

UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA  
INCORPORADA A LA U. N. A. M.  
ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS

U. I. A.

● Estudio de un Mezclador Asentador  
para la Extracción de Uranio

T E S I S  
Que para obtener el Título de  
INGENIERO QUIMICO  
P r e s e n t a :  
ENRIQUE SANCHEZ DOMINGUEZ

MEXICO, D. F.

1963





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.

Con todo cariño y agradecimiento  
a mis Padres:

SR. ENRIQUE SANCHEZ MUNIVE y  
SRA. MARTHA D. DE SANCHEZ.

A mis Abuelitas.

A mis Hermanos, parientes,  
compañeros y amigos.

10707

AI SR. RAFAEL BASTON Y PULIDO.

AI SR. MIGUEL AGUILAR PEREZ.

AI SR. JOSE UGARTE MACIAS.

*Agradezco a la Comisión Nacional de Energía Nuclear  
la ayuda prestada para la realización de este  
trabajo y al Ing. Federico A. Palma  
por su desinteresada supervisión.*

A mi Novia:

SRITA VIRGINIA AGUILAR GALICIA.

## RESUMEN:

Se aplicó el sistema mezclador asentador a la recuperación de uranio de soluciones de lixiviación ácida, estudiándose como complemento el efecto bombeante de la unidad mezcladora, fijándose la atención en las temas de succión, sus características, la velocidad del rodete, así como sus dimensiones y número de aspas. Se trazó la isoterma de distribución de una solución de amba LA-2 y con las condiciones establecidas se hicieron pruebas de extracción y reextracción obteniéndose altas eficiencias.

## INDICE DE CAPITULOS

	Pág.
I.—INTRODUCCION .....	9
a) Historia y objeto del trabajo.	
b) Generalidades de extracción.	
c) Importancia del uso de solventes en la metalurgia extractiva del uranio .....	14
II.—PROCESAMIENTO DE MINERALES URANIFEROS:	
a) Concentración y tratamientos previos.	
b) Recepción de mineral.	
c) Lixiviación.	
d) Separación Sólido-líquido.	
e) Recuperación de uranio de licores cargados.	
f) Obtención de concentrados.	
g) Preparación final .....	21
III.—CONDICIONES DE EXTRACCION:	
a) Efecto de la composición de las soluciones de lixiviación.	
b) Comportamiento químico del solvente.	
c) Descripción general del proceso de recuperación .....	27
IV.—PARTE EXPERIMENTAL:	
a) Determinación de las condiciones óptimas de operación de la unidad mezcladora para obtener la succión máxima.	
b) Isoterma de distribución de una amina LA-2 y un licor procedente de una lixiviación ácida.	
c) Isoterma de distribución para la reextracción de una amina cargada.	
d) Cálculo de caudales.	
e) Pruebas realizadas en licores de lixiviación ácida ... ..	35
V.—CONCLUSIONES .....	36
VI.—BIBLIOGRAFIA .....	37



## CAPITULO I

### INTRODUCCION

#### a) HISTORIA Y OBJETO DEL TRABAJO.

Es de conocimiento general que el Uranio se ha colocado como la base para los programas de todos los países en materia de Energía Atómica. Este elemento se conoció mucho antes de que el hombre llevara a cabo la fisión nuclear.

El descubrimiento se acredita a M. H. Klaproth quien usando minerales de peteblanda y sabiendo que contenían Fe y Zn, obtuvo un polvo negro que exhibió propiedades químicas diferentes a las de aquellos elementos conocidos, por lo que consideró a éste un nuevo elemento y le dio el nombre de Uranio en honor al descubrimiento hecho recientemente del Planeta Urano.

Fue mucho el interés que despertó el descubrimiento de éste nuevo elemento; pero pasaron más de 50 años antes de que alguno reconociera que el polvo negro o café no era elemento sino su óxido. Finalmente Péligot en 1841 por hidrólisis del tetracloruro encontró un peso total de cloruro y de polvo negro de Klaproth, el cual era mayor que el del material iniciante.

Este descubrimiento lo guió para darse cuenta de que la sustancia preparada por Klaproth no era sino un compuesto (óxido) del nuevo elemento. Entonces calentó el tetracloruro seco con potasio y obtuvo un polvo metálico del elemento Uranio.

Péligot también descubrió la manera de purificar compuestos de Uranio utilizando la solubilidad del nitrato de uranilo en éter dietílico

Mucho tiempo después el 2 de Diciembre de 1942, el sabio italiano Enrico Fermi en un laboratorio instalado bajo las gradas del Estadio Stagg Field de la Universidad de Chicago; logró la primera reacción en cadena, sostenida y controlada liberando así, al enorme energía contenida en el núcleo del átomo de Uranio; pero desgraciadamente al estallar la Segunda Guerra Mundial, la aplicación inmediata de este insólito descubrimiento no se hizo esperar.

El 16 de Julio de 1946 se hizo explotar la primera bomba atómica en Alamogordo Nuevo México; el 6 y 9 de Agosto del mismo año se hicieron explotar sendas bombas sobre las ciudades japonesas de Hiroshima y Nagasaki.

Con el advenimiento de la paz, la investigación se orientó hacia el uso pacífico de la Energía Nuclear y los resultados han sido sumamente halagadores. La aplicación de los radioisótopos en los campos de la Medicina, la agricultura y la industria es un gran beneficio para la humanidad. El problema energético benigno aún para la Europa Occidental han sido resueltos maravillosamente gracias a la fisión del átomo.

El gobierno de México, consciente de los múltiples beneficios que representa la utilización de la energía nuclear con fines pacíficos y considerando que en un futuro no lejano las plantas núcleo-eléctricas competirán con las plantas convencionales; creó la Comisión Nacional de Energía Nuclear mediante la ley publicada en el Diario Oficial de la Federación del 31 de diciembre de 1955. Este organismo ha enfocado su atención entre otras actividades, sobre la evaluación de las reservas de minerales radioactivos con que cuenta el país y la forma de explotar y transformar los minerales a productos de pureza tal que puedan ser usados como combustibles nucleares.

No obstante que el Uranio es uno de los elementos que más abunda en la naturaleza (más que el oro, platino, plata, bismuto, mercurio, cadmio y antimonio) había que realizar intensa búsqueda para localizar yacimientos que fuesen económicamente explotables. Gracias a la labor de la Dirección de Exploraciones y del Laboratorio de Química Inorgánica que a la fecha lleva analizadas 12,000 muestras se han encontrado yacimientos ~~minerales~~ en los estados de Sonora, Chihuahua, Coahuila, Durango y Oaxaca.

De los más importantes está el de Sierra de Gómez, Chihuahua de los que se han extraído 18,000 toneladas de mineral que tiene la Comisión en sus bodegas. Este mineral consta principalmente de Tiuyamunita y Carnotita, tiene una ley media de 0.25 de  $U_3O_8$ .

El laboratorio de Química Inorgánica, cuenta también con una pequeña planta piloto para estudiar las condiciones de las operaciones que se efectúan en los procesos metalúrgicos apropiados, según la naturaleza de los minerales encontrados en mayor abundancia. Tales operaciones son a saber: Selección de mineral y concentración previa; recepción de mineral, trituración, demuestre y molienda; lixiviación, separación sólido-líquido; recuperación de Uranio y obtención de concentrados.

El objeto de este trabajo, fue estudiar el efecto bombeante de un sistema mezclador asentador provisto de un rodete con aspas; aplicando este sistema a la recuperación de Uranio de soluciones de lixiviación ácida. Se fijó la atención en las tomas de succión sus características, la velocidad y dimensiones del rodete, así como también la forma y el número de aspas. Así, un conocimiento de éstas variables, nos dará una base solvente de Ingeniería para la solución de problemas específicos en agitación de dos fases líquidas y obtener de éste modo una mayor eficiencia y un bajo costo en el proceso.

## 1.) GENERALIDADES DE EXTRACCION.

La extracción con solventes es básicamente un proceso similar a otras operaciones de transferencia de masa, tales como: Destilación, Absorción, Humidificación, Intercambio Iónico, etc. En todas ellas el objeto es transferir una substancia de una fase a otra y por diferencias físicas o químicas efectuar la separación de éstas fases. En el caso de la extracción líquido-líquido éstas diferencias las constituyen la total o parcial inmiscibilidad entre las fases y la desigualdad de densidades entre ellas.

La extracción líquido-líquido se lleva a cabo en términos generales poniendo en contacto íntimo las dos fases durante el tiempo necesario para que se efectúe la transferencia y se alcance el equilibrio y a continuación efectuando la separación por diferencia en la densidad de los dos líquidos. La operación se puede repetir cuantas veces sea necesario hasta lograr que toda el soluto de la solución original se transfiera a la fase solvente.

El contacto entre las fases se puede lograr de distintas maneras y es muy variado el equipo que se usa para ello, desde simples tanques provistos de agitación mecánica, columnas de contacto a contracorriente de diversos tipos, hasta extractores más complicados como los de tipo mezclador asentador en donde se efectúa la separación con ayuda de la fuerza centrífuga y la operación es continua.

Esquemáticamente el proceso de extracción de Uranio con solventes consta de dos fases: La extracción y la reextracción o agotamiento. En la fase de extracción el disolvente orgánico se pone en contacto con el líquido a tratar y el Uranio pasa a el solvente. En la fase de reextracción el solvente cargado se pone en presencia de una solución acuosa adecuada y el Uranio vuelve a pasar a la fase acuosa. Con estas dos operaciones se logra simultáneamente purificar y concentrar el Uranio.

Gran parte de la efectividad de la operación radica en escoger un solvente adecuado y aunque ésto sería tema de gran amplitud nos concretaremos a dar las principales condiciones requeridas para un buen solvente:

**CAPACIDAD DE EXTRACCION.**—La capacidad para extraer Uranio es una de las principales condiciones que debe poseer un solvente y se mide por el coeficiente de distribución y la capacidad de saturación.

