábrica Cmdte. "Pedro Soto Alba", es también un ejemplo clásico de tratamiento químico bajo severas condiciones de operación. En ella como su nombre lo indica, ocurre la precipitación de los sulfuros de níquel y cobalto mediante reacción directa de los sulfatos de níquel y cobalto con el gas sulfhídrico bajo condiciones de presión y temperatura en las autoclaves de precipitación. El producto obtenido de ésta forma, pasa a un tanque de despresurización donde se separan los gases de la pulpa. Esta última es enviada a los sedimentadores.

El Producto de Sulfuro espeso se lava, seca y se exporta hacia la URSS.

# Esquema Tecnológico Simplificado de la Fca. de Mo.



II - ESTUDIO DE LOS TRABAJOS REALIZADOS PARA EL TRATAMIENTO DE LOS SULFUROS DE NIQUEL Y COBALTO OBTENIDOS EN LA FABRICA DE MOA

La separación de níquel y cobalto de los sulfuros obtenidos en la Fábrica de Moa, ha sido durante muchos años objeto de estudio de los investigadores dedicados a ésta rama de la hidrometalurgia. Entre los trabajos realizados para el tratamiento de éste producto podemos citar los siguientes:

- 1.- Procesos de Separación del Níquel y el Cobalto por Hidrometalurgia a Presión. Método de la Freeport Nickel Company.
- 2.- Proceso de Separación de Ni, Co y Cu, en licores Sulfato - Amoniacales con el empleo del Método de Extracción por solventes, realizados por los investigadores del CIPIMM (Lic. Esteban Alonso, Ing. Osvaldo Granda y otros).
- 3.- Proceso de Refinación del Concentrado de Sulfuro de Moa, realizado por los Ing. Raúl de la Nuez y Lino Chaviano.

A continuación planteamos la esencia de cada uno de éstos trabajos.

PROCESO DE SEPARACION DEL NI Y EL CO POR HIDROMETALURGIA A PRESION, METODO DE LA COMPAÑIA FREEPORT NICKEL

Este proceso consiste (1) en la disolución de los sulfuros a presión en un medio ácido. La solución lixiviada es purificada, primero, mediante el ajuste de Ph a 5,5 para precipitar el hierro, el aluminio y el cromo y posteriormente, después de la cla

sificación y reajuste de Ph a 1,5, mediante la precipitación controlada de cobre, plomo y zinc, por sulfuro de hidrógeno. Una vez purificada la solución, que ahora contiene aproximadamente 50-gpl de níquel y 5 gpl de cobalto y pequeñas cantidades de sulfato de amonio, es reducida directamente por hidrógeno. Bajo un Ph estrechamente controlado, aproximadamente el 95% del níquel es recuperado como un producto puro como resultado de ésta operación.

El licor reducido es concentrado por evaporación hasta que todos los valores de metales residuales se precipitan en forma de sulfatos dobles. Estos son posteriormente redissueltos en amoniaco acuoso y la separación del níquel y cobalto se efectúa por el proceso de la amina cobáltica soluble. El sulfato de níquel amoniacal producido en el transcurso de ésta separación es recirculado a la etapa de la purificación y la solución que contiene cobalto es tratada con hidrógeno para la recuperación del cobalto metálico puro. El Sulfato de amonio tipo fertilizante es otro valioso producto de éste proceso.

PROCESO DE SEPARACION DE NI, CO Y CU EN LICORES-SULFATO - AMONIACALES CON EL EMPLEO DEL METODO DE EXTRACCION POR SOLVENTES

Este proceso consiste (2) en la disolución del sulfuro de níquel y cobalto en autoclaves, el cual está basado en el tratamiento de éste con una solución sulfato de amonio e hidróxido de

amonio bajo presión de oxígeno.

Se determinaron a nivel de laboratorio los parámetros principales del tratamiento de los licorres sulfato - amoniacaes obtenidos en la disolución de concentrados de sulfuros de níquel y cobalto para la separación del níquel, cobalto y cobre con el empleo de este método, utilizando el extrayente lix - 64N disuelto en 40% en Kerosene de aviación, a fin de obtener productos finales de pureza aceptable.

La desventaja de este método es que el sulfuro obtenido contiene níquel en cantidades que pueden variar de 1 a 4 veces el contenido de cobalto, lo que requiere de una etapa posterior de refinación para obtener metales puros.

#### PROCESO DE REFINACION DEL CONCENTRADO DE SULFUROS DE MOA

Los elementos fundamentales del esquema tecnológico propuesto para el procesamiento del concentrado de sulfuros de la planta de Moa (3) son las operaciones de lixiviación clorhídrica de los sulfuros, separación por extracción de las impurezas metalúrgicas (Fe, Zn, Co), con el extrayente Tributillfosfato (Fe) y Trianquilamina (Zn y Co); - cristalización del cloruro de níquel y descomposición térmica de este último, con la obtención del protóxido de níquel comercial y de ácido clorhídrico circulante. El agua que se desprende durante la disolución de los sulfuros, puede ser utilizado en el esquema principal de la planta.

Tomando en consideración las ventajas y desventajas de las investigaciones procedentes y además que con ellas no se han agotado todas las vías para el tratamiento de este concentrado de sulfuros, nos dimos a la tarea de elaborar un nuevo procedimiento para separar los elementos contenidos en esa materia prima.

Teniendo en cuenta que este nuevo procedimiento incluye como operación principal la separación de los metales por medio de la utilización de un extrayente orgánico, consideramos necesario exponer de forma breve la teoría de este proceso.

### III - TEORIA DE LA EXTRACCION LIQUIDO - LIQUIDO

#### 3.1 - NOCIONES GENERALES SOBRE LOS PROCESOS DE - EXTRACCION CON SOLVENTES.

Los primeros procesos de extracción se realizaron hace más de 100 años. Sin embargo, sólo en los años 30 éste método se empleó ampliamente en la química analítica y en los últimos 25 años se emplea industrialmente, en general en la tecnología de los combustibles nucleares. El empleo de la extracción en la industria atómica se conoció por primera vez en la conferencia de Ginebra, en 1955, sobre el uso pacífico de la energía atómica.

El empleo industrial de la extracción sirvió de gran impulso al desarrollo de los trabajos de investigación de la química de extracción.

En los últimos años, la extracción se ha confirmado fuertemente no sólo en la industria atómica sino en la química, como es la química del petróleo y también empieza a introducirse en la metalurgia no ferrosa. Se ha ampliado grandemente el marco de los procesos estudiados y de los reactivos de extracción. Empleándose en las investigaciones científicas los métodos más diversos físico - químicos, termodinámicos, cinéticas, espectrales. El amplio empleo de métodos de equilibrio con el uso de la ley

de acción de masas permitió acumular muchos datos sobre los procesos de extracción por ejemplo el coeficiente de distribución, de separación, constantes de extracción, los cuáles dan la posibilidad de calcular exitosamente muchas aplicaciones prácticas de los procesos de extracción. Paralelamente al desarrollo de las investigaciones de los procesos se desarrolla la producción de nuevos extrayentes. Es de gran importancia la relación entre la estructura de la molécula del extrayente y su facilidad de extracción. La extracción líquida es el proceso de recuperación de la sustancia (compuestos metálicos) desde la solución acuosa hacia la fase orgánica líquida inmisible en el agua. Luego por reextracción se hace pasar hacia la fase acuosa el metal extraído por la fase orgánica, y de ésta manera el extrayente orgánico se regenera y se emplea de nuevo en el proceso.

La extracción en los esquemas hidrometálicos de elaboración de materias primas metalíferos resuelve los mismos problemas que la sorción con resinas: Recuperación de los metales desde soluciones pobres, la purificación de éstas soluciones y la obtención de soluciones purificadas y concentradas en el metal útil.

También por extracción se pueden separar elementos de propiedades muy similares. Con el empleo de la extracción con solventes dejan de emplearse las operaciones de purificación de la solución por precipitación de los metales ó de los compuestos poco solubles de éstas, las operaciones de filtración y lavado, todas las cuáles son costosas y difíciles de ejecutar.

La extracción con solventes se efectúa en equipos relativamente sencillos y que trabajan en régimen continuo (ésta es una ventaja sensible respecto a la sorción). El proceso es fácil de automatizar. La regeneración de los solventes garantiza la economía de éste método, sin embargo, la relativa solubilidad de los extrayentes en el agua y el alto costo de éstos son limitantes en su empleo.

La utilización de la extracción líquida simplifica los esquemas tecnológicos, permite en muchos casos aumentar la recuperación de los metales y la elaboración compleja de la materia prima.

En la actualidad la extracción con solventes se emplea en la hidrometalurgia para la recuperación y purificación del uranio, indio, talio, germanio, telurio, la recuperación del cobre, la separación del níquel y el cobalto, la recuperación y separación --

del tantalio y niobio, del circonio y hafnio, del molibdeno y renio, recuperación del walframio, recuperación, separación, y purificación de metales raros y de los metales del grupo del platino.

Para entender los procesos de extracción hay que conocer los siguientes términos:

#### EXTRAYENTE

Sustancia orgánica que forma con el metal que se extrae un complejo ó sal que es soluble en la fase orgánica y no en la acuosa.

Sirven de extrayentes diferentes ácidos orgánicos, alcoholes, éteres, aminas, etc. Ejemplo: Lix - 64N, tributilfosfato, trialkilamina.

#### DILUENTE

Sustancia orgánica, inmisible en el agua que sirve de disolvente del extrayente. -- Los disolventes más propagados son el Kerosene, xilol y otros.

Los diluentes mejoran las características físicas de los extrayentes (la viscosidad, la densidad, etc).

El diluyente no reacciona con el metal que se extrae ( de aquí que con frecuencia se utilice el término << diluyente inerte >> ), pero él influye sensiblemente en los indicadores de la extracción (la selectividad, el coeficiente de distribución, etc).

### SALINIZADOR

Sustancia inorgánica (con frecuencia un - electrolito) que mejora los indicadores - de la extracción. La adición en la solu-- ción acuosa del salinificador permite la formación de moléculas no dissociables que fácilmente se extraen ó provoca la forma- ción de complejos fácilmente extraíbles.

### EXTRACTO Y REFINADO

Son correspondientemente la fase orgánica y la fase acuosa después de la extracción.

### REEXTRACTO

Fase acuosa que se obtiene después de la reextracción, es decir, del paso del me-- tal desde el extracto hacia la solución - acuosa.

