

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA



**INTERCAMBIO IÓNICO CON RESINAS PARA RECUPERACIÓN DE  
URANIO**

**INFORME DE SUFICIENCIA  
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
METALURGISTA**

PRESENTADO POR:  
JOSE ANTONIO MALLQUI ROMAYNA

**LIMA – PERU**

**2011**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo es dedicado a mi madre Ena y esposa Hilda, por la paciencia y el apoyo brindado siempre.

## RESUMEN

Hemos estudiado el uso de resinas de intercambio iónico para la recuperación de Uranio desde las soluciones producidas en la lixiviación ácida del mineral de Uranio. Se ha evaluado dos resinas llamadas M-500 y M-800 bajo diferentes condiciones, siendo estas: variación de la velocidad de flujo pasante en el carguío a través de la resina, variación de los reactivos químicos eluentes (ácido sulfúrico, ácido nítrico y cloruro de sodio) a diferentes concentraciones y variación del pH de las soluciones ácidas. En todas las pruebas hemos realizado CARGUIO y ELUCION. De toda esta evaluación hemos obtenido los siguientes hallazgos: las mejores valores (% U adsorbido) se obtienen cuando el flujo pasante por el lecho de resina es menor (10 BV). Respecto al comportamiento reactivo eluente de las resinas podemos indicar que las mejores performance en la elución podría ser el siguiente orden  $\text{H}_2\text{SO}_4 \gg \text{HNO}_3 \gg \text{NaCl}$ .

En las soluciones ácidas el Uranio está presente en forma de complejo aniónico tetravalente  $[\text{UO}_2 (\text{SO}_4)_3]^{-4}$  que es cargado fuertemente en las resinas de tipo aniónico. Una de las técnicas de recuperación de Uranio consiste en hacer pasar soluciones a través de resinas de intercambio iónico. Debemos indicar que existe un parámetro que debería ser evaluado en el futuro y es el conocimiento para mantener o descartar prematuramente las resinas de intercambio iónico, o seguir usando las resinas que pueden haber cumplido su vida útil, y /o muchas veces se deben usar las resinas superficialmente adecuadas.

Los procesos de intercambio iónico tiene un amplio campo de aplicación, pudiéndose mencionar los principales;

- Recuperación de Uranio desde las soluciones que lo contienen

- Tratamiento de aguas (captura de los iones metálicos contenidos)
- Recuperación de metales de soluciones
- Desalinización de aguas salobres
- Eliminación de acidez de efluentes minero-metalúrgicos

Se define como BV (Bed Volume) a la unidad de flujo pasante a través de la resina. Así tenemos que 10 BV serán 510 ml/hora (510 ml pasan a través de la resina en una hora); esto implica que debemos de controlar un flujo de  $17 \text{ cm}^3/2 \text{ minutos}$ . Resumiendo la unidad de flujo pasante  $1 \text{ BV} = 51 \text{ ml}$ .

## INDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	12
CAPITULO I: ASPECTOS TEORICOS.....	16
1.1 Principios del Intercambio Iónico.....	16
1.1.1 Principios de operación	
1.1.2 Principios de selectividad	
1.1.3 El principio de equilibrio y acción de masas	
1.1.4 Regeneración del Intercambio iónico	
1.1.5 Resinas de adsorción	
1.1.6 Consideraciones en los equipos que se usan	
1.1.7 Precipitación del Yellow Cake	
1.2 Principios de la disolución, carguío y regeneración de la resina.....	27
CAPITULO II: PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	30
2.1 Muestras.....	30
2.2 Procedimiento experimental.....	31
2.2.1 Carguío del 1er. PASO	
2.2.2 Elución	

2.2.3 Precipitación

2.2.4 Carguío 2do. PASO

2.2.5 Precipitación

CAPITULO III: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES.....37

3.1 Resinas de intercambio iónico M-500.....37

3.1.1 Pruebas utilizando ácido sulfúrico en la elución

3.1.2 Pruebas utilizando ácido nítrico en la elución

3.1.3 Pruebas utilizando cloruro de sodio en la elución

3.2 Resinas de intercambio iónico M-800.....59

3.2.1 Pruebas utilizando ácido sulfúrico en la elución

3.2.2 Pruebas utilizando ácido nítrico en la elución

3.2.3 Pruebas utilizando cloruro de sodio en la elución

CAPITULO IV: CONCLUSIONES.....81

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

## LISTA DE TABLAS

Tabla No. 2.1. Resultados de los Análisis químicos de la muestra de cabeza de las pruebas

Tabla No. 3.1. Programa de pruebas – Carguío y Elución con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a 4, 3 y 2M

Tabla No. 3.2. Variando el flujo pasante y eluido con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a 4M

Tabla No. 3.3. Variando el flujo pasante y eluido con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a 3M

Tabla No. 3.4. Variando el flujo pasante y eluido con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a 2M

Tabla No. 3.5. Los mejores resultados de las pruebas, elución con  $\text{H}_2\text{SO}_4$

Tabla No. 3.6. Programa de pruebas con parámetros optimizados –  $\text{H}_2\text{SO}_4$

Tabla No. 3.7. Carguío de la resina a flujo 10BV y elución con  $\text{H}_2\text{SO}_4$

Tabla No. 3.8. Elución a flujo 10 BV y  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a 4M (Pruebas optimizadas)

Tabla No. 3.9. Programa de pruebas – Carguío y Elución c/ $\text{HNO}_3$  a 0.5 y 0.75 M

Tabla No. 3.10. Variando el flujo pasante y eluido con  $\text{HNO}_3$  a 0.75M

Tabla No. 3.11. Variando el flujo pasante y eluido con  $\text{HNO}_3$  a 0.5M

Tabla No. 3.12. Los mejores resultados de las pruebas, elución con  $\text{HNO}_3$

Tabla No. 3.13. Programa de pruebas con parámetros optimizados –  $\text{HNO}_3$

Tabla No. 3.14. Carguío de la resina a flujo 10BV y elución con  $\text{HNO}_3$  a 0.5M

Tabla No. 3.15. Elución a flujo 10 BV y  $\text{HNO}_3$  a 0.5M (Pruebas optimizadas)

Tabla No. 3.16. Programa de pruebas – Carguío y Elución c/  $\text{NaCl}$  a 2M

Tabla No. 3.17. Variando el flujo pasante y eluido con  $\text{NaCl}$  a 2M

Tabla No. 3.18. Variando el flujo pasante y eluido con  $\text{NaCl}$  a 2M

Tabla No. 3.19. Programa de pruebas con parámetros optimizados –  $\text{NaCl}$

Tabla No. 3.20. Carguío de resina a flujo 30 BV y  $\text{NaCl}$  2M

Tabla No. 3.21. Elución a flujo 30 BV y  $\text{NaCl}$  a 2M (Pruebas optimizadas)

Tabla No. 3.22. Programa de pruebas – Carguío y Elución con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a 4, 3 y 2M

Tabla No. 3.23. Variando el flujo pasante y eluido con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a 4M

Tabla No. 3.24. Variando el flujo pasante y eluido con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a 3M

Tabla No. 3.25. Variando el flujo pasante y eluido con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a 2M

Tabla No. 3.26. Los mejores resultados de las pruebas, elución con  $\text{H}_2\text{SO}_4$

Tabla No. 3.27. Programa de pruebas con parámetros optimizados –  $\text{H}_2\text{SO}_4$

Tabla No. 3.28. Carguío de la resina a flujo 10BV y elución con  $\text{H}_2\text{SO}_4$

Tabla No. 3.29. Elución a flujo 10 BV y  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a 4M (Pruebas optimizadas)

Tabla No. 3.30. Programa de pruebas – Carguío y Elución c/ $\text{HNO}_3$  a 0.5 y 0.75 M

Tabla No. 3.31. Variando el flujo pasante y eluido con  $\text{HNO}_3$  a 0.75M

Tabla No. 3.32. Variando el flujo pasante y eluido con  $\text{HNO}_3$  a 0.5M

Tabla No. 3.33. Los mejores resultados de las pruebas, elución con  $\text{HNO}_3$

Tabla No. 3.34. Programa de pruebas con parámetros optimizados –  $\text{HNO}_3$

Tabla No. 3.35. Carguío de la resina a flujo 10BV y elución con  $\text{HNO}_3$  a 0.5M

Tabla No. 3.36. Elución a flujo 10 BV y  $\text{HNO}_3$  a 0.5M (Pruebas optimizadas)