**SELECTIVIDAD.**—Otra propiedad que se debe tomar en cuenta al escoger un solvente es la selectividad y se define como la medida de extracción de la sustancia dada en relación con los demás, para alcanzar una mayor purificación y aprovechar al máximo su capacidad.

**RECUPERABILIDAD.**—Para que un solvente sea aceptable como tal debe existir un método barato y simple para recuperar la sustancia extraída.

**SOLUBILIDAD MUTUA.** La solubilidad mutua debe ser muy baja para obtener adecuadas concentraciones de soluto y para evitar pérdidas de solvente que generalmente es recirculado.

**ESTABILIDAD.**—El solvente debe ser altamente estable de modo que resista muchos ciclos de extracción-reextracción sin necesidad de tratamiento para eliminar productos de degradación.

**SEPARACION DE FASES.**—La separación de fases tiene que ser rápida y completa en la operación de cualquier tipo de extracción. Es-

El contacto entre las fases se puede lograr de distintas maneras y es muy variado el equipo que se usa para ello, desde simples tanques provistos de agitación mecánica, columnas de contacto a contracorriente de diversos tipos, hasta extractores más complicados como los de tipo mezclador asentador en donde se efectúa la separación con ayuda de la fuerza centrífuga y la operación es continua.

Esquemáticamente el proceso de extracción de Uranio con solventes consta de dos fases: La extracción y la reextracción o agotamiento. En la fase de extracción el disolvente orgánico se pone en contacto con el líquido a tratar y el Uranio pasa a el solvente. En la fase de reextracción el solvente cargado se pone en presencia de una solución acuosa adecuada y el Uranio vuelve a pasar a la fase acuosa. Con estas dos operaciones se logra simultáneamente purificar y concentrar el Uranio.

Gran parte de la efectividad de la operación radica en escoger un solvente adecuado y aunque esto sería tema de gran amplitud nos concretaremos a dar las principales condiciones requeridas para un buen solvente:

**CAPACIDAD DE EXTRACCION.**—La capacidad para extraer Uranio es una de las principales condiciones que debe poseer un solvente y se mide por el coeficiente de distribución y la capacidad de saturación.

**SELECTIVIDAD.**—Otra propiedad que se debe tomar en cuenta al escoger un solvente es la selectividad y se define como la medida de extracción de la substancia dada en relación con los demás, para alcanzar una mayor purificación y aprovechar al máximo su capacidad.

**RECUPERABILIDAD.**—Para que un solvente sea aceptable como tal debe existir un método barato y simple para recuperar la substancia extraída.

**SOLUBILIDAD MUTUA.**—La solubilidad mutua debe ser muy baja para obtener adecuadas concentraciones de soluto y para evitar pérdidas de solvente que generalmente es recirculado.

**ESTABILIDAD.**—El solvente debe ser altamente estable de modo que resista muchos ciclos de extracción-reextracción sin necesidad de tratamiento para eliminar productos de degradación.

**SEPARACION DE FASES.**—La separación de fases tiene que ser rápida y completa en la operación de cualquier tipo de extracción. Es-

El contacto entre las fases se puede lograr de distintas maneras y es muy variado el equipo que se usa para ello, desde simples tanques provistos de agitación mecánica columnas de contacto a contracorriente de diversos tipos, hasta extractores más complicados como los de tipo mezclador asentador en donde se efectúa la separación con ayuda de la fuerza centrífuga y la operación es continua.

Esquemáticamente el proceso de extracción de Uranio con solventes consta de dos fases: La extracción y la reextracción o agotamiento. En la fase de extracción el disolvente orgánico se pone en contacto con el líquido a tratar y el Uranio pasa a el solvente. En la fase de reextracción el solvente cargado se pone en presencia de una solución acuosa adecuada y el Uranio vuelve a pasar a la fase acuosa. Con estas dos operaciones se logra simultáneamente purificar y concentrar el Uranio.

Gran parte de la efectividad de la operación radica en escoger un solvente adecuado y aunque ésto sería tema de gran amplitud nos concretaremos a dar las principales condiciones requeridas para un buen solvente:

**CAPACIDAD DE EXTRACCION.**—La capacidad para extraer Uranio es una de las principales condiciones que debe poseer un solvente y se mide por el coeficiente de distribución y la capacidad de saturación.

**SELECTIVIDAD.**—Otra propiedad que se debe tomar en cuenta al escoger un solvente es la selectividad y se define como la medida de extracción de la substancia dada en relación con los demás, para alcanzar una mayor purificación y aprovechar al máximo su capacidad.

**RECUPERABILIDAD.**—Para que un solvente sea aceptable como tal debe existir un método barato y simple para recuperar la substancia extraída.

**SOLUBILIDAD MUTUA.** La solubilidad mutua debe ser muy baja para el ser adecuadas concentraciones de soluto y para evitar pérdidas de solvente que generalmente es recirculado.

**ESTABILIDAD.**—El solvente debe ser altamente estable de modo que resist. muchos ciclos de extracción-reextracción sin necesidad de tratamiento para eliminar productos de degradación.

**SEPARACION DE FASES.**—La separación de fases tiene que ser rápida y completa en la operación de cualquier tipo de extracción. Es

to puede favorecerse empleando como fase continua la fase orgánica, evitándose así la formación de emulsiones.

**DENSIDAD, TENSION INTERFACIAL, VISCOSIDAD.**—Estas tres propiedades intervienen en los fenómenos de dispersión y separación de fases, así como en las velocidades de flujo permisibles en los equipos continuos. Es de desearse para un solvente: Alta diferencia de densidades entre las fases, tensión interfacial apropiada para permitir la separación rápida, sin impedir no obstante, la dispersión adecuada.

La viscosidad debe ser baja para efectos de bombeo, transmisión de calor, etc.

**INFLAMABILIDAD Y TOXICIDAD.**—Se deben tomar muy en cuenta éstas dos propiedades para evitar problemas de seguridad e higiene en su manejo. De una manera general, el grado de inflamabilidad y toxicidad debe ser bajo, de lo contrario se debe proveer la protección adecuada para ambos casos.

**COSTO.**—El costo que incluye las pérdidas de solvente, (por solubilización, arrastre, hidrólisis y salpicaduras), los reactivos necesarios para la reextracción y recuperación del producto, la energía gastada en la dispersión de una fase en la otra y la amortización de las instalaciones requeridas debe ser bajo.

Por último debe tenerse en cuenta la composición del líquido a tratar, es decir, la naturaleza y concentración de los diferentes aniones y cationes que acompañan al Uranio y los estados de oxidación de todos los iones presentes.

Hasta la fecha se han hecho una cantidad considerable de investigaciones preliminares y trabajos desarrollados y de los cientos de compuestos investigados, se encontraron a muchos con características adecuadas de extracción; sin embargo hasta ahora, solamente se usan comercialmente compuestos derivados de aminas y de fósforo.

#### c) **IMPORTANCIA DEL USO DE SOLVENTES EN LA METALURGIA EXTRACTIVA DEL URANIO.**

El uso de solventes en la metalurgia extractiva del Uranio ha adquirido suma importancia por las ventajas de que goza en comparación con los demás métodos de recuperación como: Precipitación química directa, Recuperación por cambio de ión.

Dichas ventajas son las siguientes:

- a) Simplicidad de operación.
- b) Facilidad de control.
- c) Alta eficiencia de extracción y selectividad.
- d) Costo relativamente bajo de instalación.
- e) Facilidad de regeneración del solvente cargado.
- f) Sistemas continuo a contracorriente.

Las desventajas de los procesos basados en la extracción con solventes son: En primer lugar que requieren, en la actualidad, líquidos clarificados, ya que todavía no se han conseguido resultados satisfactorios con el empleo de suspensiones; y además en la práctica la extracción con solventes se aplica exclusivamente a los líquidos de lixiviación ácida; dado que la aplicación a las soluciones alcalinas no está completamente resuelta, aunque se disponga de resultados prometedores.



## CAPITULO II

### PROCESAMIENTO DE MINERALES URANIFEROS

En el tratamiento de minerales de uranio tienen lugar una serie de operaciones que comprenden desde la preparación del mineral hasta la obtención del concentrado. Aquí se darán solamente unas breves nociones de lo que consiste cada operación siendo el objeto principal dar una idea general del proceso de beneficio de los minerales de uranio y en el cual, una de las operaciones es la recuperación de uranio de los licores cargados.

#### a) CONCENTRACION Y TRATAMIENTOS PREVIOS.

Los métodos principales de concentración que se utilizan son: la selección a mano, los métodos gravimétricos, la foltación, el estrío electrónico y la molienda diferencial.

En la aplicación de los métodos anteriores se procura:

1.—Obtener un producto de calidad suficiente que pueda enviarse a la planta de purificación.

2.—Preconcentrar la mena antes de otro tratamiento, tendiendo a disminuir los costos de transporte y a aumentar la ley, lo que permite aumentar la capacidad de la planta de tratamiento químico y forzar las condiciones de tratamiento.

—Mantener en circuito el elemento valioso y separar los componentes de la mena que interfieren con otros tratamientos posteriores especialmente con la lixiviación.

## **Tostación.**

La finalidad de la tostación de menas de uranio es:

- 1.—Formar compuestos solubles por ejemplo el vanadio.
- 2.—Eliminar algún elemento perjudicial para la lixiviación como es por ejemplo la materia orgánica.
- 3.—Mejorar las características de sedimentación y filtración de las suspensiones de mineral cuando el mineral contiene grandes cantidades de arcilla y la tostación las deshidrata.