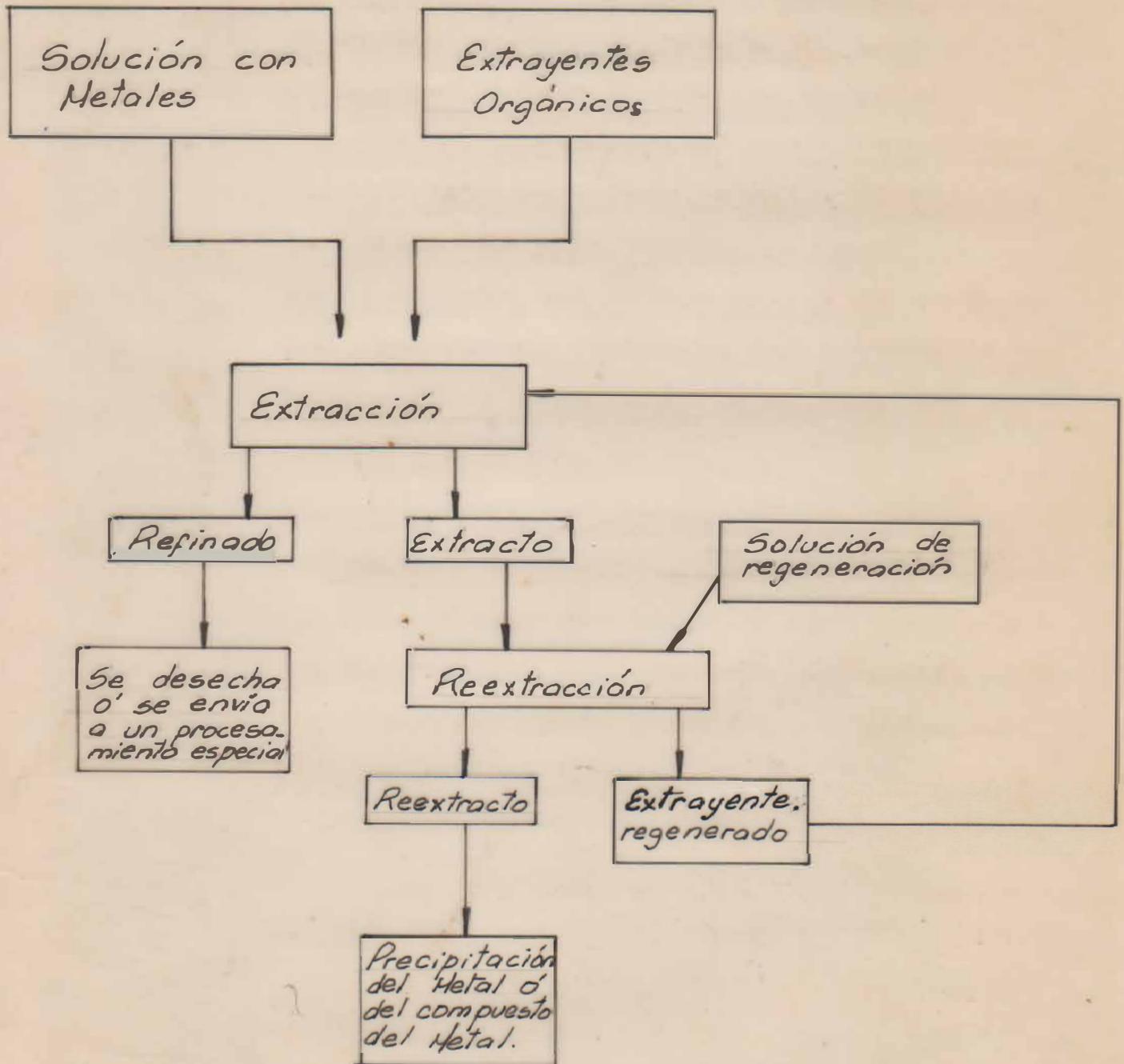
El extrayente debe de poseer buena capaci- dad de extracción y selectividad respecto al metal que se extrae, poca solubilidad- en el agua y en las soluciones acuosas de ácidos y álcalis. Una condición importan- te que debe poseer el extrayente es la fa- cilidad en su regeneración para su retor- no al proceso de extracción. Además el ex- trayente debe ser estable en soluciones a- cuosas ( no debe hidrolizarse, oxidarse ó reducirse por los componentes de la solu- ción.

Para que exista una buena separación de -- las fases después de su agitación es necesario que el extrayente (si se emplea sin diluyente) posea poca viscosidad y se diferencie de la fase acuosa por su densidad.

Para evitar incendios, el extrayente debe ser relativamente poco volátil, difícilmente inflamable y no tóxico.

En el esquema del Dibujo Nro. 2 se muestran las operaciones generales del proceso de -- extracción y separación de metales con solventes orgánicos.

# Principales Operaciones del Proceso de Extracción y Separación de Metales con solventes orgánicos.



**3.2.- CLASIFICACION DE LOS PROCESOS DE EXTRACCION**

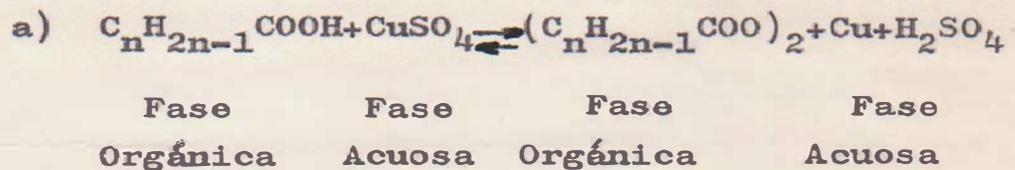
No existe en la actualidad una clasificación única de los procesos de extracción. La clasificación más simple establece 4 tipos de procesos de extracción.

**1 - DISTRIBUCION FISICA SIMPLE.**

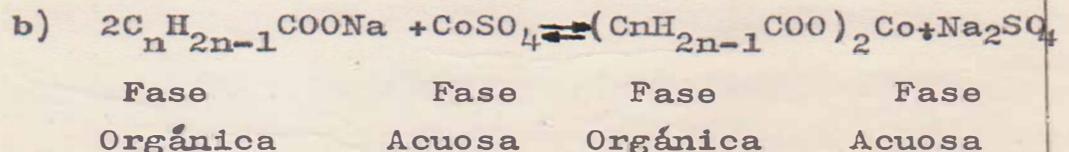
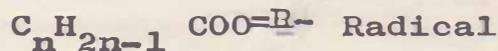
Durante la extracción no ocurren reacciones químicas. Este tipo de extracción en la metalurgia se emplea muy poco, se extraen moléculas covalentes simétricas. Por ejemplo: el  $I_2$  ó  $GeCl_4$ , cuya solubilidad en el Kerosene generalmente es mucho mayor que en el agua.

**2 - EXTRACCION DE INTERCAMBIO DE CATIONES**

Durante éste proceso ocurre el intercambio de cationes entre la fase acuosa y la orgánica. Ejemplos de extracción de éste tipo puede servir los siguientes:

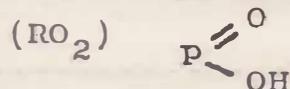


Donde:



Entre los extrayentes de intercambio catiónico se encuentran.

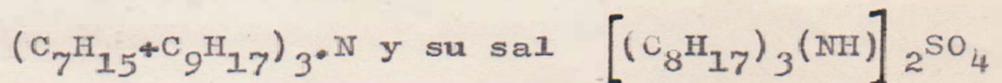
- El ácido nafténico ( $C_nH_{2n-1}COOH$ )
- El ácido di-2 Etilgüekilfosfórico ---



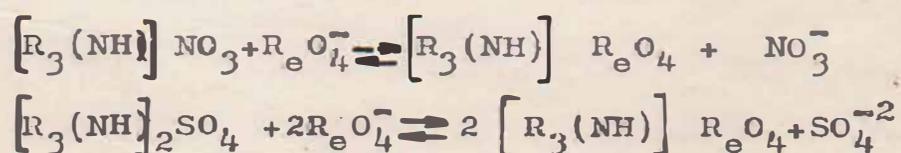
- El lix - 64N  $(R \begin{array}{l} \text{---} \text{OH} \\ \text{---} \text{NO} \\ \text{---} \text{H} \end{array})$

### 3.- EXTRACCION DE INTERCAMBIO DE ANIONES

Por éste método se extraen los aniones de los metales. Las principales sustancias extrayentes en éste caso son las sales amins y sales amoniacaes. Las sales amoniacaes se utilizan en medios básicos y ácidos y las amins se utilizan en medios ácidos. Las amins que se emplea en la hidrometalurgia contiene con frecuencia radicales carbonosos con 7 - 9 átomos de carbono. La amina más empleada es la trialquilamina (TAA) cuya fórmula química es:



Una reacción de intercambio aniónico típica es la siguiente:



4.- EXTRACCION CON EXTRAYENTES NEUTRALES

Estos extrayentes se caracterizan por --  
contener átomos activos  $\left[ \begin{array}{c} \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{array} \text{O} \equiv \text{N} : \right) \text{ y } \left[ \begin{array}{c} \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{array} \text{S} \right)$

Ejemplos:

- a) Alcoholes - R-O-H, el radical R contiene de 6 - 12 átomos de carbono.
- b) Eteres simples - R - O - R.
- c) Tributilfosfato - TBF (RO<sub>3</sub>) P=O (donde -- R - C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>).
- d) Dialquelsulfoxida (C<sub>8</sub>H<sub>17</sub>)<sub>2</sub>S = O

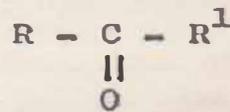
Los ejemplos de éstas clases de extrayentes--  
se muestran a continuación.

3.3.- PRINCIPALES TIPOS DE EXTRAYENTES

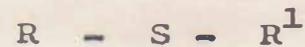
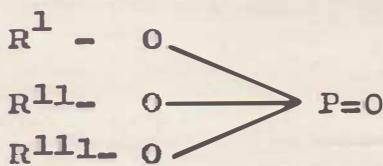
I Alcoholes



Cetonas

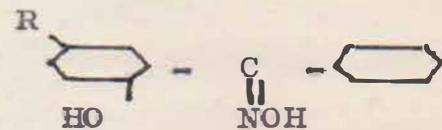
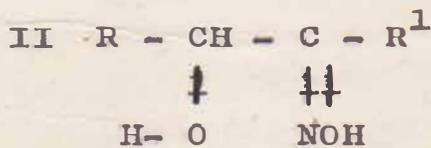


Eteres



Alquil-Fostatos

Sulfos-óxidos

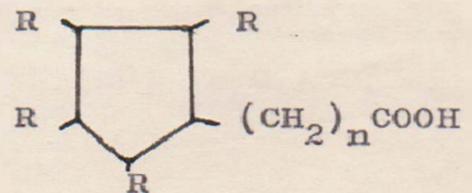


Lix 63

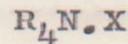
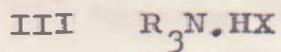
Lix 64

( R - COOH)

Acidos Grasos



Acidos Nafténicos



Sales Aminas

Sales ZAO

Los siguientes extrayentes tienen mayor interés desde el punto de vista del empleo en la hidrometalurgia del cobre, níquel y cobalto: los ácidos nafténicos, los ácidos alquifosfóricos, las aminas ternarias y las sales básicas cuaternarias de amonio. No se mencionan los ácidos carbónicos ya que su empleo en la actualidad está limitado debido al pequeño valor de los coeficientes de distribución. El mayor número de los procesos de extracción de los metales no ferrosos está relacionado con los procesos de intercambio iónico.