Tabla No. 3.37. Programa de pruebas – Carguío y Elución c/  $\text{NaCl}$  a 2M

Tabla No. 3.38. Variando el flujo pasante y eluido con  $\text{NaCl}$  a 2M

Tabla No. 3.39. Variando el flujo pasante y eluido con  $\text{NaCl}$  a 2M

Tabla No. 3.40. Programa de pruebas con parámetros optimizados –  $\text{NaCl}$

Tabla No. 3.41. Carguío de resina a flujo 30 BV y  $\text{NaCl}$  2M

Tabla No. 3.42. Elución a flujo 30 BV y  $\text{NaCl}$  a 2M (Pruebas optimizadas)

## LISTA DE FIGURAS

- Figura No. 1.1. Poros de resinas de intercambio iónico contienen poros finos que están llenos de agua. El agua contenida en algunos tipos de resinas está encima del 70%.
- Figura No. 1.2. Un ion fijo y móvil está cambiando lugares en una llamada reacción de intercambio iónico. Este simple esquema de la reacción es la base para más de 500 aplicaciones involucradas en diversos medios fluidos y purificación de aguas
- Figura No. 1.3. Mecanismo de enlace del catión Cobre al grupo funcional de una resina imino-di-aceticacid (IDA-resin). Un llamado “enlace complejo coordinado” de alta estabilidad es formado. La interacción electrostática entre el grupo funcional y el catión es soportado por la interacción del par electrón libre del grupo amina.
- Figura No. 1.4. Series de selectividad de resinas IDA (acido imino-di-acetic). Solamente una selección de iones (principalmente iones divalentes) fue dada. Los iones metálicos pesados son más fácilmente enlazados.
- Figura No. 1.5. Uniones de iones con grupos funcionales involucran competición continua. Cual tipo de iones son absorbidos y que tiempo ellos permanecen fijos, ello se rige por las fuerzas de enlace (selectividad) y la razón de la concentración. Cuanto mayor sea la concentración de una especie iónica mayor es el efecto – el cual es llamado la regla de acción masa.
- Figura No. 1.6. Constituyentes básicos para la construcción de una columna de intercambio iónico
- Figura No. 1.7. Química de disolución de Uranio
- Figura No. 1.8. Química de carguío de la Resina
- Figura No. 1.9. Química de la regeneración de la resina
- Figura No. 2.1. Ensamble de buretas con resinas para el 1er paso y 2do paso
- Figura No. 2.2. Esquema del intercambio iónico del paso de soluciones a través de la resina
- Figura N° 3.1 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 1 er PASO-4M
- Figura N° 3.2 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 2do PASO-4M
- Figura N° 3.3 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 1er PASO-3M

Figura N° 3.4 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 2do PASO-3M

Figura N° 3.5 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 1er PASO-2M

Figura N° 3.6 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 2do PASO-2M

Figura N° 3.7 Uranio en g/L luego de la elución de los 1er PASO- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Figura N° 3.8 Uranio en g/L luego de la elución de los 2do PASO- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Figura N° 3.9 Carguío en la resina M-500 a condiciones optimizadas-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Figura N° 3.10 Elución de la resina M-500 cargada a condiciones optimizadas- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Figura N° 3.11 Porcentaje de U impregnado en la resina para 1er PASO- 0.75M

Figura N° 3.12 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 2do PASO- 0.75M

Figura N° 3.13 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 1 er PASO- 0.5M

Figura N° 3.14 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 2 do PASO-0.5M

Figura N° 3.15 Uranio en g/L luego de la elución de los 1er PASO- HNO<sub>3</sub>

Figura N° 3.16 Uranio en g/L luego de la elución de los 2do PASO- HNO<sub>3</sub>

Figura N° 3.17 Carguío en la resina M-500 a condiciones optimizadas- HNO<sub>3</sub>

Figura N° 3.18 Elución en la resina M-500 a condiciones optimizadas-HNO<sub>3</sub>

Figura N° 3.19 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 1 er PASO-NaCl 2M

Figura N° 3.20 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 2 do PASO-NaCl 2M

Figura N° 3.21 Uranio en g/L luego de la elución de los 1er PASO-NaCl

Figura N° 3.22 Uranio en g/L luego de la elución de los 2 do PASO- NaCl

Figura N° 3.23 Carguío en la resina M-500 a condiciones optimizadas-NaCl

Figura N° 3.24 Elución en la resina M-500 a condiciones optimizadas-NaCl

Figura N° 3.25 Porcentaje de U impregnado en la resina para el 1 er PASO - 4M

Figura N° 3.26 Porcentaje de U impregnado en la resina para el 2do PASO-4M

Figura N° 3.27 Porcentaje de U impregnado en la resina para el 1 er PASO- 3M

Figura N° 3.28 Porcentaje de U impregnado en la resina para el 2do PASO -3M

Figura N° 3.29 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 1er PASO-2M

Figura N° 3.30 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 2do PASO-2M

Figura N° 3.31 Uranio en g/L luego de la elución de los 1er PASO - H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Figura N° 3.32 Uranio en g/L luego de la elución de los 2 do PASO-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Figura N° 3.33 Carguío en la resina M-500 a condiciones optimizadas-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Figura N° 3.34 Elución en la resina M-800 a condiciones optimizadas-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Figura N° 3.35 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 1 er PASO-HNO<sub>3</sub>

Figura N° 3.36 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 2 do PASO-HNO<sub>3</sub>

Figura N° 3.37 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 1 er PASO-HNO<sub>3</sub>

Figura N° 3.38 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 2 do PASO-HNO<sub>3</sub>

Figura N° 3.39 Uranio en g/L luego de la elución de los 1 er PASO- 0.5M

Figura N° 3.40 Uranio en g/L luego de la elución de los 2 do PASO-0.5M

Figura N° 3.41 Carguío en la resina M-800 a condiciones optimizadas-HNO<sub>3</sub>

Figura N° 3.42 Elución en la resina M-800 a condiciones optimizadas-HNO<sub>3</sub>

Figura N° 3.43 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 1 er PASO-NaCl

Figura N° 3.44 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 2 do PASO-NaCl

Figura N° 3.45 Uranio en g/L luego de la elución de los 1 er PASO-NaCl

Figura N° 3.46 Uranio en g/L luego de la elución de los 2 do PASO -NaCl

Figura N° 3.47 Carguío en la resina M-800 a condiciones optimizadas -NaCl

Figura N° 3.48 Elución en la resina M-800 a condiciones optimizadas-NaCl

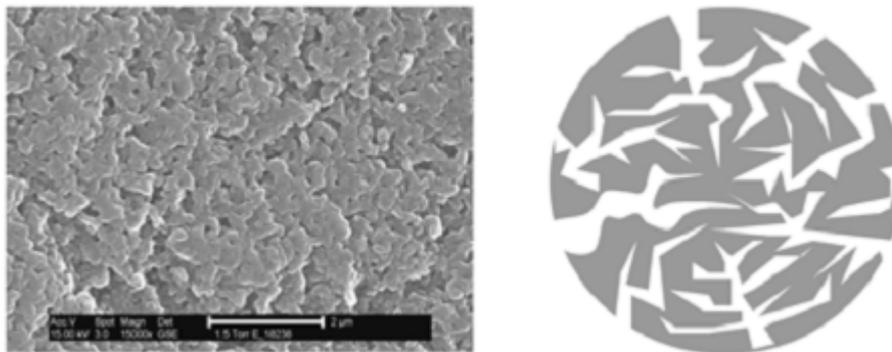
## **CAPITULO I**

### **ASPECTOS TEORICOS**

#### **1.1 Principios del intercambio iónico**

##### **1.1.1 Principios de operación.**

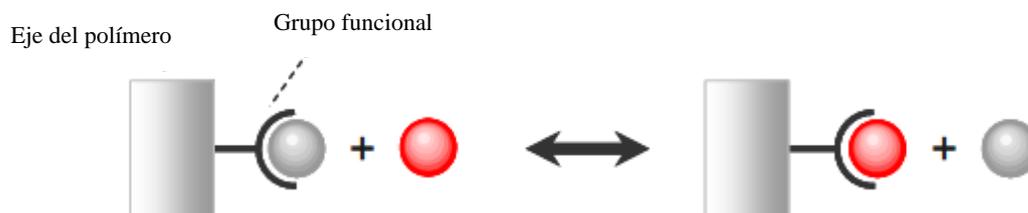
Las resinas de intercambio ionico prducidas industrialmente, consisten de pequeños granos porosos que son insolubles en agua y en solventes organicos. Los mas ampliamente usados son de materiales base como polystyrene y polyacrylatos. El diametro de estos poros esta en el rango de 0.3 a 1.3 mm. Los poros contienen alrededor del 50% de agua, el cual esta disperso en compartimientos gel estructurados del material. El agua está dispersa homogéneamente a través del poro, los materiales solubles en agua pueden moverse libremente dentro y fuera de la resina.