### **b) RECEPCION DE MINERAL, TRITURACION, DEMUESTRE MOLIENDA.**

El mineral de uranio extraído de las minas se envía a una planta de tratamiento o a una estación donde se almacena. El mineral se pesa a la llegada y se toma una muestra a mano (5 - 10 Kg.) para determinar la humedad. Después se demuestra todo el lote del mineral para determinar la ley en uranio. Ordinariamente se forman lotes lo mayor posibles y como mínimo de 10 a 20 ton. Para el transporte se usan cintas transportadoras que se prefieren a los elevadores de cangilones. Un aspecto fundamental en las instalaciones de trituración y demuestre es el sistema de colección de polvo, cuya existencia es necesaria fundamentalmente desde el punto de vista sanitario.

La trituración y molienda constituyen el conjunto de operaciones de reducción de tamaño necesarias para lograr la liberación o accesibilidad del mineral de uranio.

La molienda se realiza normalmente en molinos de bolas en circuito cerrado con clasificadores mecánicos o ciclones. A veces se coloca un molino de barras en circuito abierto antes del molino de bolas.

La molienda puede efectuarse en seco o en húmedo. Pero en realidad la molienda en seco ha tenido muy poca aplicación en la práctica; no así la húmeda que se efectúa con  $H_2O$  si la lixiviación es ácida y con licores de lixiviación si el circuito es alcalino.

### **c) LIXIVIACION.**

La lixiviación es el proceso de disolución de los constituyentes de valor que hay en una mena utilizando reactivos químicos apropiados.

La lixiviación puede ser ácida o alcalina y su elección está determinada fundamentalmente por el tipo de ganga y la composición de la mena.

#### *Lixiviación ácida.*

Se han usado HCl, HNO<sub>3</sub>, pero actualmente se usa casi exclusivamente el H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Las principales ventajas de la lixiviación son:

- 1.—Por lo general se encuentran menos minerales refractarios al proceso ácido y las recuperaciones de uranio más altas.
- 2.—El tamaño de partículas necesario es relativamente grande.
- 3.—La concentración de reactivo es bastante baja.
- 4.—Se logra con cierta facilidad la oxidación del uranio.
- 5.—El tiempo de lixiviación suele ser corto.
- 6.—La operación se puede realizar a temperatura ambiente.
- 7.—La recuperación del uranio de las soluciones se puede efectuar con facilidad con resinas cambiadoras de ión o con solventes.

El principal inconveniente es que requiere el empleo de materiales de construcción resistente a los ácidos.

La lixiviación ácida se realiza corrientemente por agitación en vasija abierta con suspensiones de sólidos lo más concentrados posibles.

Las condiciones de lixiviación dependen de: 1) concentración del ácido, 2) grado de oxidación, 3) temperatura, 4) tamaño y 5) el grado en el cual los minerales de uranio están ligados por la ganga.

#### *Lixiviación Alcalina.*

Se usa para minerales primarios y secundarios. No es corrosiva y tiene cierta selectividad para el uranio, vanadio y algunos otros elementos. Pero tiene las desventajas siguientes:

- a) de que necesita temperaturas altas, b) es difícil realizar la oxidación de los minerales primarios, c) se requieren tamaños finos de partículas y d) cuando hay presencia de sulfuros o yeso aumenta mucho el consumo de reactivo.

En la práctica se emplean como agentes de lixiviación alcalina, soluciones de carbonato-bicarbonato sódico aunque se ha ensayado también el uso de  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  a presión.

#### d) Separación sólido-líquido.

En la separación sólido-líquido después de la lixiviación, se trata de separar la solución fértil, que contiene uranio, de los sólidos estériles. Se logra con varios pasos de filtración con lavados y repulpados intermedios, por decantación a contracorriente solos o mediante una combinación de espesadores, clasificadores y ciclones. Esta separación es clave en el tratamiento de los minerales de uranio, ya que es preciso lograr un rendimiento elevado.

La filtración es adecuada para pulpas poco arcillosas y permite obtener soluciones más concentradas que por decantación. Normalmente se usan 2 pasos. En el lavado se utiliza  $\text{H}_2\text{O}$ , aunque a veces se lava con  $\text{H}_2\text{O}$  acidulada con el fin de evitar la reprecipitación de uranio de las disoluciones ácidas.

El método de decantación a contracorriente se aplica cuando el mineral tiene buenas características de asentamiento o es floculado fácilmente por adición de varios reactivos y el grado de mineral es alto. Una desventaja del método de decantación a contracorriente es que ocurre una disolución considerable de la solución cargada durante la lixiviación. Además este método no es aplicable al tratamiento de minerales con bajo grado.

Los métodos de filtración y decantación a contracorriente se pueden combinar.

La clarificación a fondo de las soluciones fértiles es necesaria para la recuperación posterior del uranio por cambio de ión en lechos estáticos, por extracción con solventes o por precipitación directa. Para ésta clarificación se emplean filtros-prensa, de hojas, o de arena ayudando a la operación con coadyuvantes de filtración.

#### e) RECUPERACION DE URANIO DE LICORES CARGADOS.

##### 1) Precipitación Química Directa.

Los métodos de precipitación tuvieron hasta 1950 mucha aplicación

en la fase inicial metalúrgica del U, cuando se trataban minerales ricos que proporcionaban soluciones concentradas y relativamente puras. En la actualidad sólo se utiliza para líquidos de lixiviación ácida precipitando fosfato uranoso o preconcentrados cálcicos y en el tratamiento de líquidos procedentes de lixiviación natural.

Los métodos de precipitación que se han seguido en la práctica son:

- 1.—Precipitación del fosfato uranoso a partir de soluciones ácidas.
  - 2.—Precipitación del peróxido de uranio de soluciones nítricas o sulfonítricas.
  - 3.—Precipitación fraccionada con alcoholes de soluciones que contienen uranio.
  - 4.—Precipitación con NaOH de soluciones de ataque alcalino.
- Estos métodos tienen las desventajas:

a) Alto costo de reactivos. b) recuperación pobre y c) se obtienen productos de baja pureza.

## 2) Recuperación del uranio por cambio iónico.

Este método es comúnmente aplicable a licores de lixiviación ácida, y su aplicación fue consecuencia de un hallazgo accidental: la retención de U de las soluciones sulfúricas por las resinas cambiadoras de iones. Esto permitió salvar las dificultades encontradas en la recuperación de uranio de soluciones pobres, ya que proporcionó un método de trabajo capaz de recuperar el uranio de las soluciones al mismo tiempo que separaba las impurezas que no forman complejos aniónicos.

Especialmente, el proceso consiste en la fijación del uranio sobre la resina y en su desplazamiento posterior mediante una solución adecuada llamada eluyente.

La recuperación por cambio iónico se clasifica en dos grupos:

- a) Proceso en lecho fijo.
- b) Proceso en lecho móvil.

a) El método más corriente de realizar la operación es usar columnas de lecho fijo con la resina llenando el 50% del volumen de la columna para permitir la expansión del lecho.

b) El proceso de lecho móvil es similar al proceso de lecho fijo siendo la diferencia básica que la resina es movida como la solución; durante la absorción se usan tres columnas en serie y al final la resina cargada se pasa hidráulicamente a la columna de lavado.

El sistema de columnas de lecho fijo transferible constituye una transacción de los lechos fijos al lecho móvil, pues si bien el cambiador permanece fijo durante la operación es susceptible de ser trasladado de una a otra columna según sea la fase en que se encuentre.

Los sistemas de lecho móvil no han encontrado eco en la industria más que en aquellos casos en que deben ser tratados líquidos turbios; en los que los costos de filtración y clarificación exceden varias veces los costos de cambio de ión en lecho fijo.

### 3) Extracción con solventes.

La extracción con solventes es el procedimiento alternativo del cambio de ión. Consiste como ya se indicó de dos fases: la extracción y la reextracción. Los solventes usados en esta operación son los compuestos organofosforosos y algunas aminas alquílicas; las cuales ofrecieron mayor eficiencia entre otros muchos ensayados.

El comportamiento químico y descripción detalladas del proceso se menciona en otro capítulo de este trabajo por lo que aquí solamente se señala como una de las operaciones del proceso a que se someten los minerales de uranio.

### 1) OBTENCIÓN DE CONCENTRADOS.

El producto final que se obtiene generalmente en una instalación del tratamiento de minerales de uranio es un concentrado constituido por un uranato o un producto de calcinación del mismo.

Para la obtención de buenos concentrados es conveniente partir de líquidos bastante puros y además aumentar la pureza del producto en las etapas subsiguientes de precipitación, filtración, lavado, secado y calcinación. La elección del agente de precipitación (CaO, MgO, NaOH o  $\text{NH}_3$ ) depende del líquido en paradas y de consideraciones técnicas basadas en disponibilidad y producción.

La precipitación puede ser en una o dos etapas. La primera se realiza con NaOH o MgO o NH<sub>3</sub> hasta un pH 6.5 a 7 y se suele trabajar a marcha discontinua, en frío o en caliente.

La precipitación en 2 etapas se realiza normalmente con soluciones obtenidas en la elución con NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. La primera fase se realiza a un pH entre 3.0 y 3.5 mediante la adición de lechada de cal y se filtra el líquido obtenido de la filtración se somete a una segunda precipitación a un pH 6.5 - 7.5 con NH<sub>3</sub> gaseoso o con sosa en esta fase se forma un precipitado de uranato cuyas impurezas fundamentales son: Fe, Al, Si, CaSO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaNO<sub>3</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>. El filtrado consta esencialmente de una sal de NO<sub>3</sub> y SO<sub>4</sub> amónico y sódico y se utiliza en la preparación de eluyente nuevo, agregando HNO<sub>3</sub> o NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> hasta alcanzar las condiciones prefijadas.

#### g) PREPARACION FINAL.

La preparación final comprende las operaciones de secado, envasado y demuestre del concentrado.

**SECADO.**—El concentrado de uranio se seca hasta un contenido de humedad inferior al 10%. Si contiene amoníaco hay que calcinar para eliminarlo a temperatura entre 500 y 600°C.