#### 3.4.- CINETICA DE LOS PROCESOS DE EXTRACCION

Lo primero y lo más importante del proceso de extracción es la cinética del proceso. Debido a los buenos índices cinéticos de extracción, el volumen de equipos de extracción es mucho menor que en el caso de la sorción. Siendo por consiguiente menor también la carga simultánea de extrayente en comparación con el absorbente. Existiendo en el sistema solamente la fase líquida, los equipos son más sencillos y facilitan la mecanización del proceso. Por éstas razones, el proceso de extracción es más flexible y más fácil de acondicionar a las variaciones bruscas de los

parámetros iniciales (composición de los -  
licores, flujos de fases, etc).

A las deficiencias del proceso de extracción  
hay que relacionar las pérdidas del extrayen  
te por su solubilidad, aunque muy poca, en -  
la fase acuosa y también las pérdidas mecáni  
cas debido a la formación de microemulsión.-  
Además de esto un problema serio se manifie  
sta en el proceso de separación de fases, ya-  
que sobre el influyen fuertemente muchos fac  
tores difíciles de considerar, tanto la pre-  
sencia de sustancias de superficies activas,  
alteración del régimen de agitación, etc.

La velocidad del establecimiento de la distri  
bución en el equilibrio de la sustancia entre  
dos fases líquidas en contacto - acuosa y or-  
gánica se determina, por la velocidad de la--  
transferencia de masa de las sustancias den--  
tro de la fase acuosa y orgánica y a través -  
del límite de separación de las fases, por la  
velocidad de la reacción química en cada fase  
ó en el límite de separación.

En las condiciones de una intensa agitación -  
de las fases, creadas en los extractores, la-  
transferencia de masa ocurre con alta veloci-  
dad.

En los sistemas de extracción utilizados en -  
la hidrometalurgia las velocidades de la reac  
ción química con frecuencia también son altas.  
Por eso el equilibrio se establece en el trans

curso de 3 - 5 minutos.

3.5.- PRINCIPALES CARACTERISTICAS CUANTITATIVAS ---  
DEL PROCESO DE EXTRACCION CON SOLVENTES

Entre las principales características cuantitativas del proceso de extracción con solventes se encuentran los siguientes:

- 1) Coeficiente de distribución ( $\alpha$ )
- 2) Coeficiente de separación ( $\beta$ )
- 3) Grado de extracción ( $E$ )

EL COEFICIENTE DE DISTRIBUCION

Es la relación entre la concentración total del elemento en la fase orgánica y en la fase acuosa al establecerse el equilibrio.

$$\alpha = \frac{\sum C_o}{\sum C_a} \quad (1)$$

Donde:

$C_o$  - Concentración del metal en la fase orgánica.

$C_a$  - Concentración del metal en la fase acuosa.

Este coeficiente no es una magnitud constante, depende de la concentración del elemento de la composición iónica de la solución y de la acidez.

EL COEFICIENTE DE SEPARACION

Es la relación de los coeficientes de distribución de dos metales que se separan.

$$\beta = \frac{\alpha_1}{\alpha_2}$$

En la práctica se utilizan sistemas de extrac

ción con  $\beta \geq 2$ .

Para lograr la extracción selectiva de cualquier metal a partir de su mezcla con otros metales es necesario elegir aquel solvente-orgánico y aquellas condiciones en las cuáles el coeficiente de distribución de éste metal sea mucho mayor que el coeficiente de distribución de los demás metales.

#### EL GRADO DE EXTRACCION (E)

Es el porciento de extracción de la sustancia hacia la fase orgánica respecto a la cantidad total de la misma en ambas fases.

a) Cuando  $V_o = V_a$

$$E = \frac{Co \cdot 100}{Co+Ca} = \frac{Co/Ca}{Co/Ca+1} = \frac{\alpha \cdot 100}{\alpha+1}$$

b) Cuando  $V_o \neq V_a$

$$E = \frac{Co \cdot V_o \cdot 100}{CoV_o+CaV_a} = \frac{Co \cdot 100}{Co+Ca \cdot V_a/V_o} = \frac{100 \cdot \alpha}{\alpha + \frac{v_a}{v_o}}$$

### 3.6.- EQUIPOS DE EXTRACCION

#### 1) EXTRACTORES DE COLUMNAS

Los aparatos de columnas, por lo general, se diferencian por la alta productividad y ocupan un área comparativamente pequeña. En éstos aparatos se realizan fácilmente distintos procesos: Extracción, lavado, separación de fases, re-extracción por partes de los componentes, etc.

La deficiencia sustancial de las columnas de extracción es su altura notable. Sin embargo, con el empleo de la agitación y de la pulsación se permite, en una serie de casos, disminuir bruscamente la altura de la etapa equivalente teórica. Este aparato puede trabajar en tres regímenes hidrodinámicos: Laminar, transitorio y turbulento.

## 2) EXTRACTORES MEZCLADORES - SEDIMENTADORES

Estos aparatos están difundidos ampliamente en las producciones hidrometalúrgicas nucleares de elementos raros y de otras ramas de la metalurgia debido a su exclusiva sencillez, seguridad y el alto coeficiente de rendimiento de cada etapa. Los diseños de construcción de éstos aparatos suelen ser muy variados: Combinación del agitador y de la capacidad de sedimentación, de la bomba de mezclado y del sedimentador, agitador cilíndrico con impelente tabular interior.

## 3) EXTRACTORES CENTRIFUGOS

En las columnas examinadas y en los extractores mezcladores - sedimentadores horizontales el proceso de separación de las fases se realiza bajo la acción de fuerzas gravitacionales y por tal motivo se prolonga un tiempo considerable. Por tanto mientras mayor sea la intensidad -

de agitación, mayor será el tiempo de --  
separación. Esto conlleva el aumento del  
volumen tecnológico de equipos y lo más--  
importante, la necesidad de emplear ma--  
yor cantidad de extrayente. Esta defi--  
ciencia se elimina completamente con los  
aparatos de centrifugación, en los cuá--  
les se realiza una separación forzada --  
bajo la acción de la fuerza centrífuga.  
El alto costo de fabricación de estos --  
equipos impide, por el momento, una am--  
plia aplicación del mismo. Además, la fa--  
bricación de extractores de alta produc--  
tividad, está relacionada con dificulta--  
des tecnológicas notables.

Sin embargo, la producción y elaboración  
de aparatos de centrifugación se amplia--  
gradualmente y según opinión de los espe--  
cialistas, éste tipo de extractor será --  
el principal en los procesos hidrometa--  
lúrgicos de extracción.

### 3.7.- ESQUEMAS TECNOLÓGICOS MAS UTILIZADOS

#### 1) ESQUEMA DE EXTRACCION LIQUIDA EN CORRIEN-- TE CRUZADAS

En éste caso el extractor se utiliza para  
varias (N-Voces) extracciones sucesivas de  
una misma solución original.

Para la última solución que se trata (n)-  
la masa del metal que no se extrae es de:

$$X_n = X_o \left( \frac{1}{1 + \frac{m}{\alpha W}} \right)^n$$

Donde:

$X_n$  = Masa del metal que queda en la solución original después de la extracción.

$X_o$  = Masa del metal de extracción contenido en la solución original acuosa

$n$  = Masa del metal que no se extrae

$m$  = Masa del reactivo extractor (F.V)

$\alpha$  = Coeficiente de distribución

$W$  = Masa de la solución original.

Este esquema no es económico porque para el proceso se necesitan "n" cantidades de extractor para soluciones cada vez más pobres.

## 2) ESQUEMA DE EXTRACCION LIQUIDA EN CASCADA

El reactivo extractor se añade sólo en la última operación de la cascada y todas las demás operaciones emplean en cantidad de extractor al extracto obtenido en la operación precedente.

De la cascada salen dos productos: El extracto y la solución tratada. Todos los demás productos son intermedios. Su expresión es la siguiente:

$$\frac{X_o}{X_n} = \frac{\left( \frac{m}{KW} \right)^{n+1} - 1}{\frac{m}{KW} - 1}$$

Si  $\frac{m}{KW} > 1$ , entonces con el aumento del número de operaciones de cascada se puede obtener un alto grado de extracción del metal contenido en la solución acuosa original.

Si  $\frac{m}{KW} < 1$ , entonces con el aumento de operaciones de cascada la relación  $\frac{X_o}{X_h}$  tiene un valor determinado, es decir, no se logra un alto grado de extracción del metal contenido en la solución acuosa.

### 3) ESQUEMA DE EXTRACCION LIQUIDA A CONTRACORRIENTE

Este es el esquema más utilizado en el proceso de extracción ya que hay un enriquecimiento mayor de la fase orgánica.

La ecuación del balance material total de una instalación de extracción de n etapas es:

$$G_F + G_S = G_R + G_E$$

La ecuación del balance material respecto al componente que se extrae es:

$$G_F X_F + G_S Y_S = G_R X_R + G_E Y_E$$

Donde:

$G_p$  = Masa inicial de solución acuosa

$G_s$  = Disolvente secundario ó agente extractor

$G_R$  = Refinado

$G_E$  = Extracto

X = Concentración del refinado

Y = Concentración del extracto

Parte Experimental

#### IV.- METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

El esquema tecnológico empleado en la investigación se muestra en el Dibujo #3.

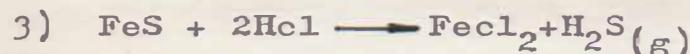
La muestra del Concentrado del Níquel más Cobalto con que se realizaron las investigaciones consiste en un polvo fino con una humedad de 14,26% y un contenido de Ni - 55,38%, Co - 4,80%, Fe - 0,66%, Zn - 0,64%, Cu - 0,09%. En la Tabla # 1 se muestran el contenido del Sulfuro empleado en la investigación y en la Tabla #2 la relación Co/Me, Ni/Me en el NiS y CoS.

La calcinación del concentrado se efectuó en una cápsula de porcelana de 100 g en una mufla a temperatura de 700 - 750°C, con un tiempo habitual de calcinación de 2 horas. El Níquel en el concentrado se presenta fundamentalmente, en forma de NiS (millerita), y en menor cantidad, como Ni<sub>3</sub>S<sub>2</sub>, debido a que el sulfuro en la forma NiS no se disuelve con HCL, sin embargo, a altas temperatura el Ni<sub>3</sub>S<sub>2</sub> se disuelve fácilmente con el HCL.

Las soluciones para la lixiviación se prepararon de ácido clorhídrico con una concentración de 38% de pureza. Esta se realizó bajo campana de extracción, en un recipiente químico abierto de 1 dm<sup>3</sup> de capacidad donde añadimos 500 ml de HCL y los 100 g del concentrado calcinado, con un tiempo de lixiviación de 5 horas., luego de éste lo dejamos reposar y comenzamos a filtrar la muestra en un papel de filtro rápido, el residuo

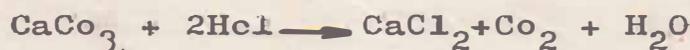
que quedó en el papel de filtro compuesto por los elementos que no se disolvieron, se somete a la lixiviación. En la Tabla #3 se muestra el contenido del licor producto de la lixiviación del sulfuro con HCL, y en la Tabla #4 el contenido del residuo de la lixiviación.