**Figura No. 1.1** Poros de resinas de intercambio iónico contienen poros finos que están llenos de agua. El agua contenidos en algunos tipos de resina están encima de 70%.

Para cada unidad monómera (es una molécula de pequeña masa molecular que unida a otros monómeros, a veces cientos o miles, por medio de enlaces químicos, generalmente covalentes, forman macromoléculas llamadas polímeros) del polímero se le llama “grupo funcional” los que pueden interactuar con especies de agua soluble, especialmente con iones. Los iones tienen carga positiva (cationes) o negativos (aniones). Cuando los grupos funcionales están cargados, la interacción entre iones y los grupos funcionales son expuestos a fuerzas electrostáticas. Los grupos funcionales positivamente cargados (ejemplo amina cuaternaria) interactúa con aniones de un grupo funcional negativamente cargado (ejemplo grupo ácido carboxílico, fosfórico y sulfúrico) interactuando con cationes.

Las fuerzas de enlace entre los grupos funcionales y los iones anexados están relativamente suelto. EL intercambio puede ser reversible por otro ion que pasa a través del grupo funcional. Entonces otra reacción de intercambio puede tomar lugar y así sucesivamente. Una reacción de intercambio puede seguir a otra.



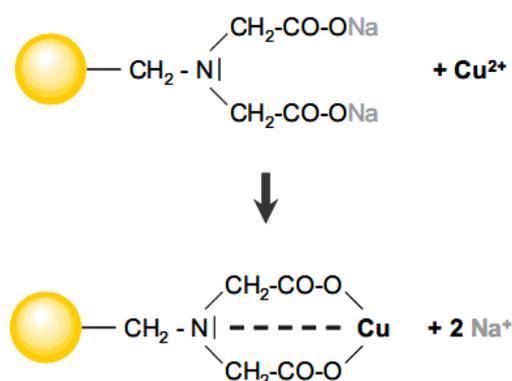
**Figura No. 1.2** Un ion fijo y móvil está cambiando lugares en una llamada reacción de intercambio iónico. Este simple esquema de la reacción es la base para más de 500 aplicaciones involucradas en diversos medios fluidos y purificación de aguas

### 1.1.2 El principio de selectividad

Hay una variedad enorme de iones existentes, tenemos que buscar sobre diferentes tipos de cationes. Nosotros podemos percibir diferentes tipos de cationes alcalis (sodio, potasio etc.), de tierras raras, álcali cationes (magnesio, calcio, estroncio, bario, lantano e iridio,...), iones de metales pesados (aluminio, berilio, titanio,...) cationes semi-metales (germanio, galio e indio,...) cationes de metales nobles (oro plata platino y paladio,...). Por investigaciones de la adsorción en diferentes tipos de catión sobre materiales de intercambio iónico, se ha encontrado que diferentes iones actúan diferentemente con los grupos funcionales de iones intercambiadores, algunos son fuertemente limitantes, otros son ligeramente limitantes.

Este resultado en efecto, que un ion débil pueda preferir ser desplazado por un ion fuerte. Este efecto es llamado el principio de “selectividad”. Un ion más selectivo enlaza más fuertemente que un ion menos selectivo.

El efecto de la selectividad puede ser usado para remover distintos iones desde los fluidos y reemplazar estos por otros. Aplicaciones se encuentra no solamente en industrias, también en el hogar, donde el uso de intercambiadores iónicos para agua blanda es conocido.



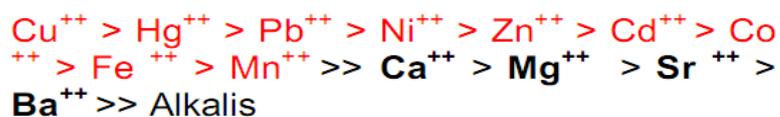
**Figura No. 1.3** Mecanismo de enlace del catión Cobre al grupo funcional de una resinaimino-di-aceticacid (IDA-resin). Un llamado “enlace complejo coordinado” de alta estabilidad es formado. La interacción electrostática entre el grupo funcional y el catión es soportado por la interacción del par electrón libre del grupo amina.

Especialmente para aplicaciones de aguas residuales, las llamadas resinas queladas han sido desarrolladas y tienen alta selectividad por iones metálicos tóxicos. Estos materiales selectivamente adsorben los componentes tóxicos desde el fluido residual dejando menos contenidos tóxicos, tales como tierras álcalis y metales álcalis intocables.

La alta afinidad de las resinas queladas hacia los iones metálicos pesados es acomplejada vía la formación de un llamado “unión – complejo”. En este especial tipo de unión, el grupo funcional y el ion no solamente actúan vía fuerzas

electrostáticas, adicionalmente hay un llamado “unión coordinada” el cual ayuda y fortalece la interacción, por lo que es más estricto que un enlace normal. En la Figura 1.3 existe un ejemplo de este tipo. El cambio de iones sodio por iones cobre es mostrado. El cobre es ligado vía dos tipos de enlaces electrostáticos y por la interacción del único par electrón del átomo de nitrógeno del grupo funcional.

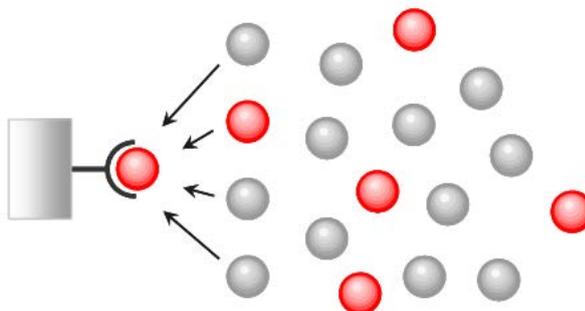
La selectividad de las resinas de intercambio iónico es expresada vía las así llamadas series de selectividad. La Figura 1.4 muestra las series de selectividad para una resina IDA. Como puede ser visto, los iones metálicos pesados se unen más que los iones alcalinotérreos y estos se unen más fuertemente que los metales alcalinos.



**Figura No. 1.4** Series de selectividad de resinas IDA (ácido imino-di-acético). Solamente una selección de iones (principalmente iones divalentes) fue dada. Los iones metálicos pesados son más fácilmente enlazados.

### 1.1.3 El principio de equilibrio y acción de masas

Los iones más selectivos desplazan a los menos selectivos como mencionamos previamente. El intercambio continúa siempre y cuando haya iones selectivos disponibles para el intercambio con la resina y/o hasta que los grupos funcionales sean saturados con los iones selectivos.



**Figura No. 1.5:** Uniones de iones con grupos funcionales involucran competición continua. Cual tipo de iones son absorbidos y que tiempo ellos permanecen fijos, ello se rige por las fuerzas de enlace (selectividad) y la razón de la concentración. Cuanto mayor sea la concentración de una especie iónica mayor es el efecto – el cual es llamado la regla de acción masa.

En algunos casos esto significa que todos los grupos funcionales han perdido iones menos selectivos y han tomado iones selectivos. Ello puede también significar que el intercambio alcanza un cierto nivel de carguío con un cierto radio de grupos funcionales que permanecen no intercambiados y aun transporta iones menos selectivos. Este efecto es llamado el “efecto de equilibrio” o en otras palabras el efecto de la acción masa.

Si la taza de concentraciones de iones menos selectivos a más selectivos es baja puede esperarse que las capacidades de las resinas operando sean altas. Si la taza de concentraciones es alta menores capacidades de las resinas de operación serán alcanzadas. Asimismo la eficiencia de procesos de tratamiento de aguas residuales siempre depende de la composición del fluido el cual es individual como ya fue mencionado anteriormente.

#### **1.1.4 Regeneración del intercambio iónico**

El principio de desplazamiento de iones enlazados selectivamente por iones enlazados con menos selectividad es la base para cada procedimiento de regeneración. La mayoría de intercambiadores iónicos pueden ser regenerados por ácidos (excesos de iones  $H^+$ ), salmueras (excesos de iones sodio y cloruros) o por álcalis (exceso de iones  $OH^-$ ). Durante la regeneración, los iones adsorbidos son removidos y reemplazados por los iones citados arriba.

La solución eluida contiene contaminantes adsorbidos anteriormente en forma concentrada. En algunos casos la solución puede ser re-usada en los procesos de producción donde el agua residual fue generada.

Para una efectiva regeneración, se debe cumplir que el más fuerte ion enlazado sobre el intercambiador iónico debe ser eluido con la mejor solución regenerante que podría ser aplicada. Asimismo una resina con alta selectividad puede tener ventajas con respecto a la eficiencia de remoción desde las aguas residuales, pero la eficiencia de regeneración podría ser también tomada en cuenta para juzgar a todos los demás variables del proceso.