**ENVASADO.** La descarga de los secadores se lleva a una tolva donde se almacena y partir de la cual se envasa el producto en vidones que son sometidos a vibración. Una vez envasado, se pesa.

**DEMUESTRE.**—El demuestre de las concentraciones de uranio se realiza tomando una muestra de tres puntos en los vidones en que están envasadas por medio de un demuestrador de barrena que penetra en la masa del concentrado.

### CAPITULO III

#### CONDICIONES DE EXTRACCION

##### a) EFECTOS DE LA COMPOSICION DE LAS SOLUCIONES DE LIXIVIACION.

Los solventes orgánicos que se usan en la extracción se pueden clasificar de acuerdo con el tipo de compuesto de uranio extraído, ya que éste puede existir en las soluciones acuosas, tanto en la forma neutra, como en forma aniónica o catiónica.

Los principales solventes que extraen compuestos neutros son: los éteres, los trialquil fosfatos y los óxidos de trialquil fosfina.

A la segunda clase o sea a aquellos solventes que extraen aniones pertenecen las aminas alquílicas (primarias, secundarias y terciarias).

Por último los solventes que extraen cationes son: los ácidos alquil ortofosfóricos y los ácidos alquil pirofosfóricos.

El Uranio en soluciones de  $\text{NO}_3^-$  está presente comúnmente en forma neutra o catiónica por lo que puede ser extraído con: éteres, tributil fosfato o ácidos alquil fosfóricos.

En soluciones muy concentradas de iones  $\text{Cl}^-$  el uranio está presente en forma neutra o aniónica de modo que éste puede ser extraído por aminas alquílicas, éteres y tributil fosfato.

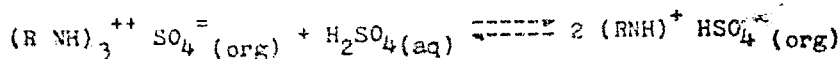
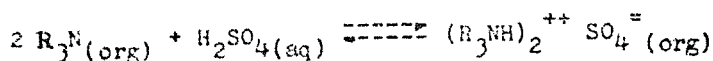
En soluciones de uranio con iones  $\text{SO}_4^{2-}$  tales como: las de lixiviación ácida con sulfúrico, el uranio está presente en forma aniónica y catiónica por lo que la extracción completa puede efectuarse tanto con alquil fosfatos como con aminas alquílicas.



La presencia en soluciones acuosas de más de un constituyente aniónico adecuado de composición de uranio hacen la extracción más complicada. Por ejemplo pequeñas concentraciones de  $\text{Cl}^-$  o  $\text{NO}_3^-$  en soluciones de  $\text{SO}_4^{=}$  tienen un efecto marcado en la extracción de compuestos aniónicos de uranio con aminas alquílicas.

b) *COMPORTAMIENTO QUIMICO DEL SOLVENTE.*

El solvente más apropiado para este trabajo es a base de aminas alquílicas, debido a que éstas en diluyentes orgánicos son reactivos muy eficaces para los ácidos fuertes; de modo que cuando la amina alquílica se pone en contacto con una solución ácida de  $\text{SO}_4^{=}$  resultante de la lixiviación, reaccionan entre sí y forman sulfato o bisulfato de la amina.



El comportamiento químico de éstos solventes indica el marcado paralelismo existente entre las aminas alquílicas y las resinas cambiadoras de anión.

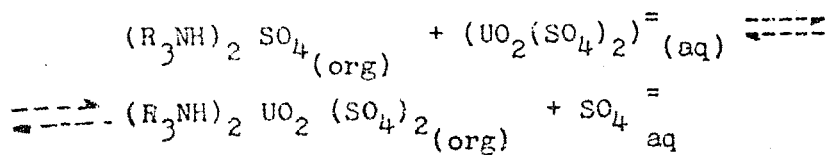
Todas las aminas tienen el mismo mecanismo de extracción; pero existe una gran diferencia en su comportamiento específico que depende de muchos factores y preferentemente de los grupos unidos al nitrógeno del grupo amino. La primera característica de estos agentes ha de ser una gran insolubilidad en  $\text{H}_2\text{O}$  y una perfecta solubilidad en diluyentes adecuados (benceno, querosina, diesel, etc.) La insolubilidad en la fase acuosa ha marcado un límite en su peso molecular que no debe ser inferior a 200.

Cuando el solvente está en forma de sal, un anión se puede intercambiar por otro. El orden de preferencia de las soluciones de amina por aniones es



muy similar al de las resinas de cambio de ión; esta propiedad se utiliza en los métodos de reextracción o agotamiento.

La reacción de la extracción de uranio de soluciones sulfúricas de acuerdo con un mecanismo de intercambio iónico es la siguiente:

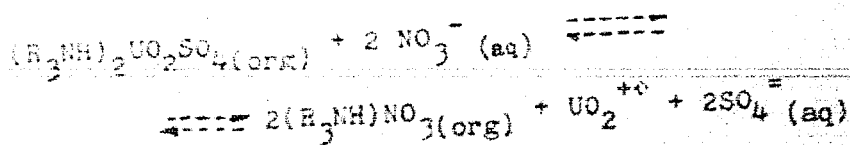


Esta reacción es tan sólo una simplificación de la realidad del proceso ya que la estructura del complejo formado no está bien definida.

El coeficiente de extracción del uranio por medio de las aminas es afectado por los siguientes factores: la naturaleza del diluyente, la acidez de la solución acuosa y las concentraciones de sulfatos, modificador y amina. Los diluyentes más empleados son la querosina y el diesel. El efecto del pH sobre el coeficiente de reparto también coeficiente de partición es más marcado en las aminas terciarias que en las secundarias y los valores óptimos se tienen para un pH de 1.0 a 1.5. Los modificadores agregados a las aminas para aumentar la solubilidad de sus sales complejos de Uranio son alcoholes de cadena larga (alcohol decílico, tridecílico, isodecanol, etc.)

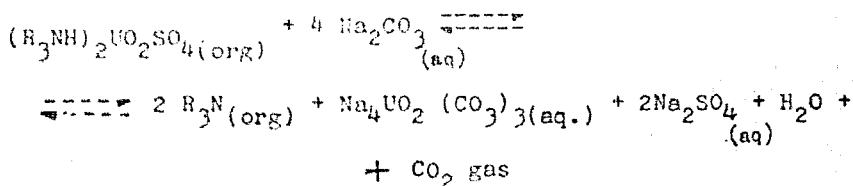
La reextracción de uranio de las soluciones orgánicas de aminas cargadas se lleva a cabo poniéndola en contacto con soluciones de cloruros, nitratos o por hidrólisis con  $Na_2CO_3$ , NaOH, MgO y  $NH_3$ . La elección del agente de reextracción va unida a la determinación de un óptimo económico para cada caso particular: pues por ejemplo el uso de  $NO_3^-$  es más eficaz que los  $Cl^-$ ; pero el uso de  $Cl^-$  es menos costoso.

La reextracción con  $NO_3^-$  se realiza según la reacción:



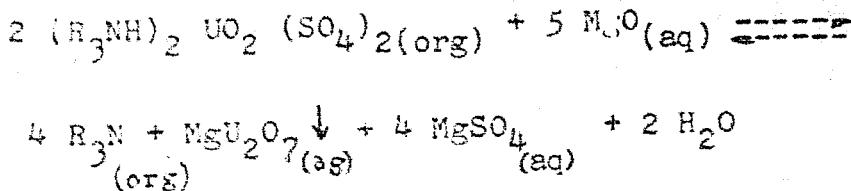
La recirculación de las sales de amina en forma de  $\text{NO}_3^-$  origina una pérdida excesiva en la eficiencia de extracción, debido a la mayor afinidad entre el  $\text{NO}_3^-$  y la amina; sin embargo la amina en forma de cloruro se puede volver a recircular directamente hasta la extracción sin que apenas influya en su eficiencia.

Los agentes de extracción alcalinos presentan la ventaja de dejar las aminas en forma libre por la siguiente reacción:



Por éste método se deja al uranio en forma de complejo carbónico y por filtración se separan las impurezas que precipitan.

La reextracción por álcalis ( $\text{NaOH}$ ,  $\text{MgO}$  o  $\text{NH}_3$ ) permite recuperar el uranio en forma de precipitado de uranato sódico, amónico o magnésico dependiendo de la base empleada. En el caso de la magnesia la ecuación es:



La sal de amina se convierte en amina libre, mientras que el uranio se precipita directamente de la fase orgánica como un poliuranato en forma granular que se deposita en la fase acuosa y se filtra fácilmente.

Acerca de las propiedades esenciales que debe tener un solvente: el poder selectivo de las aminas aumenta de las primarias a las terciarias pasando por las secundarias moderadamente ramificadas, y fuertemente ramificadas; en especial la mayor selectividad es de las aminas terciarias simétricas como la tri-iso-octilamina.

En lo que respecta a la pérdida de la solubilidad es un factor muy importante debido a que los reactivos amínicos son bastante caros y las soluciones acuosas de lixiviación son normalmente de gran volumen y diluidas con relación al uranio. Las solubilidades en la fase acuosa son apreciables con los compuestos de peso molecular pequeño y cadena corta, pero cuando la longitud de la cadena es larga y los pesos moleculares son suficientemente altos la pérdida oscila entre  $< 5$  a  $15$  p.p.m. Las pérdidas debidas al arrastre solvente, admitiendo pérdidas adicionales por evaporación y derramamiento se estiman en un  $0.05\%$  del volumen de la solución agotada.

Con las mejores combinaciones de amina y diluyente, la velocidad de separación de fase es rápida; normalmente se mantiene la fase orgánica continua para reducir al mínimo la formación de emulsiones y pérdidas por arrastre. La transferencia o paso del uranio durante la extracción o durante el agotamiento es francamente rápida.