Las reacciones posibles que tienen lugar durante la lixiviación son las siguientes:



Posteriormente el filtrado fue neutralizado con 94 ml de pulpa de coral ( $\text{CaCO}_3$ ) hasta  $\text{Ph} = 4$  con el objetivo de preparar el licor para la precipitación selectiva posterior con  $\text{H}_2\text{S}$  del Cu y Zn en forma de sulfuro y evitar la precipitación del Ni y Co. Además con esto se logra precipitar anticipadamente el  $\text{Fe}^{+3}$  presente en la solución en forma de  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Los resultados del análisis del licor después de la neutralización se muestra en la tabla #5.

La reacción que tiene lugar la adición de coral es la siguiente:



Otra posibilidad de neutralizar el licor es con el empleo de solución carbonato - amoniacal, de composición (140 g/l de  $\text{NH}_3$  y 85 g/l de  $\text{CO}_2$ ).

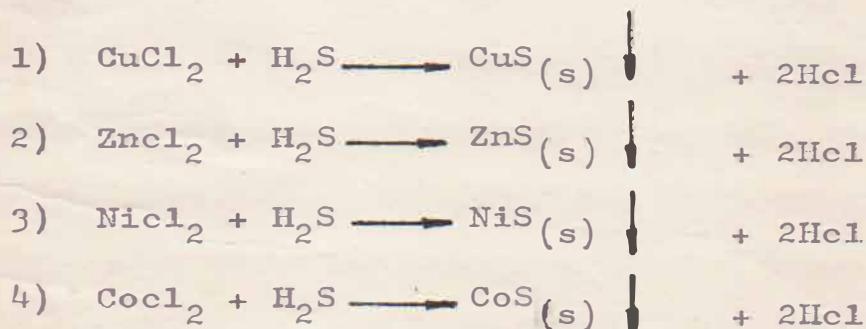
Se utilizaron 75 ml de esta solución. En la misma se observó que no se formó ningún precipitado. En la Tabla #5 se muestra el contenido del licor neutralizado hasta  $\text{Ph} = 4$  con solución carbonato amoniacal.

La reacción que tiene lugar es la siguiente:



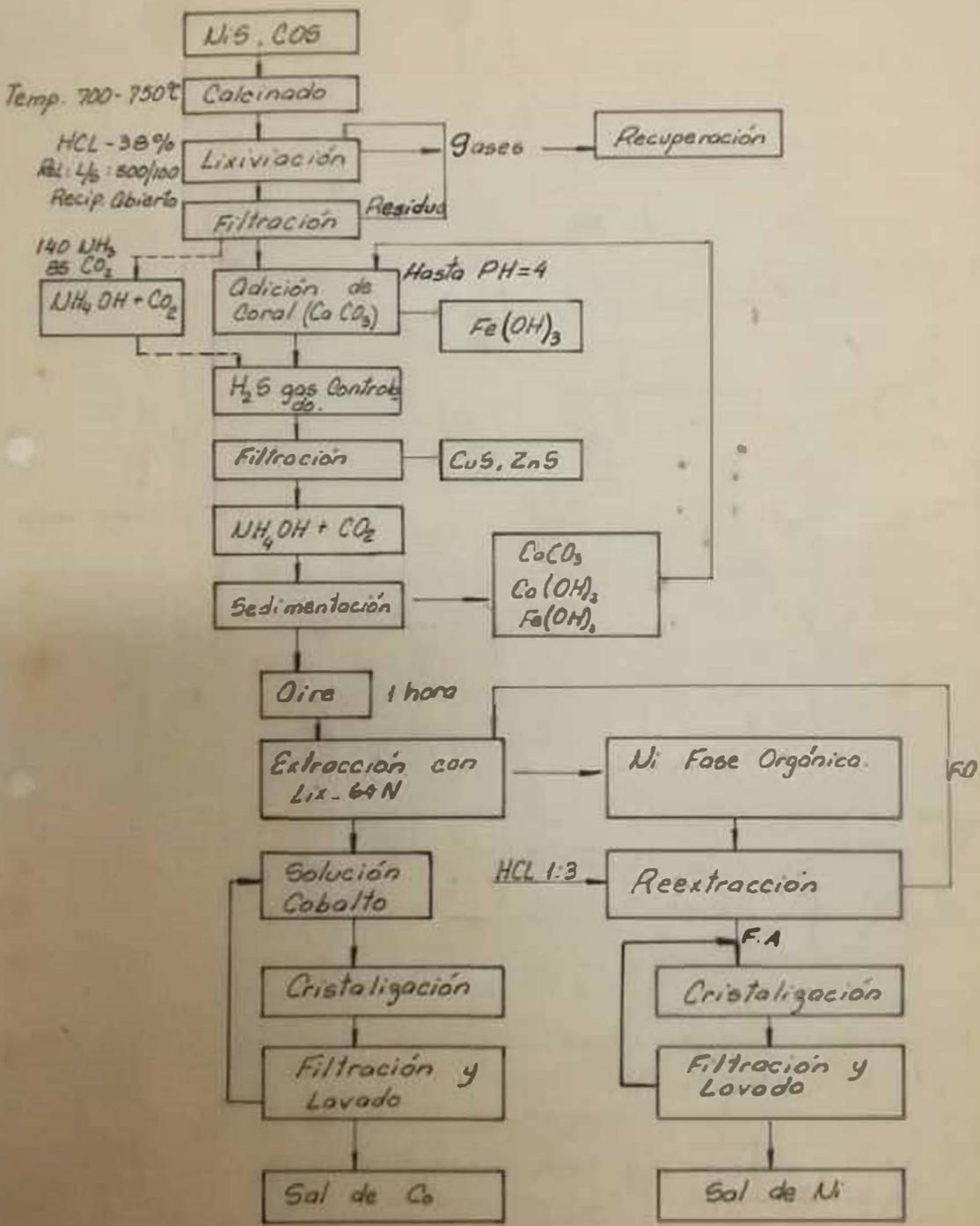
Luego pasamos a la adición de  $\text{H}_2\text{S}$  para la precipitación del Cu y Zn, con un flujo de (200 litros/hora durante 15 minutos), formándose un precipitado de color negro, en el mismo se elimina totalmente el Cu y parcialmente el Zn, la muestra se filtra y se analizan los elementos en el residuo y el filtrado. En la Tabla #6 se muestra el contenido del licor después de la precipitación de los sulfuros de Cu y Zn, y en la Tabla #7 el contenido del sulfuro precipitado.

Las reacciones que tienen lugar son las siguientes:



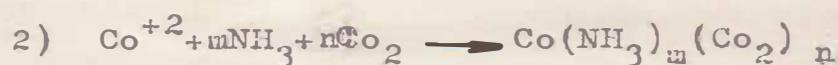
Seguidamente añadimos 550 ml de solución carbonato amoniacal con una concentración de (140 g/l de  $\text{NH}_3$  y 85 g/l de  $\text{Co}_2$ ), formándose un precipitado, hasta la redisolución del mismo. Filtramos la muestra y el residuo que quedó en el papel de filtro puede ser ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ó  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ). Este

# Esquema del Proceso de Separación del Ni y Co del Sulfuro de la Fábrica de Moa



precipitado puede ser recirculado como agente -- neutralizante del licor lixiviado. En la tabla - #8 se muestra el contenido del licor tratado con solución carbonato - amoniacal.

Las reacciones que tienen lugar son las siguientes:



El filtrado que quedó le hacemos pasar una corriente de aire durante 1 hora antes de comenzar el --- proceso de extracción, con el objetivo de oxidar - el  $\text{Co}^{+2}$  a  $\text{Co}^{+3}$ . En la Tabla # 9 se muestra el contenido del licor tratado con aire.

#### PROCESO DE EXTRACCION

El esquema empleado en el proceso se muestra en - el Dibujo Nro. 4,

El proceso se realizó en 5 embudos separadores de 250, ml a contracorriente, con una relación volumétrica de fases  $V_{\text{acuosa}}:V_{\text{orgánica}} = 20:100$

En la fase acuosa rica en Ni y Co la añadimos en el - 1er embudo de separación con fase orgánica fresca. Agitamos ambas fases durante 3 minutos, lo cuál - es suficiente para lograr el equilibrio de las -- fases.

La fase orgánica rica en Ni del 1er. embudo separador la vertemos en un recipiente y la fase acuosa la añadimos en el 2do. embudo separador con -

fase orgánica fresca, donde la fase orgánica que quedó en el 2do. embudo pasó para el 1er. embudo con nueva fase acuosa y la fase acuosa del 2do. embudo pasó al 3er. embudo con fase orgánica fresca, y así sucesivamente hasta llegar al último embudo separador, en la cuál se toma una muestra de las 5 fases orgánicas y una de la fase acuosa para el análisis de los elementos. En la Tabla #10 se muestran los resultados de las extracciones con el lix-64N al 40%, en la figura #1 la dependencia de la concentración de Níquel en la fase orgánica respecto al número de etapas, y en la Tabla #11 la relación Ni/metales.

Por último las fases acuosas ricas en cobalto que se fueron recogiendo en un recipiente de 250 ml se llevó a la plancha para la cristalización de la misma, hasta un volumen apropiado, se dejó enfriar a temperatura ambiente, se filtraron los cristales para separar los cristales del seno del líquido, se dejó secar y se pulverizaron, obteniéndose la sal de cobalto, en la misma se analizaron todos los elementos que contiene. En la Tabla # 14 se muestran los resultados de la sal de Co, en la Tabla #15 se muestra la relación Co/Metales en las sales de cobalto, y en la figura #2 la dependencia de la concentración de Co en la fase orgánica respecto al número de etapas.

De esta misma forma realizamos el proceso de extracción en la 1ra y 4ta corrida, los resultados

se muestra en la Tabla #17 y la Tabla #20.

PROCESO DE REEXTRACCION (FIGURA #5).

El proceso se realizó en 3 embudos separadores - de 250 ml a contracorriente, con una relación volumétrica de fases  $V_{acuoso} : V_{orgánica} = 20:100$ .

Al embudo separador se le añade 20 ml de HCl con una (concentración 1:3) de fase acuosa y 100 ml de fase orgánica rica en Ni, se agitan las fases durante 10 minutos y se realiza el proceso de reextracción a contracorriente. Se toman una muestra de cada una de las fases orgánicas y fase acuosa para su análisis. En la Tabla # 12 se muestran los resultados de las reextracciones con HCl y en la Tabla #13 la relación Ni/Metales en la fase acuosa, además en la Figura #5 aparece la dependencia de la concentración de Ni en la fase orgánica respecto al número de etapas.