#### **1.1.5 Resinas de adsorción**

Junto a las resinas de intercambio iónico se encuentra un cercano grupo de productos llamadas resinas de adsorción. A simple vista ellos parecen similares, pequeños poros de un material poroso. La notable diferencia es la falta de grupos funcionales.

A pesar de que las resinas de adsorción no tienen grupos funcionales, ellas tienen el potencial para remover ingredientes desde el agua. Típicamente materiales orgánicos con bajas solubilidades en agua pueden ser adsorbidos. Estas son llamadas sustancias hidrofóbicas tienden a acercarse a la superficies lipofílicas. Las resinas de adsorción proveen de una enorme superficie de lipofílicas dentro de los poros, resultando en una alta capacidad por moléculas hidrofóbicas.

Las resinas de adsorción adsorben en forma similar al mecanismo del carbón activado. Estas resinas pueden considerarse como un carbón activado totalmente sintético. La apropiada vía para regenerar estos materiales depende fuertemente de sus propiedades físicas. Ellos son caracterizados por la presión de vapor (volatilidad) o solubilidad en solventes orgánicos, bases o ácidos.

Substancias volátiles pueden ser extraídas por vapor, mientras las sustancias no volátiles pueden ser removidas por medios líquidos en el cual estas sustancias son solubles. En contraste al carbón activado, las resinas de adsorción pueden ser regeneradas más de 1000 ciclos sin reactivación térmica. Estos materiales poseen una mucha mayor estabilidad mecánica que el carbón activado. Estas resinas no forman polvos ni finos por abrasión que taponé las telas de los filtros y contamine la solución eluida.

#### **1.1.6 Consideraciones de los equipos**

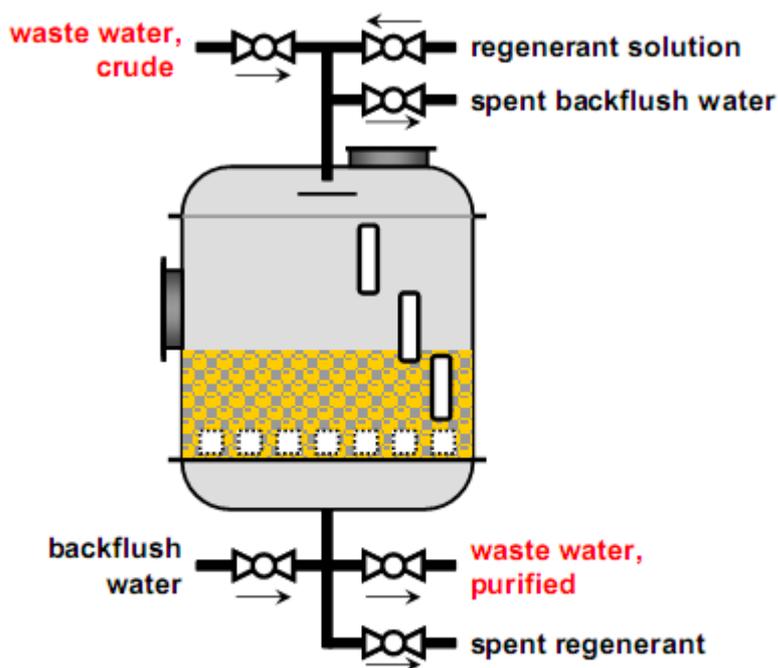
Los intercambiadores iónicos son típicamente aplicados en recipientes a presión. Ellos son equipados mediante tuberías internas apropiadas que tienen dos propósitos:

primero previene que las resinas de intercambio iónico sean lavadas fuera del recipiente y segundo que ello provee una distribución apropiada del flujo del líquido a través del lecho del intercambio iónico.

Usualmente los recipientes a presión son llenados a la mitad del volumen. El espacio vacío encima del lecho del intercambiador iónico es llamado “freeboard”. Este espacio interno tiene diferentes funciones: Primero es permitir que el lecho del intercambiador iónico “respire”. Esto es necesario porque los lechos de los intercambiadores frecuentemente se reducen o aumentan durante las operaciones de carguío y elución. El volumen específico de la resina puede llegar a un 70% por encima de su volumen original. Segundo el Freeboard es usado para retro lavado del lecho del intercambiador iónico. El agua del retro lavado fluye a través de la cama de la resina en flujo ascendente y fluidiza el lecho. Dependiendo sobre la velocidad lineal el lecho se expande por cierto radio y los granos dejan sus posiciones fijas y deambulan. El retro lavado afloja el lecho, rompe los grumos, y destruye largas cadenas que han sido establecidas. Al mismo tiempo partículas suspendidas atrapadas o granos rotos son removidos. Cuando el retro lavado es finalizado el lecho fijo cae en un paquete homogenizado que permite un flujo uniforme para los pasos siguientes.

Todo recipiente a presión que contiene resinas de intercambio iónico pueden ser llenado con un transporte hidráulico, por la misma vía el recipiente a presión puede ser vaciado para el lavado de los granos. Es muy útil proveer de visores en las paredes de los recipientes a presión para permitir observar la condición de la cama

del filtro durante la operación. Especialmente los grandes filtros podrían ser equipados con ventanas. Las ventanas podrían ser montadas de una manera que la ventana inferior tenga la mayor parte del lecho filtrante, la ventana media tenga la superficie y la ventana superior tenga el freeboard. Lo más práctico para conectar el recipiente a presión a las tuberías es solo tener una conexión a en el tope y una conexión en el fondo con diferentes conexiones realizadas con conectores en T. La figura 1.6: da un ejemplo para la construcción de una columna de intercambio iónico con básicos constituyentes.



**Figura No. 1.6** Constituyentes básicos para la construcción de una columna de intercambio iónico

En instalaciones técnicas las columnas de intercambio iónico son unidades independientes. Usualmente ellos son instalados en serie como unidades gemelas o

trillizas. Teniendo más de una unidad de filtro on-line y la otra en el ciclo de regeneración.

### 1.1.7 Precipitación del Yellow Cake

El uranio “Torta amarilla o Yellow Cake” es precipitado desde la solución obtenida desde la elución, conocido como “eluate”. Ténganse en cuenta que el término no se refiere a un solo compuesto debido a que el concentrado precipitado y la composición varían. Si bien este precipitado pueda ser referido como  $U_3O_8$  siendo esto no estrictamente correcto. En el proceso ácido, la torta amarilla es precipitado por hidróxido de sodio y/o peróxido de hidrogeno.

La precipitación empieza con la neutralización con cal a pH entre 3.0 a 4.0 para remover los excesos de sulfato, e impurezas tales como hierro y torio. Ello es importante optimizar este proceso, de lo contrario el precipitado contendrá altos niveles de sulfato.



El precipitado es una mezcla de diuranatos, y óxidos. La composición del Yellow cake depende de la temperatura, velocidad y el pH. A bajas temperaturas, el precipitado puede ser de difícil transferencia y filtrado, mientras que a altas temperaturas puede haber la incorporación de sulfatos. Manteniendo la temperaturas a menos de 40 °C, y a pH entre 5.5-7.5 la precipitación tomara lugar. El correcto pH

podrá ser optimizado, tal que el Yellow cake es fácilmente filtrado y contiene bajas impurezas.

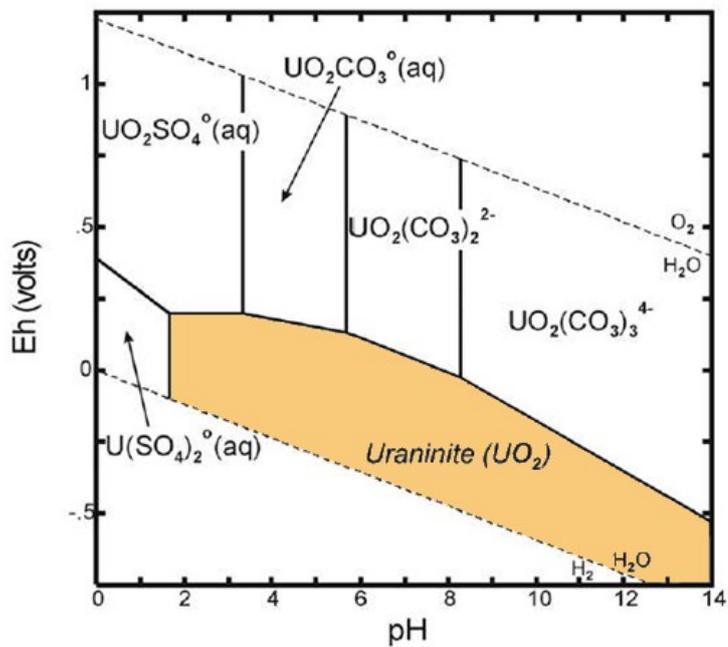
El peróxido de Hidrogeno en la precipitación por la formación del peróxido de uranio



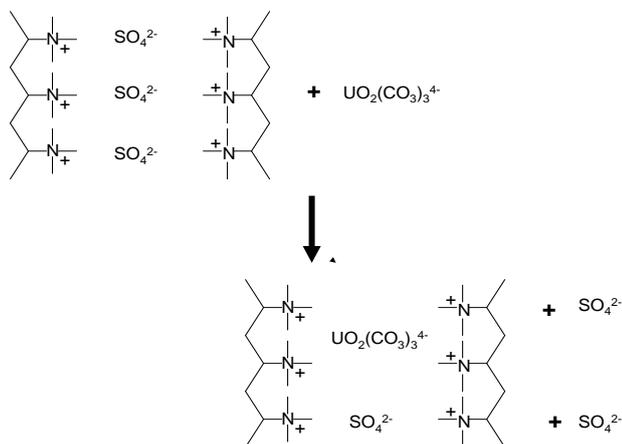
La cantidad de peróxido podría ser optimizado. La Optimización de estos pasos requiere grandes cantidades de Eluate, y el mejor escalado a una etapa de planta piloto.