### c) DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN.

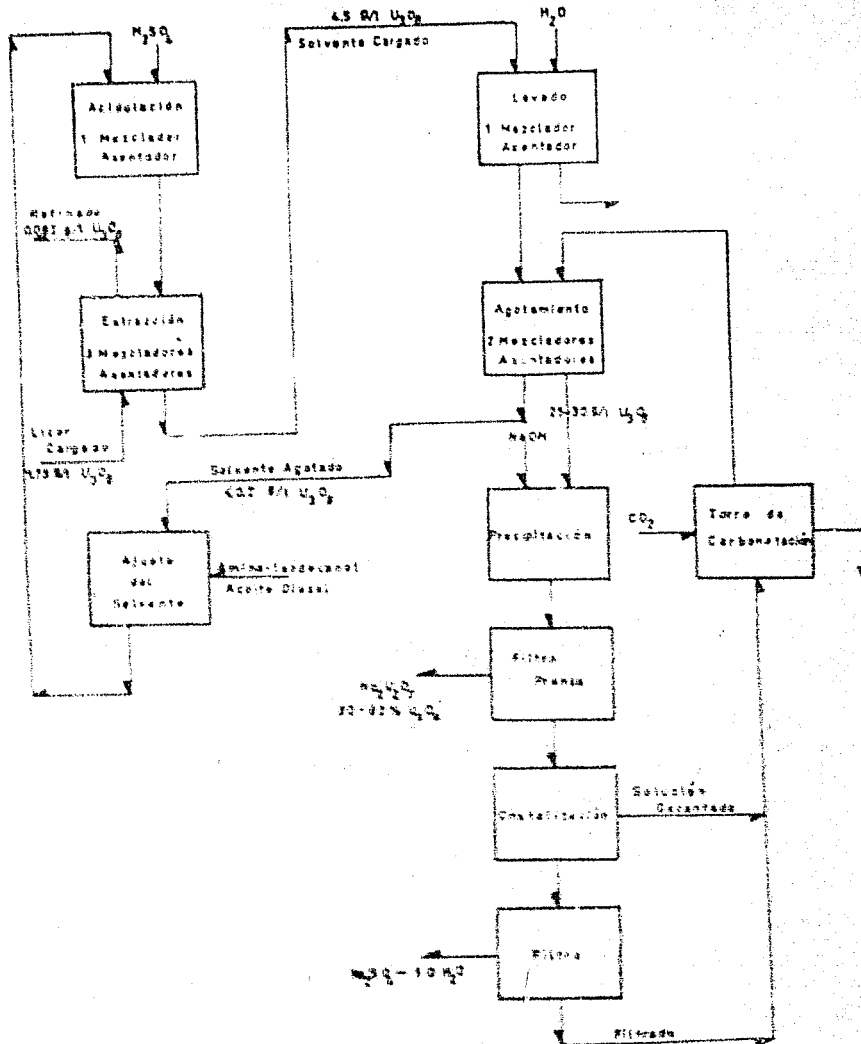
El proceso de recuperación de uranio por medio de solventes, como se dijo antes, es una operación en el tratamiento de minerales uraníferos, que se realiza en los licores cargados resultantes de la lixiviación y separación sólido-líquido.

En la figura adjunta se muestra un diagrama de flujo de una planta típica.

El solvente tri-iso-octilamina es acidulado con ácido sulfúrico diluido en una unidad mezclador-asentador.

El solvente entra al ciclo de extracción donde se recupera el uranio del licor cargado en 3 unidades mezclador-asentador. La relación orgánica acuosa en esta sección es tal que la amina cargada contenga  $4.5$  g/l de  $U_3O_8$ .

El solvente cargado es lavado con agua para separar las impurezas en una unidad mezclador-asentador. El uranio es recuperado del solvente en 2 unidades mezclador-asentador. La solución de agotamiento ( $6$  a  $10$  g/l de  $Na_2CO_3$ ) fluye de modo que la concentración a la salida sea de  $25$  a  $30$  g/l de  $U_3O_8$ . El solvente agotado el cual contiene pequeñas cantidades de  $U_3O_8$ , es recirculado al estado de acidulación.



El uranio en la solución de agotamiento cargada es precipitado con NaOH; el precipitado es filtrado y el producto ( $\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7$ ) contiene de 80 a 82% de  $\text{U}_3\text{O}_8$ . El filtrado se enfría para separar el  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  por cristalización, las aguas madres son recarbonatadas con  $\text{CO}_2$  gaseoso y recirculadas a la sección de agotamiento.

## CAPITULO IV

### PARTE EXPERIMENTAL

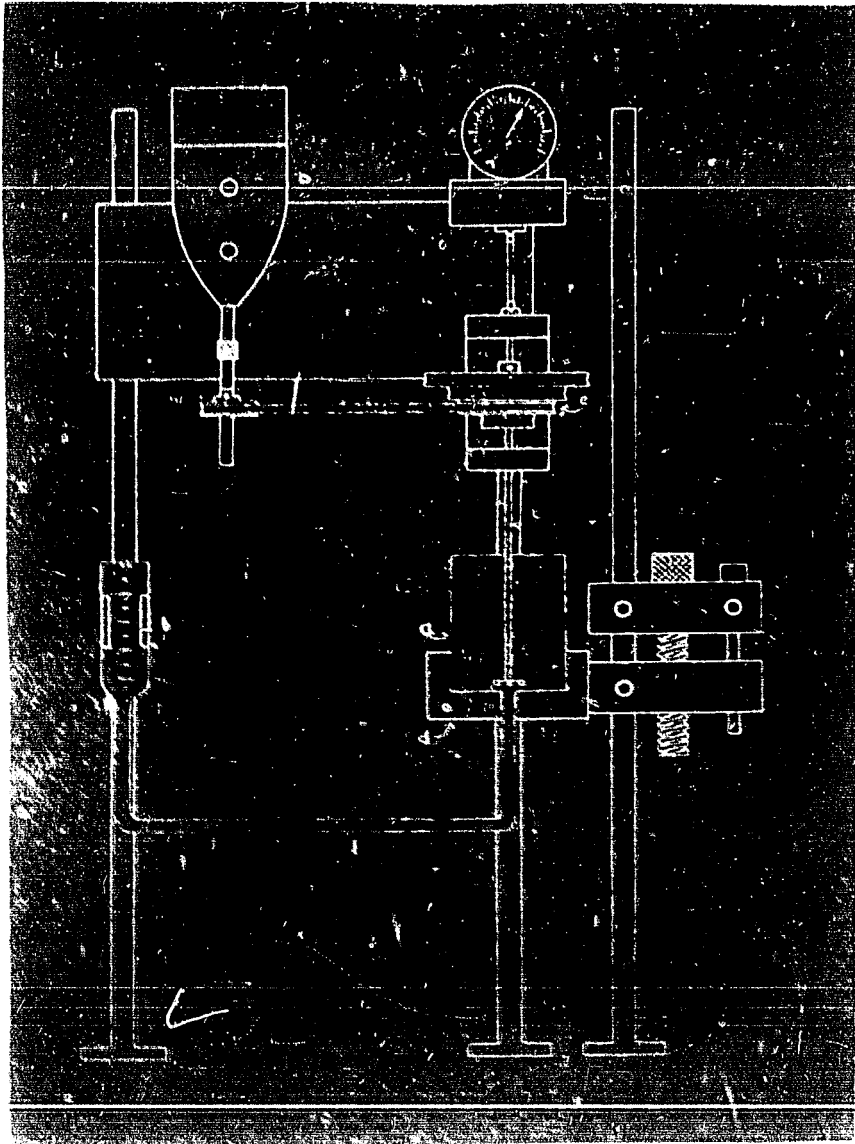
El control de la velocidad de los agitadores en una unidad mezclador-acentador ha sido siempre un problema pues un exceso de velocidad forma emulsiones y una velocidad insuficiente da por resultado que el efecto bombeante sea muy deficiente.

El presente trabajo experimental se encaminó en su primera parte a determinar las condiciones óptimas de operación de una unidad mezcladora, obteniendo después con estas condiciones una gráfica de succiones contra caudales a diversas velocidades; para que en un caso dado, conociendo el caudal y la succión a que se debe trabajar el agitador, sepamos también por medio de la gráfica, la velocidad que se debe imponer al mismo.

#### a) DETERMINACION DE LAS CONDICIONES OPTIMAS DE OPERACION DE UNA UNIDAD MEZCLADORA PARA OBTENER LA SUCCION MAXIMA.

Para estas determinaciones se usó un aparato como el de la figura No. 1, el cual consistió de un recipiente cilíndrico (a) de 11 cm. de altura y 8 cm. de diámetro; con dos orificios; uno, de entrada variable colocado exactamente en el centro del fondo del recipiente y unido al recipiente de alimentación (b); y otro orificio de salida en un extremo a una altura de 8 cm.

El agitador (c) con diversos tipos de rodete fue centrado verticalmente en todas sus vueltas al orificio de entrada variando únicamente su altura (claro) mediante una cremallera (d) accionada por un tornillo.





Para obtener diferentes velocidades del agitador se usó un juego de poleas escalonadas (e) unidas por medio de una banda a un motor Lightning de 1/4 de caballo, monofásico 50/60 ciclos y 110 volts.

Las diversas velocidades alcanzadas se observaron en un tacómetro con una escala de 100 a 1500 r.p.m. unido a la flecha del agitador.

Las variables de estos experimentos fueron: la velocidad del agitador (700, 850, 1050 y 1300 r.p.m.); los diámetros del orificio de entrada (4.76, 9.12 y 12.69 mm.) los diámetros del rodete (21.9 y 22.4 mm.) el número de aspas (4 y 6); dimensiones de las mismas (4.5 x 4.5; 5.0 x 5.0, 4.5 x 10 mm.) y el claro en mm.