El extracto regenerado se envía al proceso de extracción y el reextracto rico en níquel se lleva a la plancha para la cristalización del mismo, filtramos los cristales y lo secamos, y con éste obtenemos las sales de Ni, donde se analizan todos los elementos que contiene. En la Tabla #14 se muestran los resultados del contenido de la sal de Ni y en la Tabla #16 la relación Ni/Metales en las sales de cobalto.

El proceso de reextracción de la corrida #1 se realiza en la misma metodología, sólo cambia en el número de etapas que son 4. En la Tabla #18 se

muestran los resultados de las reextracciones con Hcl y en la Tabla #19 la relación Ni/Metales en la 1ra. etapa de fase orgánica y Co/Metales en la fase acuosa, además en la figura #6 se muestra la dependencia de la concentración del Ni en la fase orgánica respecto al número de etapas.

La corrida #4 de éste proceso se realiza en las mismas condiciones de la 2da. corrida.

La Tabla #22 se muestran los resultados de las reextracciones con Hcl y en la Tabla #23 la relación de Ni/Metales en la fase acuosa producto de la reextracción, en la Tabla #24 el contenido de la sal de Ni y la sal de Co, en la 25 la relación Co/Metales en la sal de Co, y en la Tabla #26 la relación Ni/Metales en la sal de Ni.

TABLA #1: COMPOSICION DEL CONCENTRADO DE LA FABRICA DE MOA

E L E M E N T O S , %					% de	% de
Ni	Co	Cu	Zn	Fe	Sólidos	H2O
55,38	4,80	0,09	0,64	0,66	85,74	14,26

157

TABLA #2: RELACION DEL CONTENIDO DE METALES EN EL CON  
CENTRADO DE NiS y CoS

RELACION		RELACION	
<u>CO/METALES</u>		<u>NI/METALES</u>	
Co/Ni	= 0,086	Ni/Co	= 11,537
Co/Zn	= 7,5	Ni/Zn	= 86,531
Co/Cu	= 53,333	Ni/Cu	= 615,333
Co/Fe	= 7,272	Ni/Fe	= 83,909

TABLA #3: CONTENIDO DEL LICOR PRODUCTO DE LA LIXIVIACION DEL SULFURO CON HCL DE 38% DE CONCENTRACION

Elementos	C O R R I D A S , G/L				Promedio
	I	II	III	IV	
Ni	90,5	107,0	125,0	64,5	96,75
Co	7,0	9,05	10,25	6,80	10,025
Fe	0,73	0,00068	0,00090	0,77	0,375
Cu	0,13	0,00350	0,00088	0,10	0,058
Zn	0,65	0,975	1,000	1,00	0,906

TABLA #4: CONTENIDO DEL RESIDUO DE LA LIXIVIACION

Elementos	<u>C O R R I D A S, %</u>				<u>promedio</u>
	<u>I</u>	<u>II *</u>	<u>III *</u>	<u>IV</u>	
Ní	4,87	-	-	54,0	29,435
Co	1,84	-	-	3,45	2,645
Fe	-	-	-	0,23	0,23
Cu	0,03	-	-	0,10	0,065
Zn	16,24	-	-	0,53	8,385

\* No se pudieron realizar

TABLA #5: CONTENIDO DEL LICOR NEUTRALIZADO HASTA UN PH=  
4 CON CORAL Y SOLUCION CARBONATO AMONIACAL.

Elementos	<u>CORRIDAS, G/L</u>				Promedio
	I	II	III	IV	
Ni	91,0	84,0	96,0	43,5	78,625
Co	7,65	6,90	9,75	1,57	6,467
Fe	0,53	0,003	1,67	0,58	<sup>0,696</sup> 42,028
Cu	0,09	0,002	0,043	0,09	0,056
Zn	0,69	0,755	0,94	0,68	0,766

I, II y III con Coral, IV con Solución Carbonato Amoniacal.

**TABLA #6: CONTENIDO DEL LICOR DESPUES DE LA PRECIPITACION DE LOS SULFUROS DEE Cu Y ZN**

Elementos	CORRIDAS, G/L				Promedio
	I*	II	III	IV	
Ní	-	82,0	103,5	59,5	81,333
Co	-	6,65	9,65	2,21	6,17
Fe	-	0,003	-	0,68	0,341
Cu	-	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	-	0,720	0,88	0,650	0,75

\* No se pudieron realizar.

TABLA #7: CONTENIDO DEL SULFURO PRECIPITADO

Elementos	CORRIDAS, %				Promedio
	I*	II	III*	IV	
Ní	-	11,6	-	38,75	25,175
Co	-	2,66	-	6,05	4,355
Fe	-	-	-	0,10	0,10
Cu	-	16,8	-	0,97	8,885
Zn	-	0,06	-	0,43	0,245

\* No se pudieron realizar.

TABLA #8: CONTENIDO DEL LICOR TRATADO CON SOLUCION CARBONATO - AMONIACAL.

Elementos	<u>CORRIDAS, G/L</u>				Promedio
	I	II	III	IV	
Ni	39,0	35	33,92	37,5	36,355
Co	2,90	2,23	1,73	2,33	2,297
Fe	0,0012	0,000	-	0,18	0,060
Cu	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000
Zn	0,37	0,28	0,36	0,53	0,385

TABLA #9: CONTENIDO DEL LICOR TRATADO CON AIRE

<u>Elementos</u>	<u>Contenidos, G/L</u>
Ni	34,0
Co	3,0
Cu	0,00
Fe	0,00
Zn	0,41

TABLA #10: EXTRACCIONES CON EL LIX-64N AL 40%

Elementos	FASE ORGANIZA, G/L					FASE ACUOSA G/L
	E T A P A S					
	I	II	III	IV	V	
Ni	10,1	4,48	0,18	0,000	0,000	0,000
Co	0,0064	0,015	0,017	0,017	0,017	2,816
Cu	0,0020	0,0020	0,0016	0,0012	0,0012	0,000
Zn	0,0016	0,0020	0,0052	0,0064	0,0084	0,076

Trabajo de  
Diploma

INSTITUTO SUPERIOR  
MINERO-METALURGICO  
Fac. de Metalurgia Electromecánica

Hoja  
No. 45

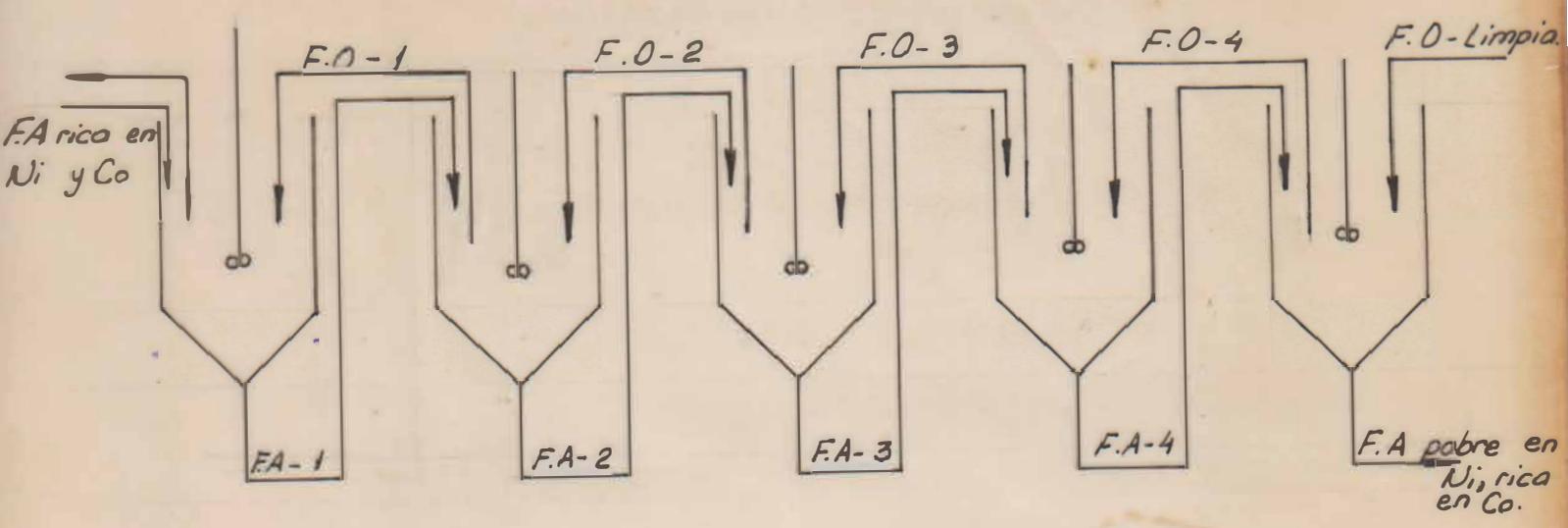
TABLA #11: RELACION NI/METALES EN LA FASE ORGANICA (1RA. ETAPA) Y CO/METALES EN LA FASE ACUOSA

FASE ORGANICA (1RA ETAPA)		FASE ACUOSA	
RELACION	MAGNITUD	RELACION	MAGNITUD
Ni/Co	1578	Co/Ni	$\infty$
Ni/Cu	5050	Co/Cu	$\infty$
Ni/Zn	6312	Co/Zn	37

TABLA #12: REEXTRACCIONES CON HCL (CONCENTRACION 1:3)

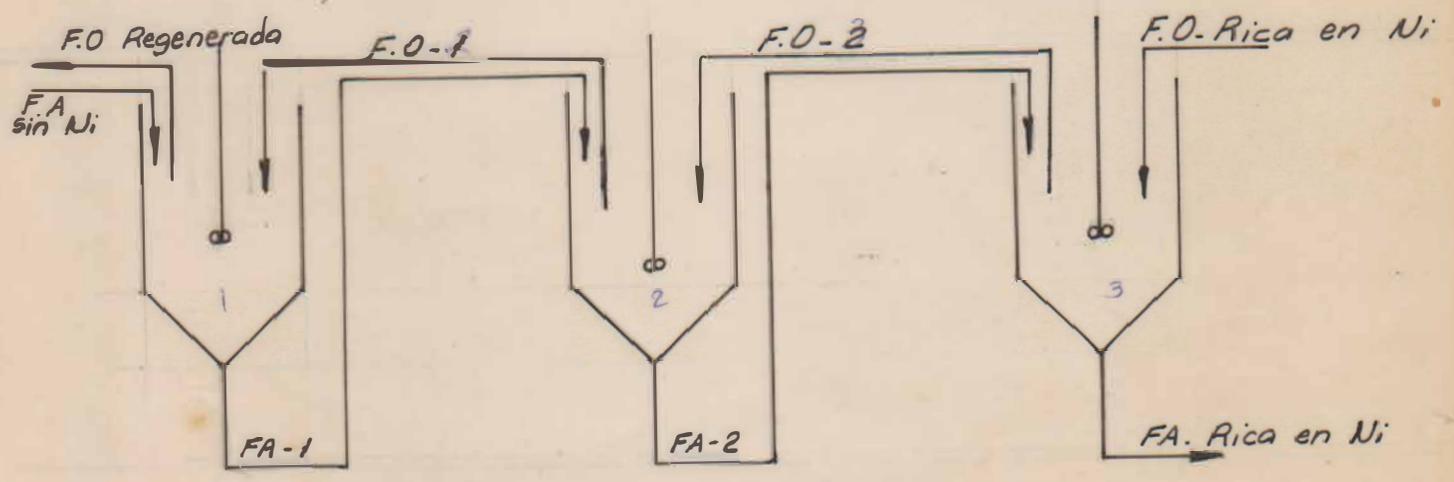
ELEMENTOS	FASE ORGANICA, G/L			FASE ACUOSA G/L
	ETAPAS			
	I	II	III	
Ni	0,032	0,080	0,196	70,8
Co	0,011	0,011	0,011	0,007
Cu	0,000	0,000	0,016	0,001
Zn	0,001	0,001	0,001	0,004