## **1.2 Principios de la disolución de Uranio, carguío y Regeneración de la resina**

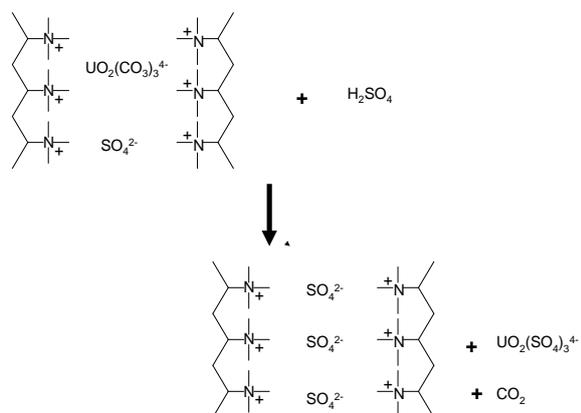
El uranio se presenta en dos estados de valencia U(IV) y U(VI). El uranio hexavalente es el estado más oxidado y la forma más soluble del elemento; la especie soluble es el  $\text{UO}_2^{+2}$ . En los minerales de uranio, el elemento se presenta bajo la forma de una mezcla de U(IV) y U(VI) en distintas proporciones y es necesario utilizar agentes oxidantes para poder llevar todo el uranio a la especie U(VI) y disolverlo. En un medio reductor predomina el mineral uraninita  $\text{UO}_2$  que es insoluble mientras nos este expuesto a un ambiente oxidante. En la Figura 1.7 se muestran las distintas especies del Uranio según el pH y el estado de oxido-reducción (Eh) del medio.



**Figura No. 1.7** Química de disolución de Uranio



**Figura No. 1.8** Química de carguío de la Resina



**Figura No. 1.9** Química de la regeneración de la resina

## CAPITULO II

### PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

#### 2.1 Muestras

Las muestras de soluciones ácidas utilizadas en las pruebas de intercambio iónico, fueron aquellas provenientes de las pruebas metalúrgicas de lixiviación con ácido sulfúrico (realizadas al mineral de uranio tanto en botellas como en columnas) que se han ido almacenando a través del tiempo con la realización de las mismas. Se realizó un análisis químico por ICP masa 32 elementos de la muestra líquida (B4-03) en los laboratorios del CIMM PERU (se muestra análisis en Tabla N° 2.1)

Tabla N° 2.1

Código de muestra	Aluminio	Hierro	Calcio	Uranio
	Ppm	Ppm	ppm	ppm
<b>B4 -03</b>	<b>813</b>	<b>820</b>	<b>552</b>	<b>209</b>

Los resultados completos son tabulados en el Anexo No. 1,

El material de vidrio utilizado consta de dos buretas de 250 ml, un pH metro digital calibrado con 2 decimales de exactitud, probetas de vidrio de 50, 100 y 250 ml, matraces de 500, 1000ml y vaso precipitado de 2000ml, pipetas de 5,10 y 50 ml, frascos de vidrio o plástico para muestras de 50ml, vasos de 100ml. Los reactivos a ser utilizados son los siguientes: ácido sulfúrico de alta pureza 98%, carbonato de sodio 500 gramos, agua destilada o desmineralizada, hidróxido de sodio al 20% w/w, cal ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), Peróxido de Hidrogeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) al 5%, papel filtro y lana de vidrio.

## **2.2. Procedimiento experimental**

### **2.2.1 Carguío 1er. Paso**

1. Se procede a mezclar la resina con agua destilada tal que el volumen de la resina con agua sea de 50 ml. aproximadamente.
2. Se procede a colocar un trozo de lana de vidrio en el fondo de la bureta, tal que sirva como un filtro o sostén de la resina dentro de la bureta, para que la lana de vidrio permanezca fija deberá utilizarse agua a presión.
3. Se realizo el llenado de la resina (M-500) dentro de la bureta, la cual está fijada sobre la lana de vidrio en la base. Dejando un volumen de 10 ml de agua destilada sobre la resina (para evitar la adsorción de iones extraños desde el medio ambiente). El ensamble de ambas buretas se muestra en la Figura N° 2.1



**Figura N° 2.1** Ensamble de buretas con resinas para el 1er paso y 2do paso

4. Se inicio las pruebas de IX (Intercambio iónico) con muestras de solución pregnant de Ley de Uranio de 209 gr/lit con pH: 1.39.
5. Se realizo el 1er. PASO (solución rica en Uranio pasando por la resina por primera vez) y se tomaron muestras de 10BV, 20BV, 30BV, hasta 400BV. Siendo el procedimiento el siguiente: Se toma un flujo pasante de  $17\text{cm}^3/2\text{min}$  acumulando 510 ml/hora, del cual se toma una muestra de 50 ml (siendo el código de esa muestra 10BV, en las siguientes horas se tomaran las muestras 20BV, 30BV, 40BV hasta 400BV sucesivamente).
6. Una vez terminada de tomar la muestra con código 400 BV, se deja 10 ml de solución pregnant sobre la resina.

### 2.2.2 Elución

1. Se procede a tomar un pedazo de lana de vidrio de  $25\text{cm}^2$  de área y se inserta dentro de la bureta tal que se fije sobre la resina cargada en la parte superior y sirva como un lecho para evitar que el ácido sulfúrico arrastre partículas de la resina a través del flujo.
2. Luego se realizó la Elución con un litro de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a 4M, realizando 6 pasadas de 50ml y se tomaron muestras de 12.5 ml, (las muestras fueron tomadas siguiendo el procedimiento: se pasan 50 ml de ácido sulfúrico y se toman 4 muestras de 12.5 ml, y así sucesivamente hasta la 6ta. pasada del ácido a través de la resina, haciendo un total de 24 muestras o alícuotas tomadas). Los códigos de las muestras son: E1, E2, E3, E4, E5 hasta E24.
3. Se realizó el lavado con 350ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , se toman muestras de 50ml. Haciendo un total de 7 muestras con códigos E28, E32, E36, hasta E52.
4. Luego se realizó 3 lavadas más con ácido sulfúrico, estas soluciones son descartadas debido a que los contenidos de Uranio en estas soluciones eluidas siendo de valores despreciables, se procede a concluir dicho lavado con 100 ml de agua destilada.
5. Luego de concluir con el proceso de elución de la resina se procede a retirar la lana de vidrio, la cual se lava con agua destilada retirando cualquier partícula de resina adherida a la lana y se procede a devolver al lecho de resina dentro de la bureta. Dejándose con 10 ml de agua destilada sobre la

resina una vez terminada toda la prueba (1er. Paso + Elución), dejándose lista para un nuevo uso.

6. De las muestras E1, E2 hasta E24. se realizó la dilución en la relación 1:25, para análisis químico y se codifica con los códigos: E1X25, E2X25, E3X25, E3X25 hasta E24X25.

### **2.2.3 Precipitación**

1. Se tomaron las muestras de E1 a E12 transvasando a un vaso precipitado (2L)
2. Luego se añadió la lechada de cal (cuya preparación fue de 100 gr de  $\text{Ca(OH)}_2$  en 400 ml de agua destilada) de 50ml en 50 ml, hasta llegar a un pH de 3 a 4, para formar el Gypsum, llegándose a obtener un PH=3.2.
3. Luego se filtra este Gypsum en 5 recipientes para acelerar este proceso.
4. A la solución filtrada se añade 5ml de Peróxido de Hidrogeno al 5% hasta llegar a pH= 2.38.
5. Luego se añade una pequeña cantidad de NaOH al 20% en peso, llegando el pH a valores entre 6.37-6.67, formándose el complejo amarillo (Yellowcake).
6. Luego se filtra este precipitado amarillo, tomándose muestras para análisis químico.