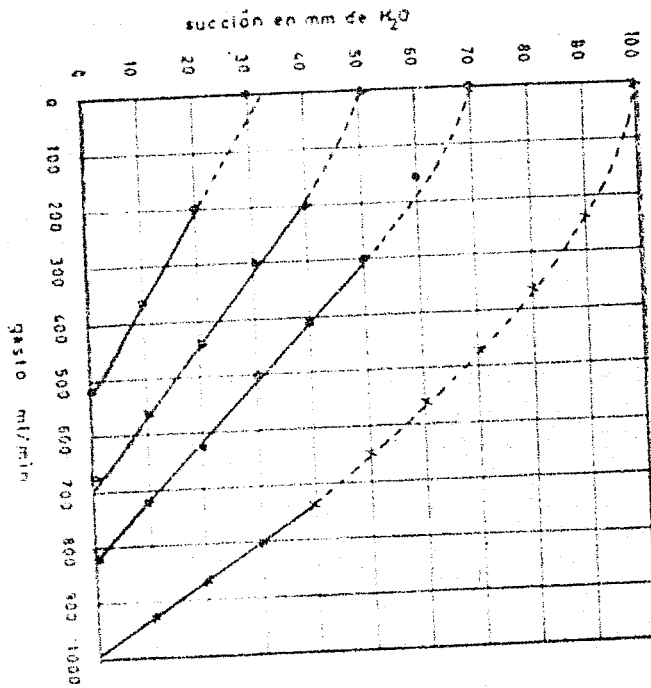
Se hicieron muchas pruebas con todas estas variables y se infirió de todas ellas que las condiciones óptimas para obtener la succión máxima eran:

Velocidad ..... 1350 r.p.m.  
 Diámetro del orificio de entrada .... 9.12 mm.  
 Diámetro del rodete .... 21.9 mm.  
 Número de aspas .... 4  
 Dimensiones de aspas ... 4.5 x 4.5 mm.  
 Claro ... 4 mm.

Con estas condiciones establecidas (exceptuando la velocidad) las siguientes pruebas consistieron en determinar la variación de los caudales con las succiones a diversas velocidades y se encontraron los datos de la tabla siguiente:

850 r.p.m.		1050 r.p.m.		1200 r.p.m.		1350 r.p.m.	
succión	caudal	succión	caudal	succión	caudal	succión	caudal
30	0	50	0	70	0	100	0
20	200	40	200	60	160	90	230
10	360	30	300	50	300	80	360
0	500	20	440	40	410	70	470
		10	560	30	500	60	560
		0	670	20	630	50	650
				10	720	40	740
				0	815	30	800
						20	870
						10	930
						0	990

Graficando estos valores resultó la gráfica No 1.



GRAFICA No. 1

x - 1350 V.P.  
 • - 1200 " "  
 Δ - 1050 " "  
 o - 850 " "

b) ISOTERMA DE DISTRIBUCION DE UNA SOLUCION DE AMINA LA-2 CON QUEROSINA AL 33% Y UN LICOR PROCEDENTE DE UNA LIXIVIACION ACIDA.

Se agitaron en un embudo de separación 10 ml. de la solución de la amina por 10 veces sucesivas con porciones de 100 ml. de licor cargado y se analizaron las fases acuosas.

Resultados analíticos:

Contacto	U g/l	Contacto	U g/l
1	0.064	6	1.3
2	0.064	7	1.5
3	0.15	8	1.7
4	0.38	9	1.68
5	0.868	10	1.3

El valor para el primer contacto se desechó por no haberse alcanzado el equilibrio y los 8,9 y 10 se consideraron iguales porque al saturarse el solvente no cambia la concentración de la solución y ésta era de 1.68 g/l.

Efectuando balances de U se calcularon las concentraciones de la fase orgánica como sigue:

Efectuando balances de U se calcularon las concentraciones de la fase orgánica como sigue:

$$1.68 - 0.064 = 1.616 \quad ; \quad 1.616$$

$$1.68 - 0.064 = 1.616 \quad ; \quad 3.233$$

$$1.68 - 0.150 = 1.530 \quad ; \quad 4.762$$

$$1.68 - 0.380 = 1.300 \quad ; \quad 6.062$$

$$1.68 - 0.868 = 0.812 \quad ; \quad 6.874$$

$$1.68 - 1.300 = 0.380 \quad ; \quad 7.254$$

$$1.68 - 1.500 = 0.180 \quad ; \quad 7.434$$

$$1.68 - 1.680 = 0.000 \quad ; \quad 7.434$$

La última columna representa la concentración de la fase orgánica de cada contacto y los valores subrayados de cada renglón, son los que están en equilibrio.

La curva que resulta de trazar la concentración de Uranio de la fase acuosa (abscisas) contra la concentración en la fase orgánica (ordenadas) se le llama Isoterma de distribución o de equilibrio. Por lo que entonces se tienen los siguientes puntos para la Isoterma de Distribución o de Equilibrio: (0.061, 3.23); (0.15, 4.76); (0.38, 6.06); (0.87, 6.87); (1.3, 7.25) y (1.68, 7.43). Estando representadas todas las cifras en g U Grafica No. 2.

### C) ISOTERMA DE DISTRIBUCION PARA LA REEXTRACCION DE UNA AMINA CARGADA.

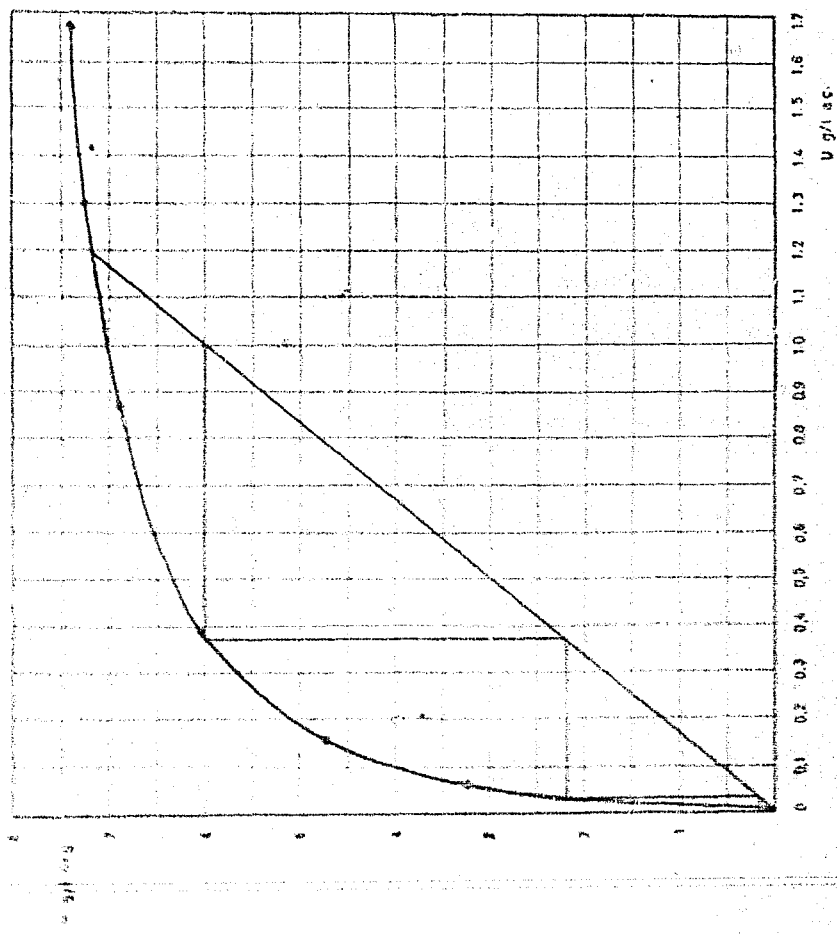
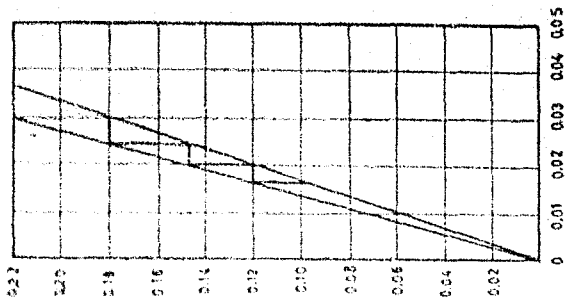
Solución de reextracción NaCl 1.0 M y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.05 M.

Se efectuaron 10 contactos del orgánico cargado, 150 ml. de cada uno con 100 de la solución de reextracción agitando durante un minuto. Se analizaron las muestras del orgánico y el cálculo de concentraciones para el acuoso se hizo en forma análoga a la de los casos anteriores.

Para depurar los resultados analíticos se trazó previamente la curva de reextracción con una gráfica del número de contactos contra la concentración del orgánico, esta tiene la forma de una curva de titulación potenciométrica, Grafica No. 3. El cálculo se basa en los valores analíticos, así ajustados y se tabula como valores probables.