# Esquema del Proceso de Extracción



Dibujo: 5

# Esquema del Proceso de Reextracción



**TABLA #13: RELACION NI/METALES EN LA FASE ACUOSA OBTENIDA DESPUES DE LA REEXTRACCION**

**RELACION**

**NI/METALES**

**MAGNITUD**

**Ni/Co**

**10 114**

**Ni/Cu**

**70 800**

**Ni/Zn**

**17 700**

TABLA #14: CONTENIDO DE LA SAL DE NIQUEL Y DE LA SAL DE COBALTO

<u>ELEMENTOS</u>	<u>SALES DE CO %</u>	<u>SALES DE NI %</u>
Ni	0,00	28,66
Co	3,02	0,0181
Fe	0,00	0,0021
Cu	0,00	0,0207
Zn	0,0042	0,0016
NH <sub>3</sub>	32,54	16,61

TABLA #15: RELACION CO/METALES EN LAS SALES DE COBALTO

RELACION	
<u>CO/METALES</u>	<u>MAGNITUD</u>
Co/Ni	$\infty$
Co/Cu	$\infty$
Co/Zn	719
Co/Fe	$\infty$

TABLA #16: RELACION NI/METALES EN LAS SALES DE NIQUEL

RELACION	
<u>NI/METALES</u>	<u>MAGNITUD</u>
Ni/Co	1583
Ni/Cu	1384
Ni/Zn	13647
Ni/Fe	13647

TABLA #17: EXTRACCIONES CON EL LIX-64N AL 20%

ELEMENTO	FASE ORGANICA, G/L						FASE ACUOSA, G/L
	E		T		A P A S		
	I	II	III	IV	V	VI	
Ni	2,324	2,288	2,370	2,248	2,124	1,812	3,004
Co	0,007	0,008	0,061	0,003	0,011	0,007	2,928
Cu	0,037	0,030	0,004	0,001	0,000	0,000	0,000
Zn	0,002	0,002	0,008	0,002	0,002	0,002	0,170

TABLA #18: REEXTRACCIONES CON HCL (CONCENTRACION 1:3)

Elemento	FASE ORGANICA, G/L				FASE ACUOSA, G/l
	E T A P A S I	II	III	IV	
Ni	0,052	0,090	0,088	0,076	200,0
Co	0,006	0,008	0,008	0,007	0,086
Cu	0,007	0,010	0,012	0,013	1,64
Zn	0,003	0,006	0,005	0,005	0,05

TABLA #19: RELACION NI/METALES EN LA 1ERA. ETAPA DE FASE ORGANICA Y CO/METALES EN LA FASE ACUOSA

FASE ORGANICA (1ERA. ETAPA)		FASE ACUOSA	
RELACION	MAGNITUD	RELACION	MAGNITUD
Ni/Co	332	Co/Ni	0,974
Ni/Cu	62	Co/Cu	∞
Ni/Zn	1162	Co/Zn	17,223

TABLA #20: EXTRACCIONES CON EL LIX-64N AL 40%

ELEMENTOS	FASE ORGANICA, G/L					FASE ACUOSA, G/L
	E	T	A	P	A	
	I	II	III	IV	V	
Ni	6,9	0,076	0,016	0,016	0,016	0,008
Co	0,014	0,024	0,010	0,018	0,022	2,80
Cu	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	0,003	0,010	0,014	0,012	0,0090	0,022

**TABLA #21: RELACION CO/METALES EN LA FASE ACUOSA**

**RELACION**

**CO/METALES**

**MAGNITUD**

Co/Ni

350

Co/Cu

7000

Co/Zn

123

TABLA #22: REEXTRACCIONES CON HCL (CONCENTRACION 1:3)

ELEMENTO	FASE ORGANICA, G/L			FASE ACUOSA G/L
	E T A P A S			
	I	II	III	
Ni	0,020	0,012	0,016	46,2
Co	0,013	0,011	0,012	0,012
Cu	0,000	0,000	0,000	0,001
Zn	0,003	0,002	0,002	0,012

TABLA #23: RELACION DE NI/METALES EN LA FASE ACUOSA, -  
PRODUCTO DE LA REEXTRACCION

RELACION

NI/METALES                      MAGNITUD

Ni/Co                                      3609

Ni/Zn                                      3609

Ni/Cu                                      33000

TABLA #24: CONTENIDO DE LA SAL DE NI Y LA SAL DE CO

<u>ELEMENTOS</u>	<u>SALES DE CO %</u>	<u>SALES DE NI %</u>
Ni	0.	16,0
Co	1,60	0,0976
Cu	0	0,0004
Zn	0,003	0,0020
Fe	0	0,0024
Cl	61,51	55,23
NH <sub>3</sub>	32,54	23,98

TABLA # 25: RELACION CO/METALES EN LA SAL DE COBALTO

<u>RELACION CO/METALES</u>	<u>MAGNITUD</u>
Co/Ni	$\infty$
Co/Cu	$\infty$
Co/Zn	533
Co/Fe	$\infty$

TABLA #26: RELACION NI/METALES EN LA SAL DE NI

RELACION	
<u>NI/METALES</u>	<u>MAGNITUD</u>
Ni/Co	163
Ni/Cu	40000
Ni/Zn	8000
Ni/Fe	6666

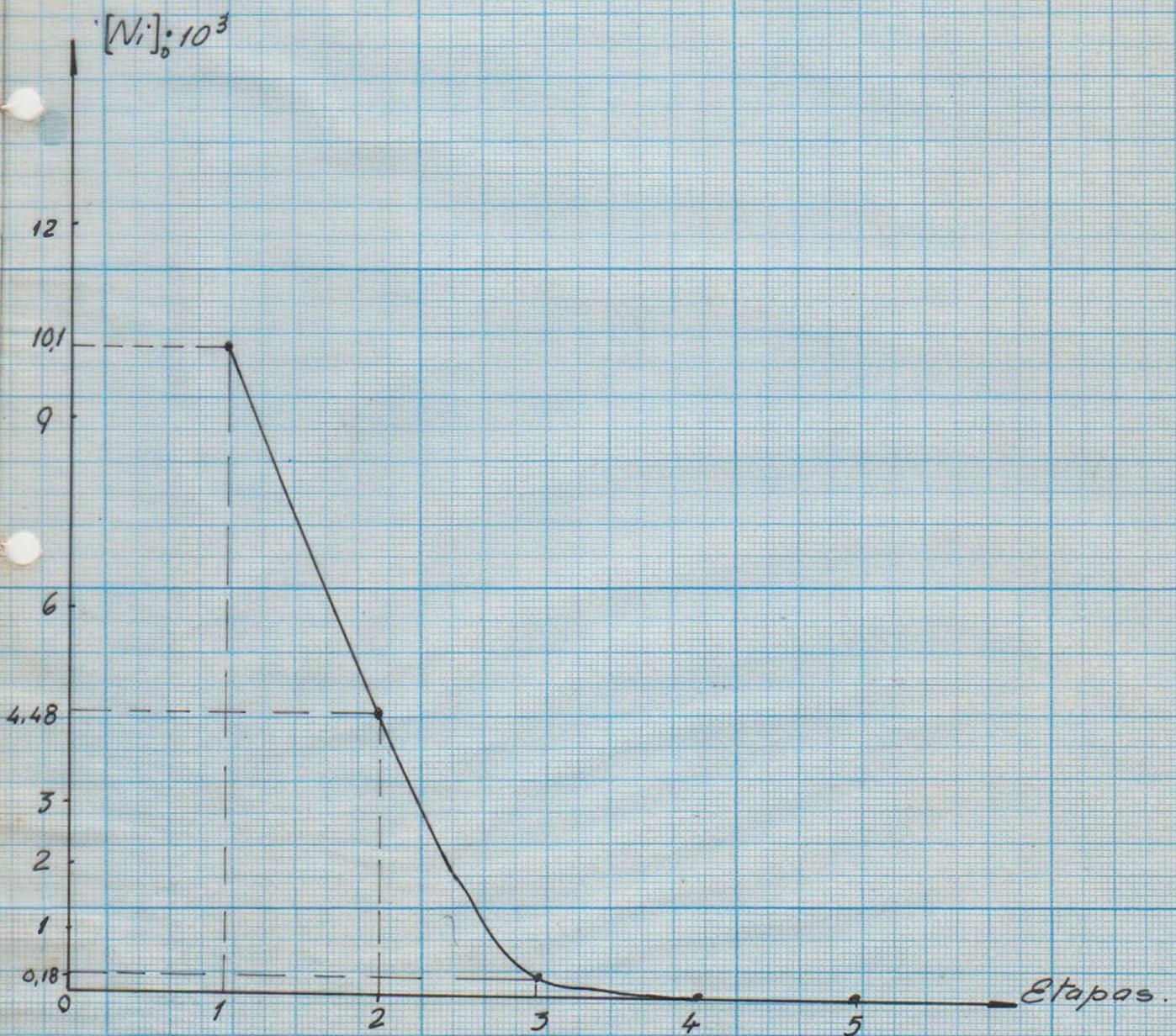
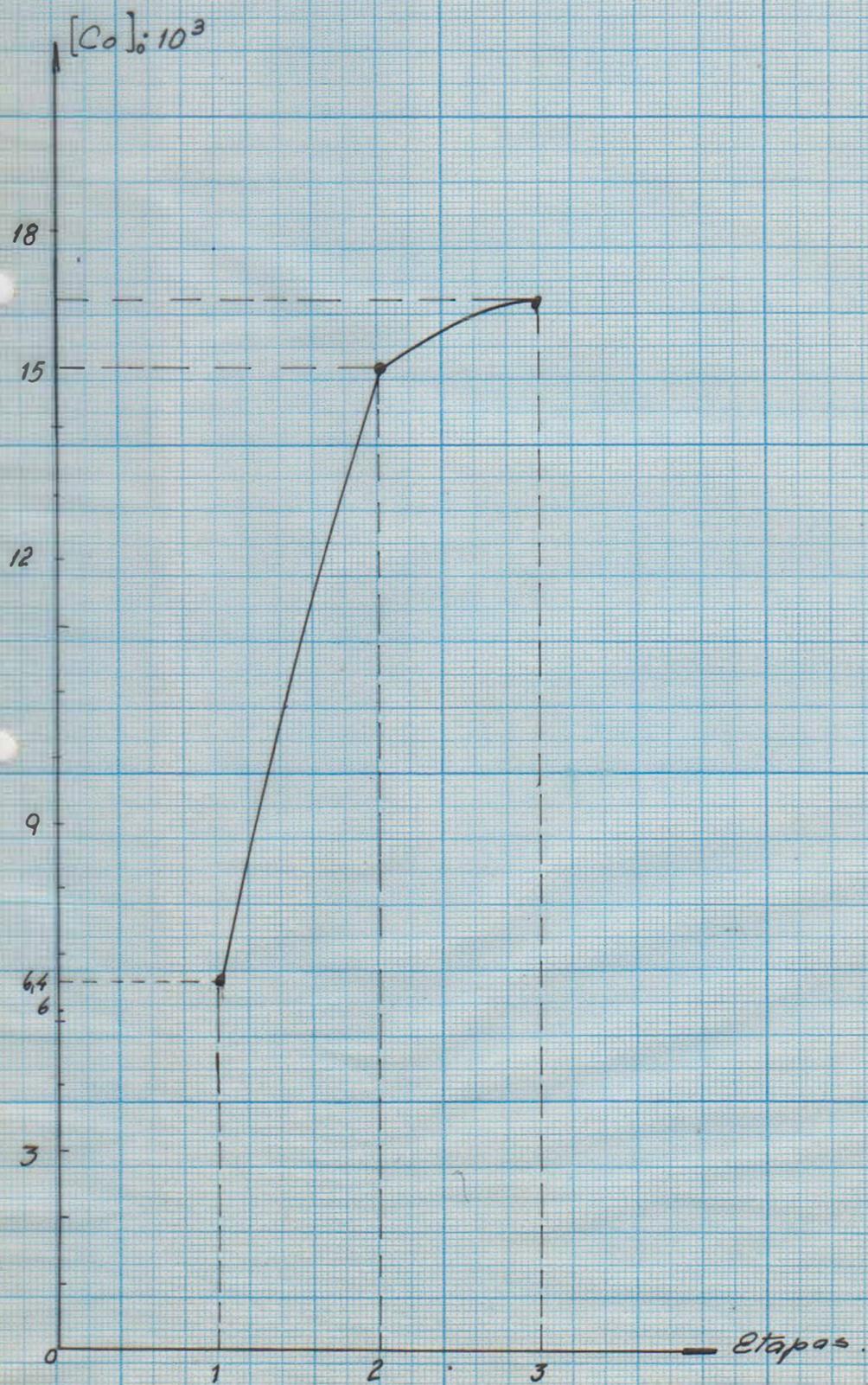