### 2.2.4 Carguío 2do. Paso

1. En la segunda bureta se procede a colocar la lana de vidrio y la resina siguiendo el mismo procedimiento del punto 1 y 2 del carguío del 1er Paso.
2. De la solución pasante agotada del 1er Paso, tomamos una muestra de 50 ml a la que codificamos como COMPOSITE 2do Paso.
3. Luego procedemos a cargar la resina con solución tomando muestras de 10BV, 20BV, 30BV, hasta 360BV (no alcanzando 400 BV debido a que fueron tomadas alícuotas o muestras liquidas durante el 1er Paso, que redujeron el volumen inicial). El flujo se mantiene constante en  $17\text{cm}^3/2\text{min}$ .
4. La elución se realiza siguiendo el mismo procedimiento del 1er. Paso, referidos en los ítems de elución del 1st Pass (ítem 1 al ítem 6)

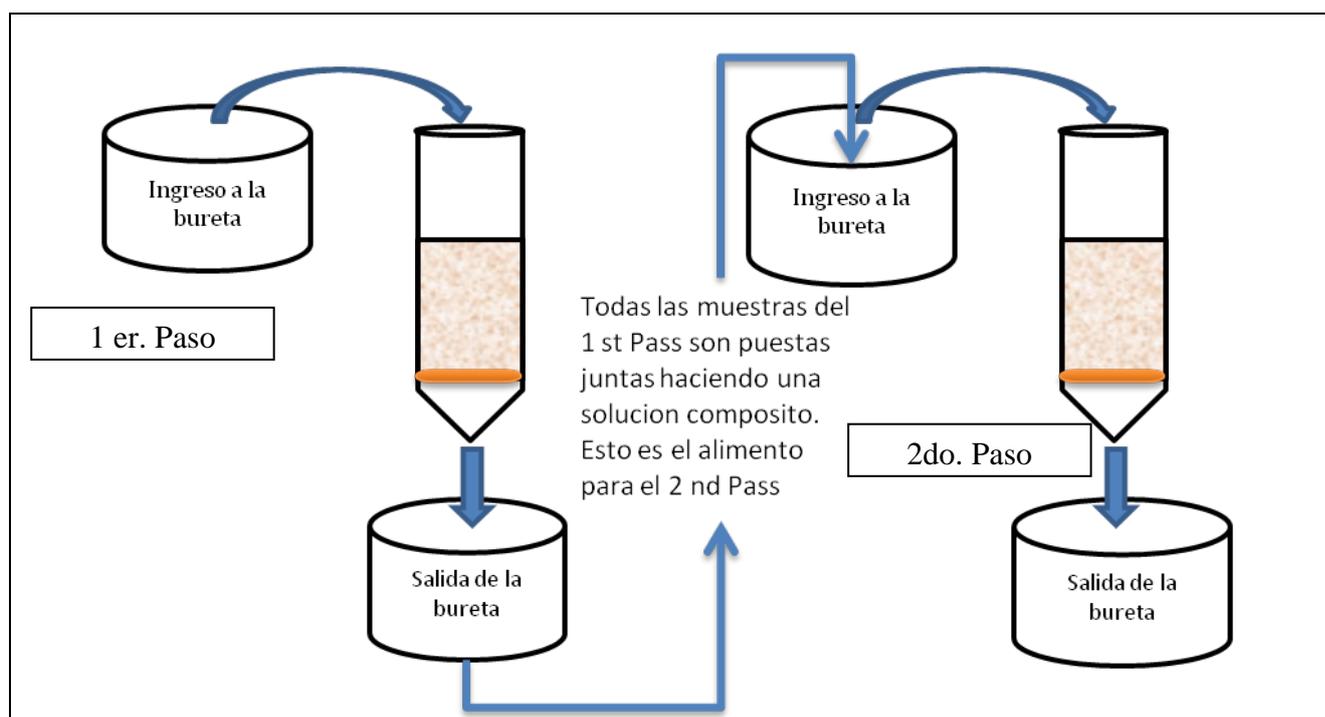


Figura N° 2.2 Esquema del intercambio Iónico del paso de soluciones a través de la resina

### 2.2.5 Precipitación

1. Se transvasaron las muestras de E1 a E24 a un vaso precipitado de 2L.
2. Luego se añadió la lechada de cal cada 50ml con agitación continua, se llegó a un PH de 3.67 para formar el Gypsum.
3. Luego se filtro el Gypsum , pH:3.45
4. A la solución filtrada y se añadió 9ml de Peróxido de Hidrogeno al 5% y se llevo a pH:3.56.
5. Luego se añadió unas 6 gotas de NaOH al 20% en peso, el PH llegó a 6.86, se formo el complejo amarillo “yellowcake”. Finalmente se filtró, quedando el líquido pasante completamente claro.
6. Se enviaron al laboratorio químico las muestras liquidas siguientes: 10BV, 50BV, 100BV, 150BV, 200BV, 250BV., 300BV, 350BV, 360BV, E1X25, E4X25, E8X25, E12X25, E16X25, E20X25, E24X25 y residuo liquido del 2do PASO

### CAPITULO III

#### RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES

#### 3.1 Resina de intercambio iónico M500

##### 3.1.1 Pruebas utilizando ácido sulfúrico en la Elución.

Las pruebas de intercambio iónico serán realizadas bajo un programa donde varían la velocidad de solución pasante a través de la resina, desde 10, 20 y 30 BV y la concentración de ácido sulfúrico en la Elución desde 2, 3 y 4M. En la tabla N° 3.1.

Tabla N° 3.1 Programa de Pruebas

TIPO DE PRUEBAS IX	N°Prueba	CONDICIONES
Variando el flujo pasante y elución con ácido a 4M.	Prueba 1	1er Paso / 2do Paso/ Elución 10 BV /4M
	Prueba 2	1er Paso / 2do Paso / Elución 20 BV /4M
	Prueba 3	1er Paso / 2do Paso / Elución 30 BV /4M
Variando el flujo pasante y elución con ácido a 3M	Prueba 4	1er Paso / 2do Paso/ Elución 10 BV /3M
	Prueba 5	1er Paso / 2do Paso / Elución 20 BV /3M
	Prueba 6	1er Paso / 2do Paso/ Elución 30 BV /3M
Variando el flujo pasante y elución con ácido a 2M	Prueba 7	1er Paso / 2do Paso / Elución 10 BV /3M
	Prueba 8	1er Paso / 2do Paso / Elución 20 BV /2M
	Prueba 9	1er Paso / 2do Paso / Elución 30 BV /2M

Tabla N° 3.2 Variando el flujo pasante y eluido con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 4M

BV	PRUEBA 1		PRUEBA 2			PRUEBA 3			
	%U IMPREGNADO EN LA RESINA								
	1er PASO	2do PASO	BV	1 er PASO	2 do PASO	BV	1er PASO	2 do PASO	
10	99.10	98.84	20	96.47	88.87	30	88.28	90.03	
50	99.98	99.90	40	95.98	86.42	60	80.75	84.49	
100	99.57	99.24	60	95.06	85.91	90	71.53	78.42	
110	99.30	99.23	80	92.84	84.13	120	56.52	68.49	
120	98.87	98.77	100	89.73	81.29	150	46.92	61.50	
130	98.00	98.08	120	83.18	79.20	180	31.75	45.12	
140	96.33	97.07	140	71.98	73.12	210	21.80	31.95	
150	92.89	95.33	160	58.79	66.48	240	15.17	19.86	
200	51.54	71.45	180	47.49	58.14	270	9.48	12.33	
250	11.89	28.26	200	33.33	49.20	300	6.16	11.64	
300	0.44	4.13	220	23.29	39.29	330	5.69	10.27	
			240	19.63	34.83	360	3.32	10.27	
			260	17.35	21.57	390	2.37	4.79	
			280	5.94	16.17	420	2.37	4.11	
			300	0.91		450	4.27		