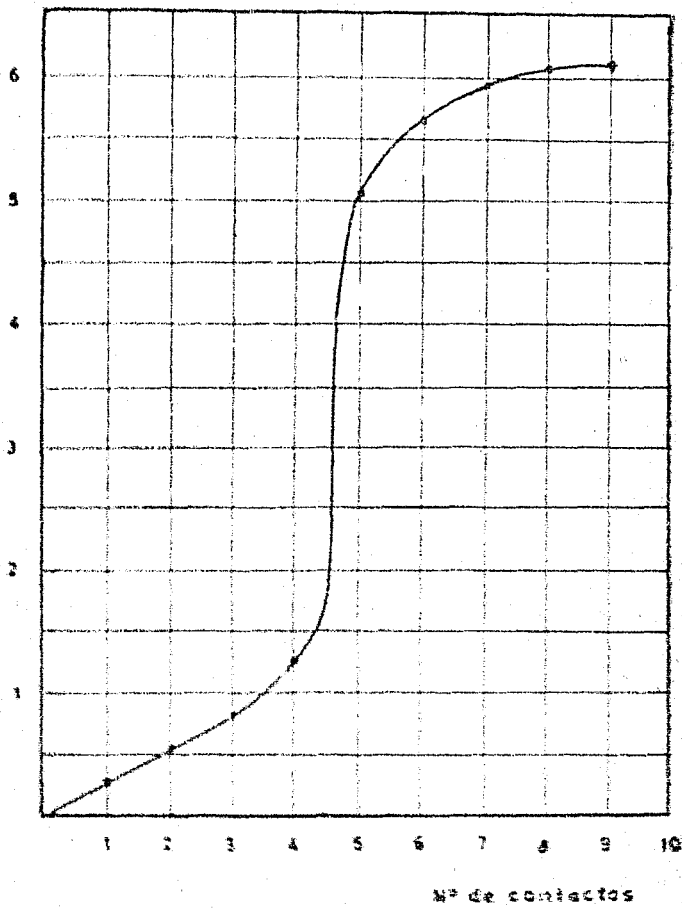
GRAFICA No. 3

Contacto	g/l de U en orgánico	
	Analizados	Probables
1	0.38	0.36
2	0.38	0.55
3	0.31	0.80
4	1.02	1.25
5	0.85	5.05
6	0.75	5.50
7	0.57	6.00
8	0.35	6.05
9	0.11	6.10



GRAFICA No. 2

u g/l org.



GRAFICA No. 3

### Cálculo de las concentraciones para el acuoso

1.5 (6.1 - 0.30)	=	8.70 ;	8.70
1.5 (6.1 - 0.55)	=	8.32 ;	17.02
1.5 (6.1 - 0.80)	=	7.95 ;	24.97
1.5 (6.1 - 1.25)	=	7.24 ;	32.24
1.5 (6.1 - 5.05)	=	1.57 ;	33.81
1.5 (6.1 - 5.70)	=	0.60 ;	34.41
1.5 (6.1 - 6.00)	=	0.15 ;	34.57
1.5 (6.1 - 6.05)	=	0.07 ;	34.61
1.5 (6.1 - 6.08)	=	0.02 ;	34.63

### GRAFICA No. 4

#### D) Cálculo de caudales.

Para el cálculo de caudales se tienen las siguientes fórmulas, algebraicas:

$$\begin{aligned} Aq &= (U/I + R) Ct & Oq &= (R/I + R) Ct \\ Of &= (C/I + R) Ct & Or &= (R - C) Ct / (1 + R) \end{aligned}$$

$$Ct = \frac{V}{t}$$

en donde:

a) concentración de Uranio en el acuoso de entrada.

O) concentración de Uranio que se desea en el orgánico.

C) relación

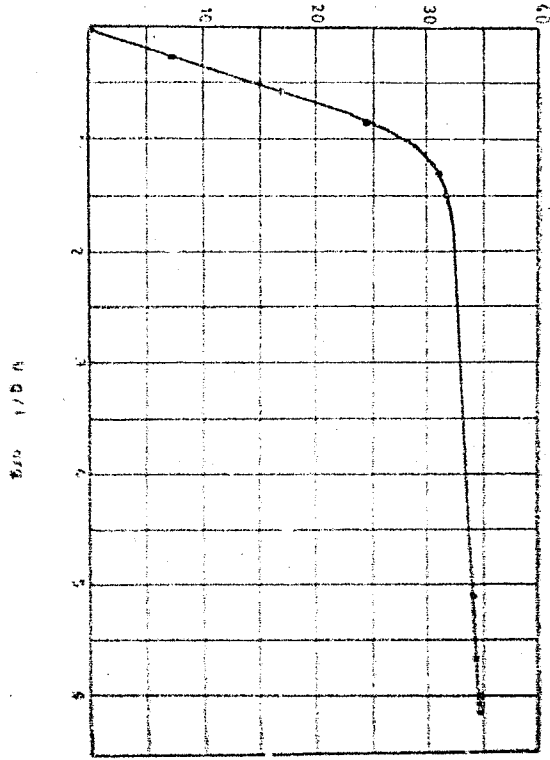
Ct) caudal total deseado del mezclador.

Aq) caudal del acuoso.

Of) caudal del orgánico fresco.

Or) caudal del orgánico recirculado.

g / l ec



GRAFICA No. 4



- Ot) caudal del orgánico total.  
 V) volumen del mezclador en operación.  
 $\theta$ ) tiempo de retención en el mezclador.  
 R) relación de orgánico a acuoso deseado en el mezclador por ajuste del reciclo. ( $R = O_t / A_q$ )

$$a = 1.0 \text{ g/l}$$

$$O = 6.0 \text{ g/l}$$

$$C = \frac{a}{o} = \frac{1}{6} = 0.166 \text{ g/l}$$

$$\theta = 1 \text{ minuto.}$$

$$C_t = \frac{V}{\theta} = 350 \text{ ml/min.}$$

$$R = \frac{6}{4} = 1.5$$

$$A_q = (1/\theta + R) C_t \quad O_r = (R - C) C_t / \theta + R$$

$$A_q = (1/1 + 1.5) 350 \quad O_r = (1.5 - 0.166) 350 / 1 + 1.5$$

$$A_q = 140 \text{ ml/min.} \quad O_r = 186.76 \text{ ml/min.}$$

$$O_f = (C/\theta + R) C_t \quad O_t = (R/\theta + R) C_t$$

$$O_f = (0.166/1 + 1.5) 350 \quad O_t = (1.5/1 + 1.5) 350$$

$$O_f = 23.24 \text{ ml/min.} \quad O_t = 210 \text{ ml/min.}$$

e) Pruebas realizadas en licores de lixiviación ácida.

Antes de iniciar las pruebas de extracción, se pasó a forma de  $SO_4$  10 litros de amina LA-2 0.15M tratándola con una solución de  $H_2SO_4$  0.122 N.

La concentración del licor de 1.0 g/l se quiso reducir a 0.02 por lo

que observando en la Isoterma de distribución fue necesario usar cuatro etapas como lo indica la figura No. 2.

Los caudales calculados fueron 140, 23.40 y 186.70 ml/min. para el acuosa, orgánico fresco y orgánico recirculado respectivamente con un tiempo de retención de 1 min. en el mezclador y la velocidad de los agitadores se determinó mediante la gráfica No. 1. Conociendo el caudal del acuoso y la diferencia de nivel entre el mezclador y el asentador (figura No. 2) que viene a ser la succión en mm. de agua.

Aq = 140 ml/min.

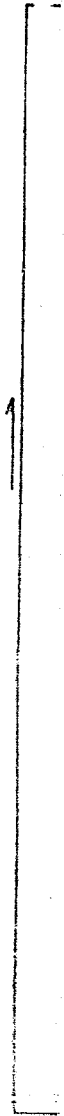
succión = 40 mm. de H<sub>2</sub>O

velocidad del rotor ----- 1000 r.p.m.

Por lo tanto la velocidad en todos los agitadores fue de 1000 r.p.m.

Los resultados de las pruebas se dan en la tabla siguiente:

PRUEBA		A	B
NATURALEZA		EXTRACCION	REEXTRACCION
A	U g/l	1.43	
C	pH	1.2	NaCl 1 M.
U	SO <sub>4</sub> = g/l	43.5	Y
O	H— N	0.17	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0.05 M.
S	Cu g/l	1.38	
O	Fe g/l	1.66	
Si O <sub>2</sub> g/l		0.44	
O	LA— 2 M	0.15	0.15
r	U g/l	0	6.68
g.			
CAUDAL			
	Aq ml/min.	140	25
	Of ml/min.	23.24	150
	Or ml/min.	186.70	0
O/A	1/3	5/1	