fig # 1 Dependencia de la concentración de Ni en la fase orgánica respecto al número de etapas. Extracción con Lix-64N al 40%.



fig#2. Dependencia de la concentración de  $Co$  en la fase orgánica respecto al número de etapas. Extracciones con Lix-64 N al 40%.

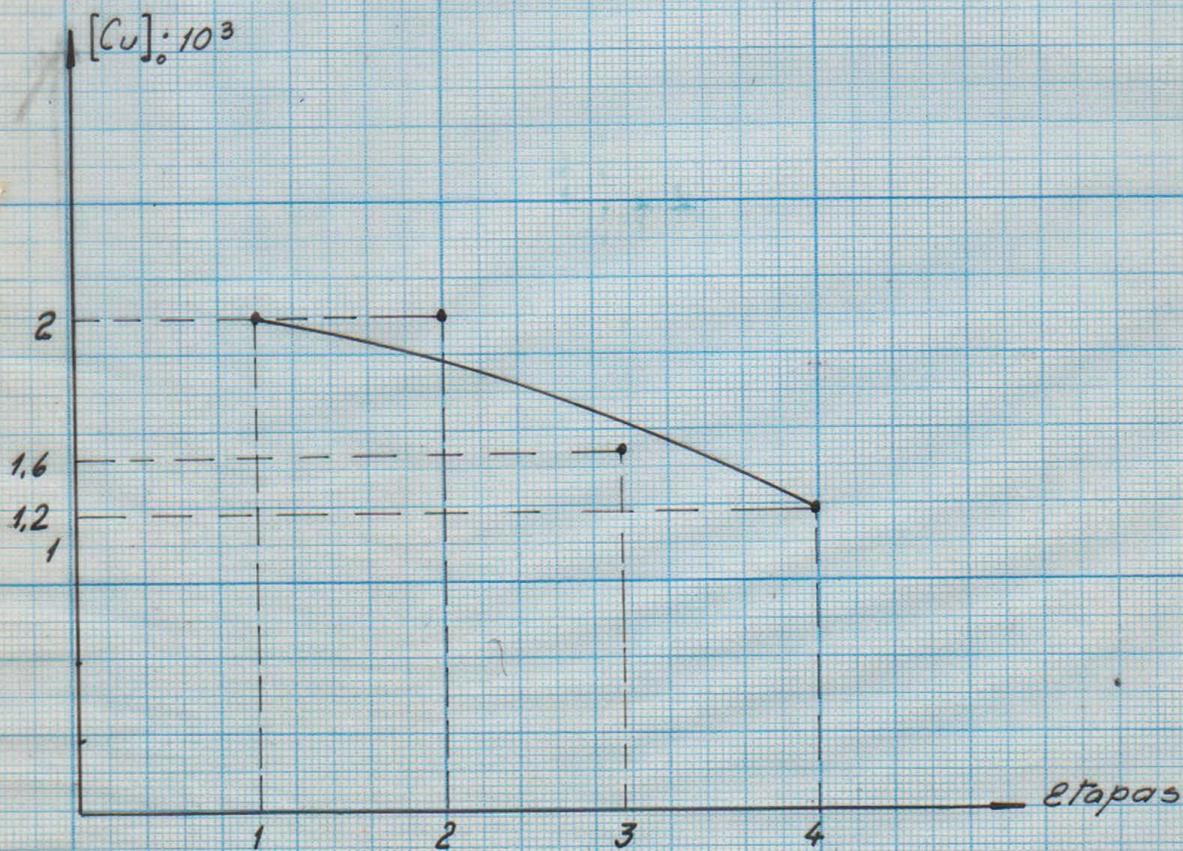


fig. # 3. Dependencia de la concentración de Cu en la fase orgánica respecto al número de etapas. Extracción con Lix-64N al 40%.

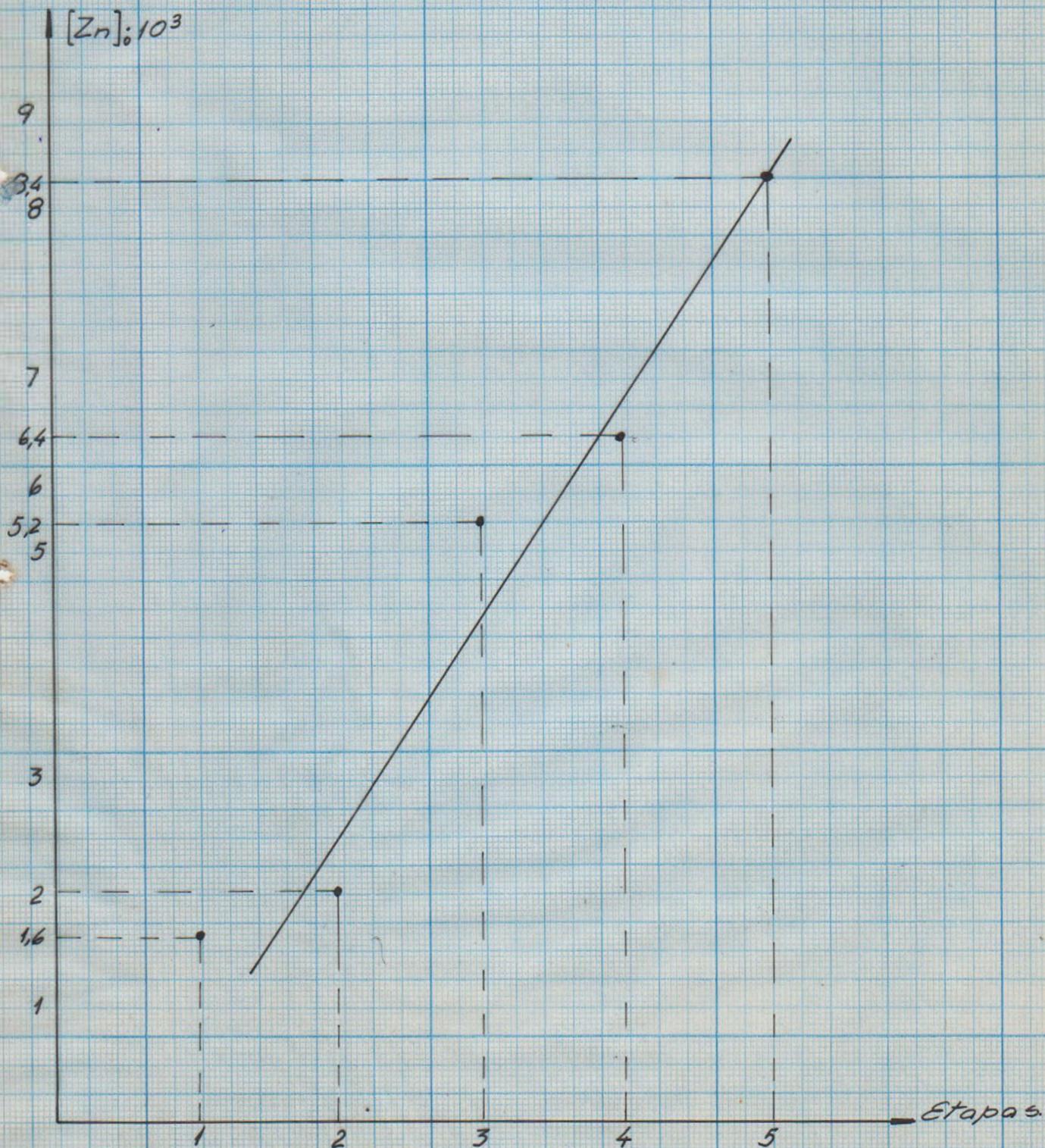


fig.# 4. Dependencia de la concentración de Zn en la fase orgánica respecto al número de etapas. Extracciones con el Lix-64N al 40%.