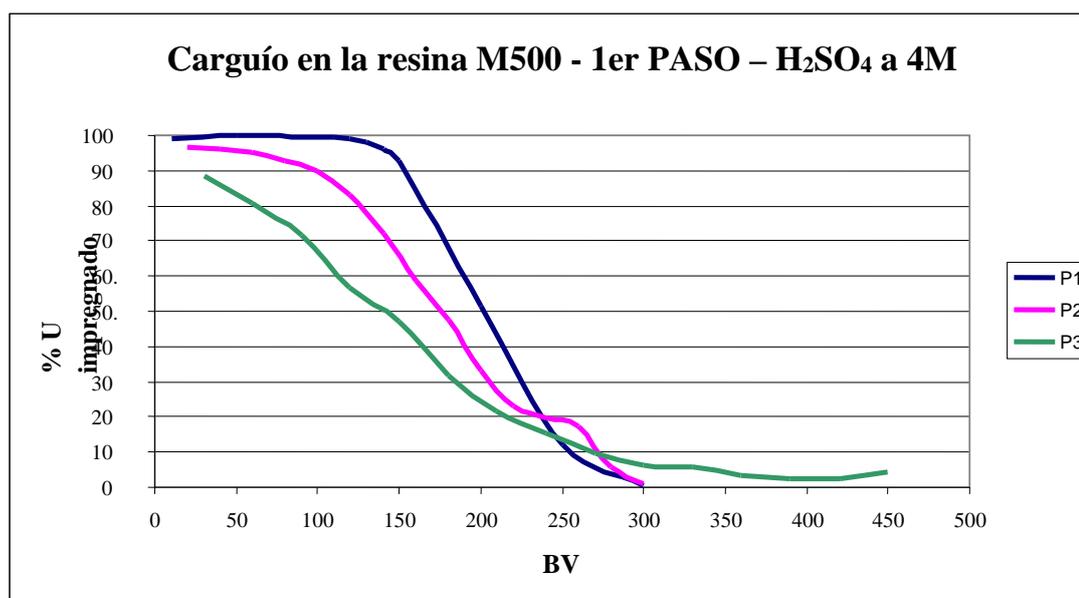


Figura N° 3.1 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 1 er PASO-4M

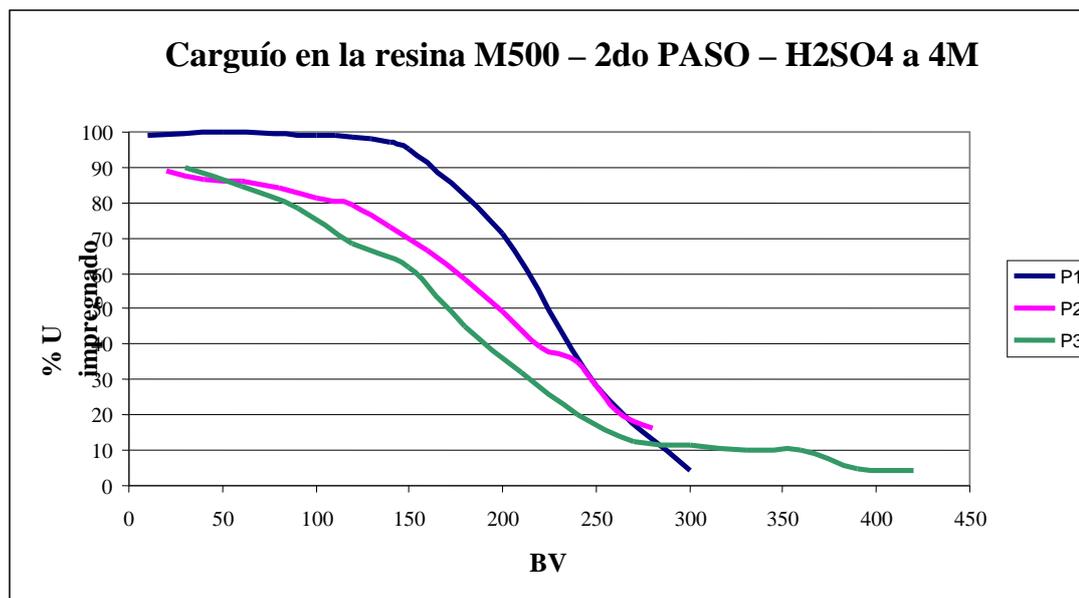


Figura N° 3.2 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 2do PASO-4M

De acuerdo a las gráficas de las primeras pruebas se observa que requiriendo la mayor cantidad de Uranio impregnado en ellas no es necesario pasar más de 150BV.

Tabla N° 3.3 Variando el flujo pasante y eluido con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 3M

BV	PRUEBA 4		PRUEBA 5		PRUEBA 6			
	% U IMPREGNADO EN LA RESINA							
	1er PASO	2do PASO	BV	1er PASO	2do PASO	BV	1er PASO	2do PASO
10	91.39	97.00	20	96.33	96.76	30	91.86	91.47
50	85.78	95.65	40	93.98	97.38	60	86.42	87.02
100	71.63	93.86	60	92.65	96.53	90	79.16	80.89
110	65.31	92.79	80	87.95	94.90	120	67.71	72.28
120	55.94	92.40	100	81.20	92.15	150	52.67	69.91
130	54.66	91.13	120	80.59	91.26			
140	41.67		140	73.04	86.45			
150	31.02		160	60.53	80.19			

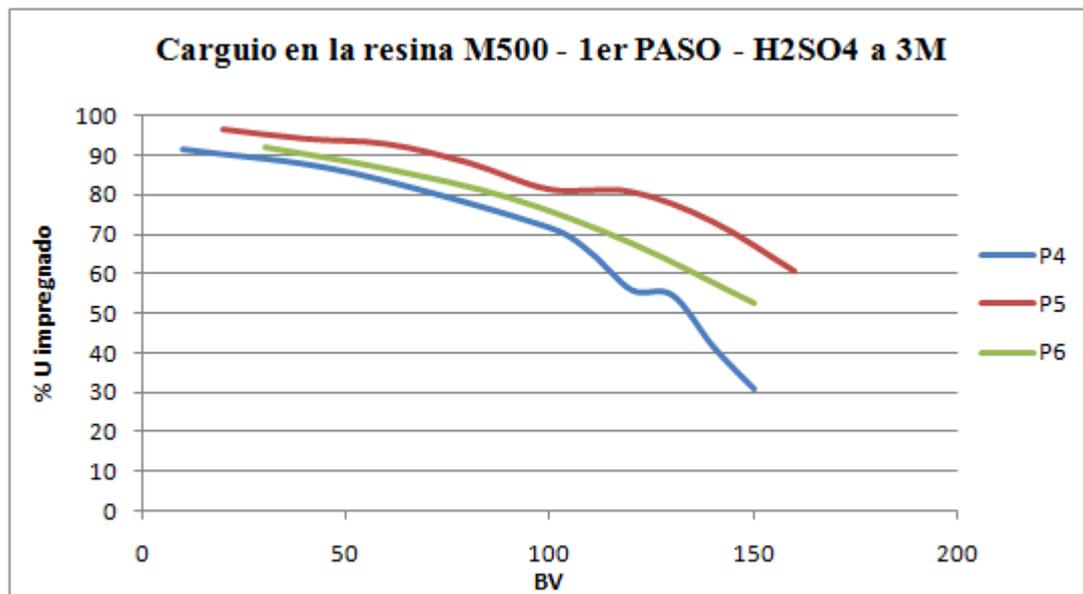


Figura N° 3.3 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 1er PASO-3M

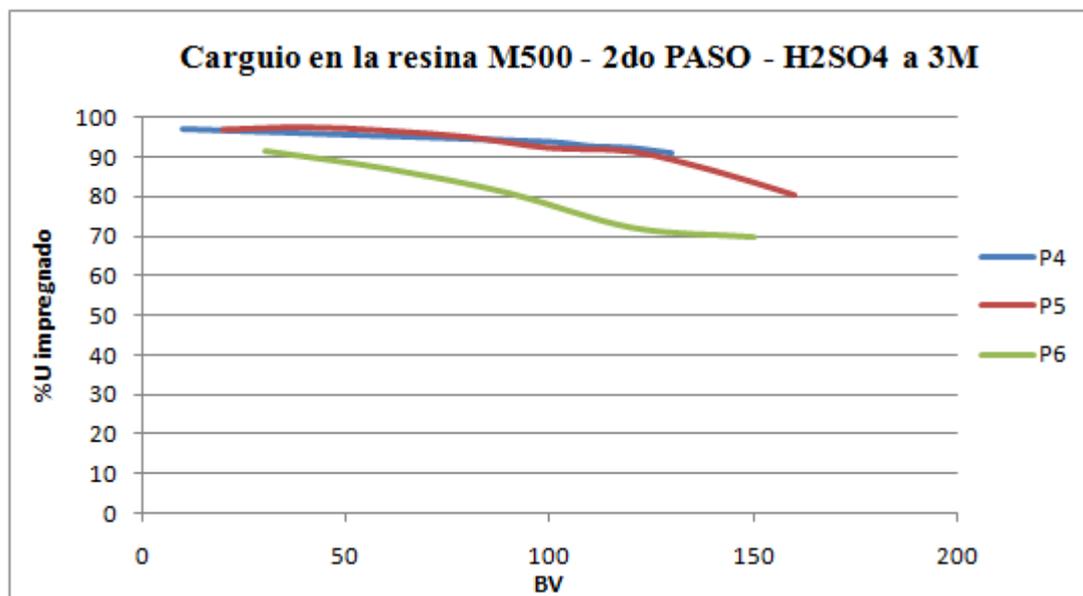


Figura N° 3.4 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 2do PASO-3M

Tabla N° 3.4 Variando el flujo pasante y eluido con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 2M