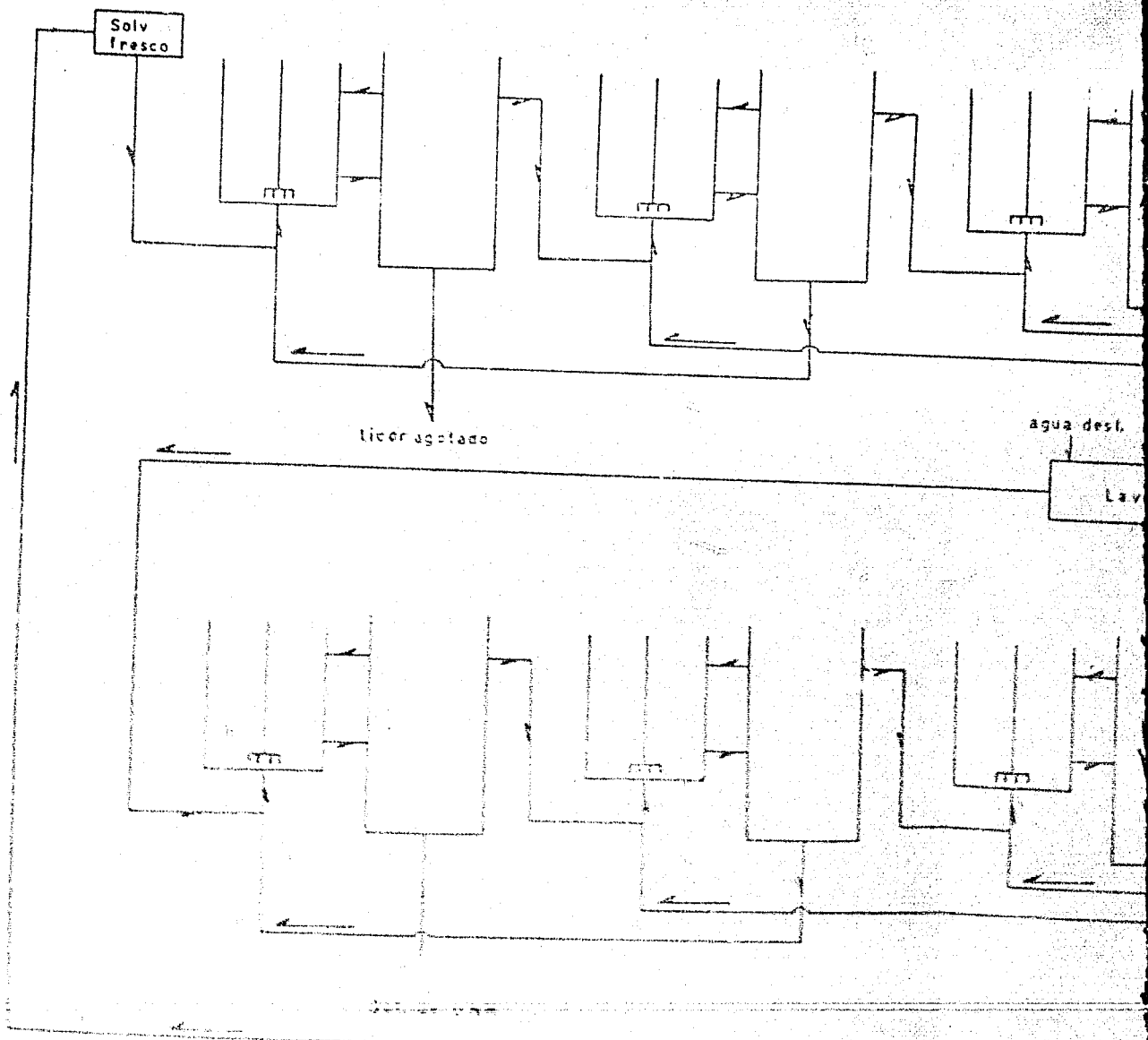
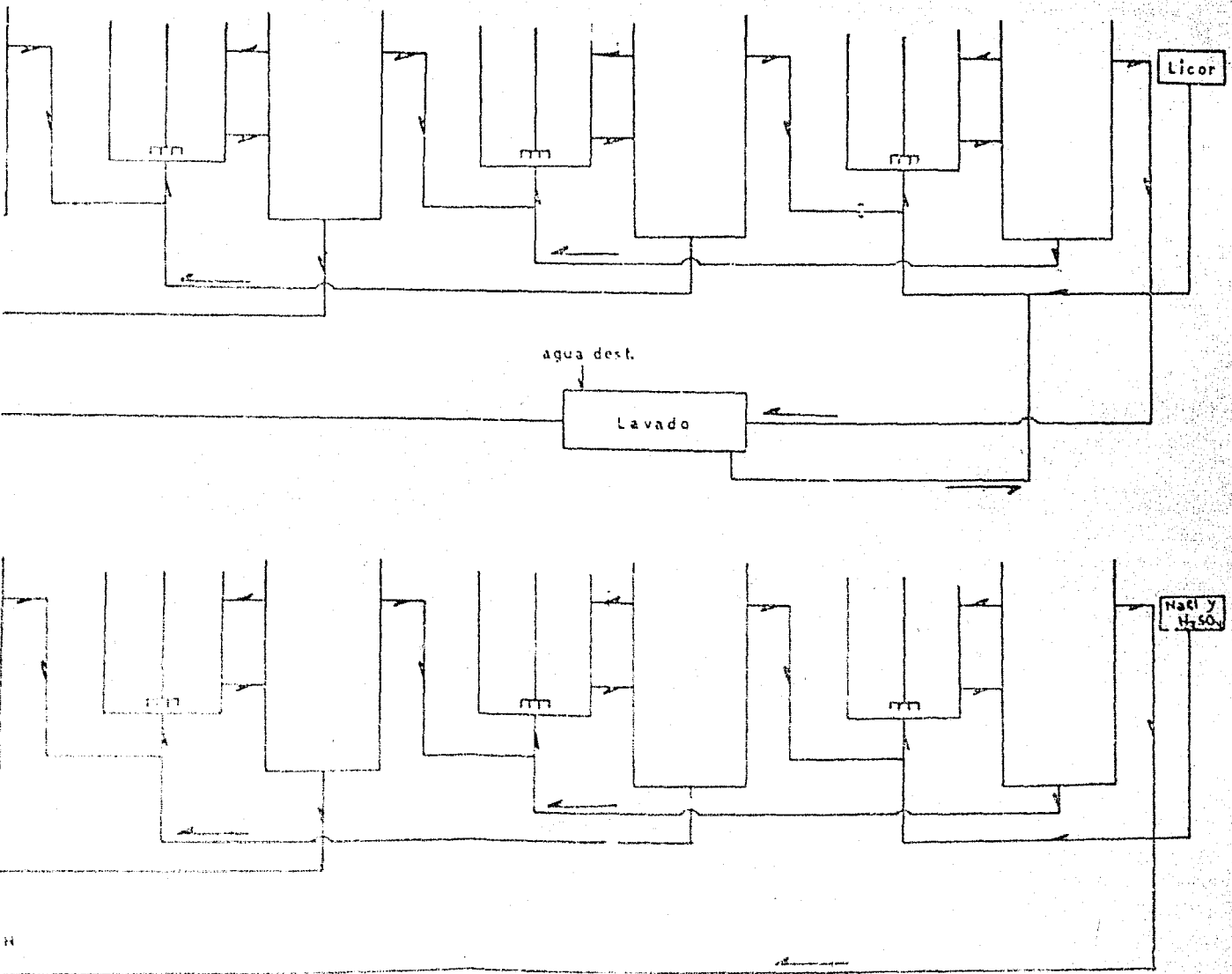


FIGURA No 2 DIAGRAMA DE FLUJO PARA EXTRACCION



Nº 2 DIAGRAMA DE FLUJO PARA EXTRACCION Y REEXTRACCION

NATURALEZA		EXTRACCION	REEXTRACCION
Tiempo de retención	mezclador hr. min.	2—13	1—30
	asentador	4—0	6—0
Volumen			
	mezclador ml.	350	350
	asentador ml.	400	400
Duración.			
	hr. min.	10—0	1—30

Observando la Isoterma de distribución para este sistema, se deduce que se alimentó más de lo requerido por la amina, es decir que la alimentación de 6 que se dió fue muy elevada y que no debió pasarse de una relación de 4.2 (6.68  $\times$  0.9/1.43) para mantenerse a un 90% de la saturación de la amina, que según los valores para el orgánico cargado ésta por 6.68 g. l.

Trazando el tiempo en horas contra la concentración del acuoso agotado se obtiene una curva que asciende rápidamente sin llegar al equilibrio. Puede esperarse por un balance de Uranio que el acuoso agotado llegue a no menos de 316 p.p.m.

La prueba B consistió en reextraer el orgánico de la prueba A. Se tomaron muestras del orgánico agotado cada media hora pues su duración fue de hora y media. No hubo formación de emulsiones. El acuoso cargado mostraba tan sólo trazas de cobre, hierro y vanadio.

orgánico agotado 1/2 hora = 79 p.p.m. de Uranio

orgánico agotado 1 hora = 50 p.p.m. de Uranio

orgánico agotado 1 1/2 hora = 56 p.p.m. de Uranio

Tomando el valor promedio de Uranio en el orgánico agotado, el rendimiento de la reextracción fue de 98.2 % (6.68 — 0.064  $\times$  100/6.68). Sin embargo el Uranio contenido en el orgánico es muy poco y no se pierde pues constituye una carga circulante que vuelve al sistema de extracción.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES

El equipo usado en este estudio, trabajó efizcamente debido al control de velocidad en los agitadores de las unidades mezcladoras; pues no se formaron emulsiones. el sistema bombeante no fue insuficiente en ningún momento y las eficiencias de extracción y reextracción estuvieron dentro del rango de 99 — 100%.

Por lo tanto es recomendable para extracciones de Uranio por medio de solventes con equipo tipo mezclador asentador fijar: el tiempo de retención del mezclador, su relación de orgánico a acuoso, relación de alimentación, hacer el cálculo de caudales y conocer la velocidad de los agitadores para determinada succión y caudal conocidos.

De esta manera se tendrá una mayor eficiencia y un bajo costo en el proceso.

## ARTICULO VI

### BIBLIOGRAFIA

- 1.—ROBERT E. TREYBAL.—Liquid Extraction First Edition. Mc Graw Hill Book Company Inc. 1951.
- 2.—JOSEPH J. KATZ AND EUGENE RABINOWITCH.—The Chemistry of Uranium. Dover Publications Inc. 1951.
- 3.—CHARLES D. HARRINGTON AND ARCHIE E. RUEHLE.—Uranium Production Technology. D. Van Nostrand Company Inc. 1959.
- 4.—JOHN W. CLEGG AND DENNIS D. FOLEY. Uranium ore processing. Addison-Wesley Publishing Company Inc. 1958.
- 5.—GEORGE GRANGER BROWN. Unit Operations. John Wiley and sons. Inc. 1950.
- 6.—O. T. ZIMMERMAN PH. D. AND IRVIN LAVINE PH. D. Chemical Engineering Laboratory Equipment. Industria Research Service. 1948.
- 7.—JOHN R. PERRY PH. D.—Chemical Engineers' Handbook. Third Edition Mc Graw-Hill Book Company Inc. 1950.
- 8.—B. V. COPLAN AND J. K. DAVISON. Design and Operation of a Simple Stage "Pump-Mix" Mixer Settler Unit. Chemical Engineering Laboratory Report No. 4 Knolls Atomic Power Laboratory Schenectady, New York. 1948.
- 9.—J. K. DAVISON. Theory of the Pump-Mix Mixer Settler Chemical Engineering Laboratory Report No. 5 Knolls Atomic Power Laboratory. Schenectady, New York. 1949.
- 10.—A. D. BAYON, F. L. DALEY AND R. S. LOWRIE. Design and making of mixersettlers for the Amex solvent extraction process Oak Ridge National Laboratory. U. S. Atomic Energy Commission. 1950.