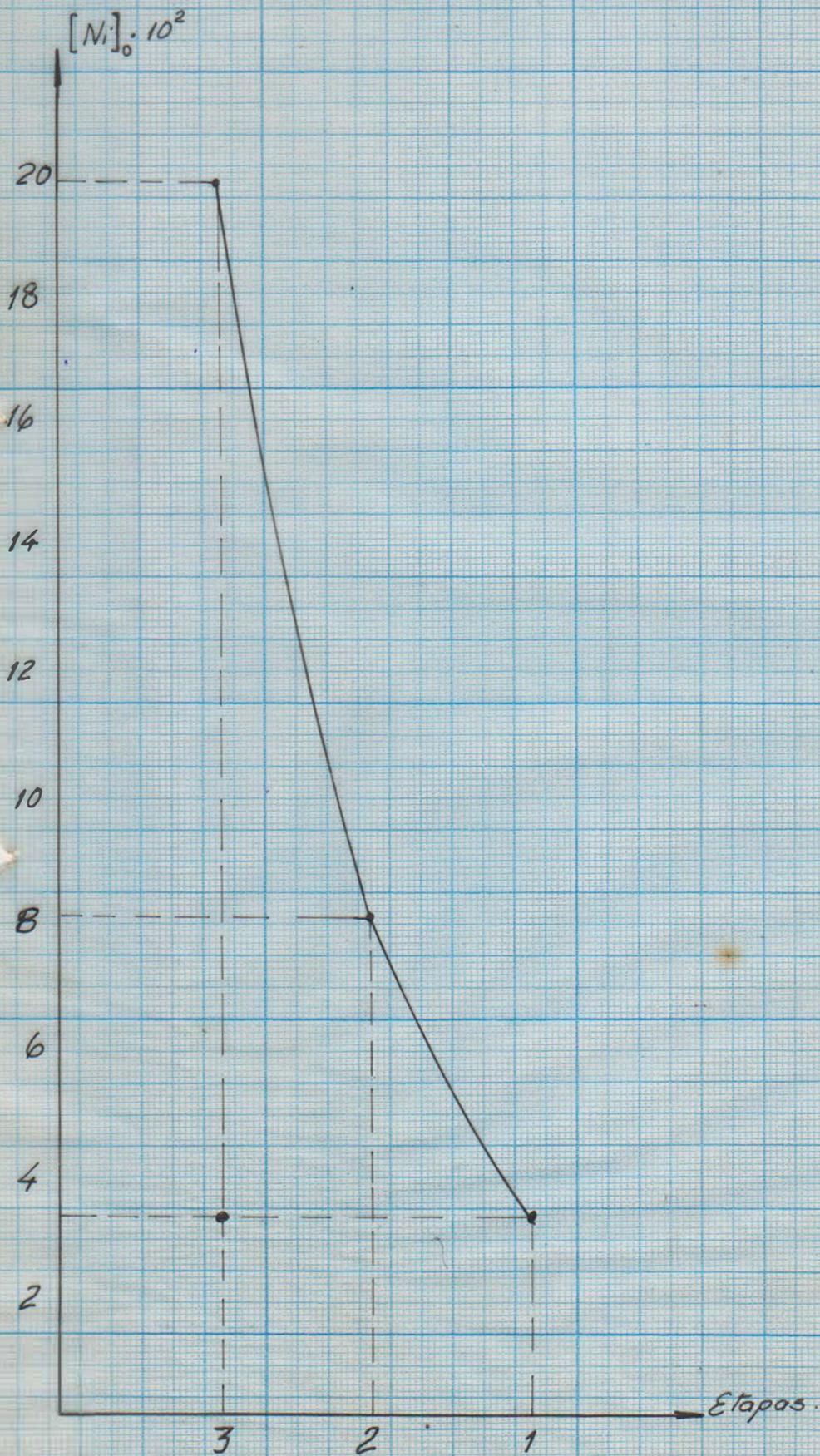


fig.#5 Dependencia de la concentración de Ni en la fase orgánica respecto al número de etapas. Reextracciones con el Lix-64N al 40%.

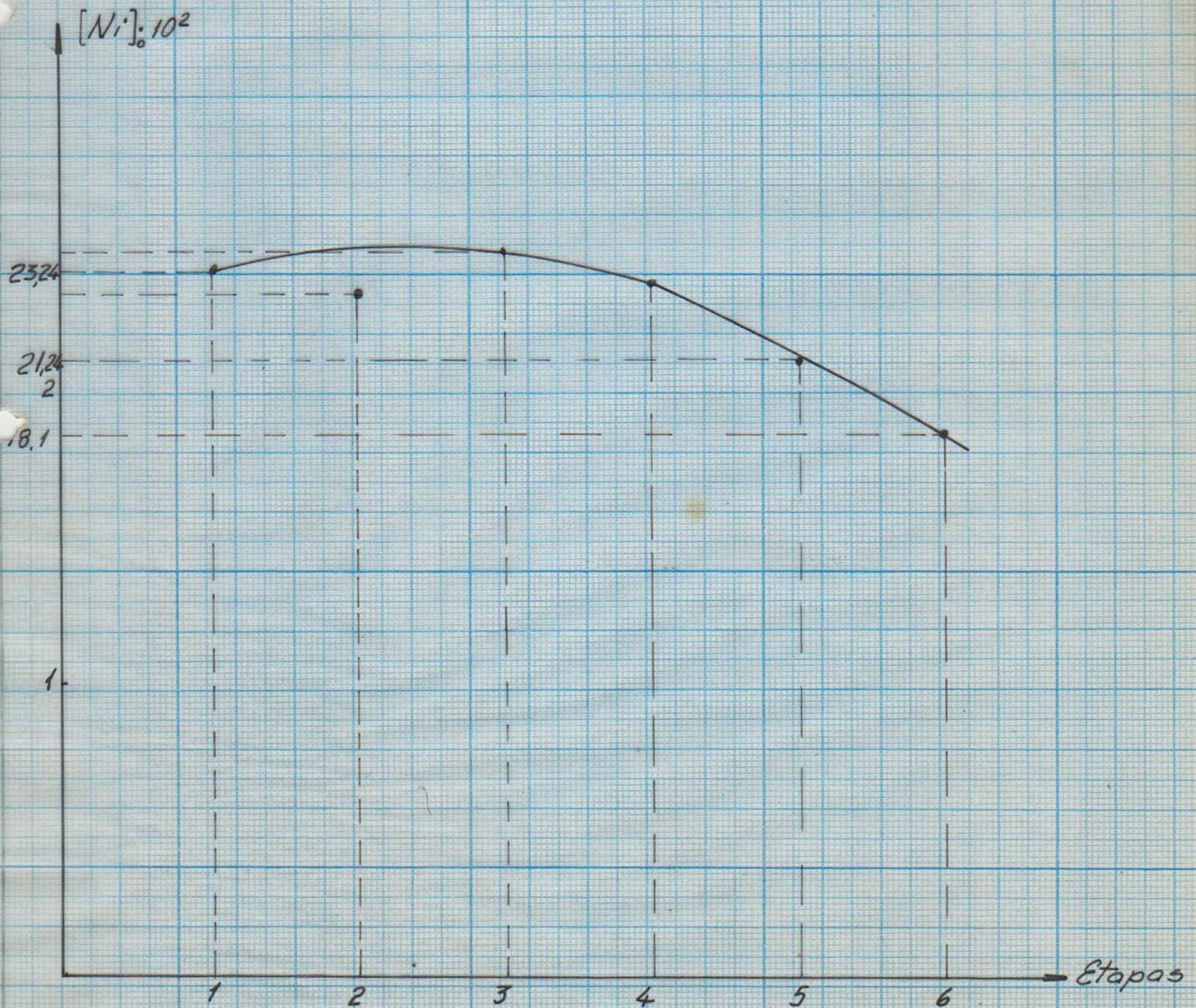


fig.#6 Dependencia de la concentración de Ni en la fase orgánica respecto al número de etapas. Extracción con el Lix-64N al 20%.

*Conclusiones y Recomendaciones*

CONCLUSIONES

- 1) Se propone un esquema de la separación del Níquel y el Cobalto a partir del Sulfuro de la Fábrica - de Moa.
- 2) El Níquel y el Cobalto se separan de manera más - efectiva con el Lix - 64N al 40% en Kerosene respecto al Lix - 64N al 20%.
- 3) El licor de lixiviación se puede neutralizar para la precipitación de ZnS y CuS con coral ó solución carbonato - amoniacal, siendo el primero más conveniente ya que el mismo se recircula.
- 4) El Cu se elimina a PH = 4 con una adición controlada de H<sub>2</sub>S casi totalmente y parcialmente el Zn.
- 5) El licor libre de cobre y parcialmente de Zn se -- trata con una solución carbonato - amoniacal de concentración (140 g/l de NH<sub>3</sub> y 85 g/l de Co<sub>2</sub>), con -- ésto el Ní y el cobalto se acomplejan facilitándose la separación de ambos por extracción con lix - 64N. El Calcio y el hierro precipitan. El precipitado se aprovecha como neutralizante.
- 6) La extracción del Ní por la fase orgánica en tres - etapas es satisfactoria, se extrae el 100% de Ní - contenido en el licor.
- 7) La reextracción del Ní con una solución de Hcl(1:3) en una <sup>plus</sup> etapa es satisfactoria, se extrae aproximadamente del 100% de Ní contenido en la fase orgánica.
- 8) No se logró eliminar totalmente el Zn del sistema.
- 9) Se comprobó que la calcinación del sulfuro a 700-- 750 °C y la lixiviación con Hcl en recipiente abier-- to es eficiente.

RECOMENDACIONES

- 1) Estudiar la adición controlada de  $H_2S$  gaseoso así como el ajuste de PH para lograr la eliminación total del Cu y el Zn así como la posible obtención de éstos dos elementos por separados.
- 2) Estudiar la recuperación de amoniaco en el esquema planteado.
- 3) Se debe de estudiar la posibilidad de la obtención de sales de cobalto ó cobalto metálico, a partir del refinado ó fase acuosa resultante de la extracción del Ni con Lix - 64N por diferentes vías; cristalización, reducción con hidrógeno, electrólisis, etc.
- 4) Se debe de estudiar la posibilidad de la obtención de sales de Níquel ó Níquel metálico, a partir del refinado ó fase acuosa resultante de la extracción del Ni con Lix -64N por diferentes vías: cristalización, reducción con hidrógeno, electrólisis, etc.
- 5) Estudiar la recuperación y posible utilización en el propio proceso de los gases desprendidos durante la lixiviación.
- 6) Estudiar la utilización de extrayentes similares al lix -64N pero de procedencia de países socialistas como es el caso del ABF.
- 7) Hacer un estudio económico del proceso que se ha desarrollado.

*Bibliografía*

BIBLIOGRAFIA

- 1) V.N. Mackiw y T.W. Benz, Aplicación de la Hidrometalurgia a presión en la producción de Cobalto Metálico.
- 2) Lic. Esteban Alfonso, Ing. Osvaldo Granda (CIPIMM) La Minería en Cuba #18 Pag - 2.
- 3) Ing. Raúl de la Nuez y Lino Chaviano. La Minería - En Cuba #14 Pag - 52.
- 4) Ing. Valentín Bogdanov, Candidato en Ciencias Técnicas. Extracción Líquido - Líquido. La Habana, Noviembre de 1975.