	PRUEBA 7			PRUEBA 8			PRUEBA 9	
	% U IMPREGNADO							
BV	1er PASO	2do PASO	BV	1er PASO	2do PASO		1er PASO	2do PASO
10	92.37	92.76	20	88.31	97.74	30	95.09	95.25
50	81.24	48.34	40	84.87	96.56	60	92.37	93.42
100	73.60	40.70	60	82.71	95.56	90	85.62	90.96
110	68.02	37.72	80	77.62	94.03	120	73.90	87.57
120	66.67	39.83	100	69.29	91.61	150	57.17	83.59
130	60.50	37.23	120	56.56	88.96			
140	53.47	39.83	140	48.87	83.40			
150	47.17	37.23	160	33.94				

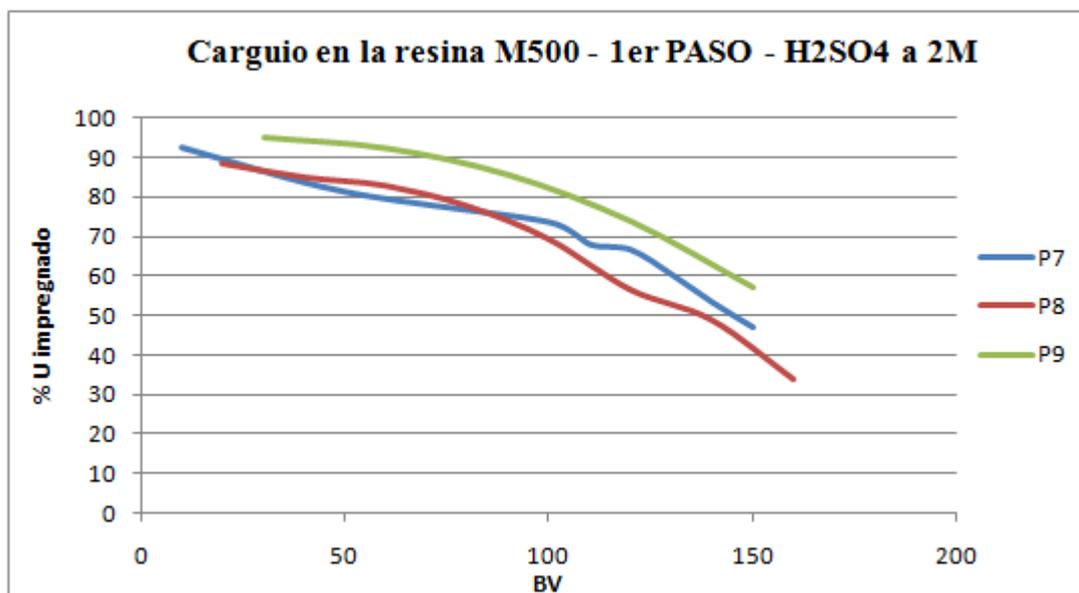


Figura N° 3.5 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 1er PASO-2M

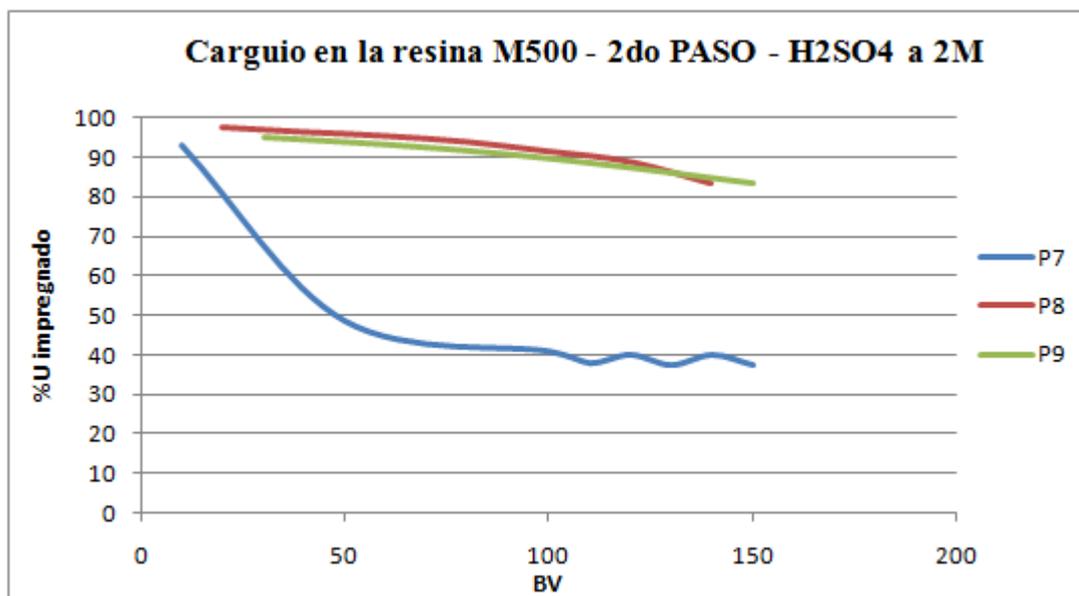


Figura N° 3.6 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 2do PASO-2M

Luego de impregnar de uranio en la resina para cada prueba procedimos a la elución de acuerdo al programa de pruebas; a continuación mostramos los tres mejores resultados, los demás están presentes en el Anexo 2.

Tabla N° 3.5 Los mejores resultados de las pruebas, elución con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.a 4M y 2M

E	1 ER PASO			2 DO PASO		
	U g/L DESPUES DE ELUIR					
	PBA. 1	PBA. 2	PBA. 8	PBA.1	PBA.2	PBA. 3
1	0.24	0.37	0.15	0.12	5.65	0.98
4	5.58	9.48	2.42	3.55	6.38	4.08
8	5.55	5.63	7.08	5.85	3.20	4.03
12	4.30	2.88	5.13	2.63	1.53	2.60
16	4.03	2.12	3.73	1.66	0.92	1.84
20	2.90	1.22	2.80	1.44	0.66	1.50
24	2.31	1.16	2.15	1.23	0.52	1.29
	24.90	22.84	23.44	16.48	18.85	16.30

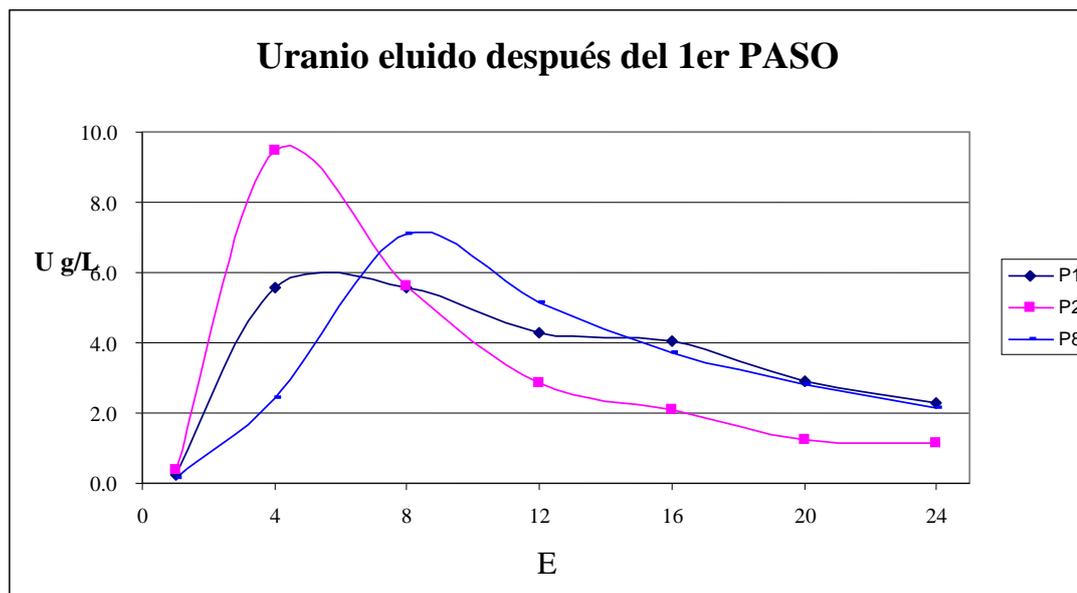


Figura N° 3.7 Uranio en g/L luego de la elución de los 1er PASO- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

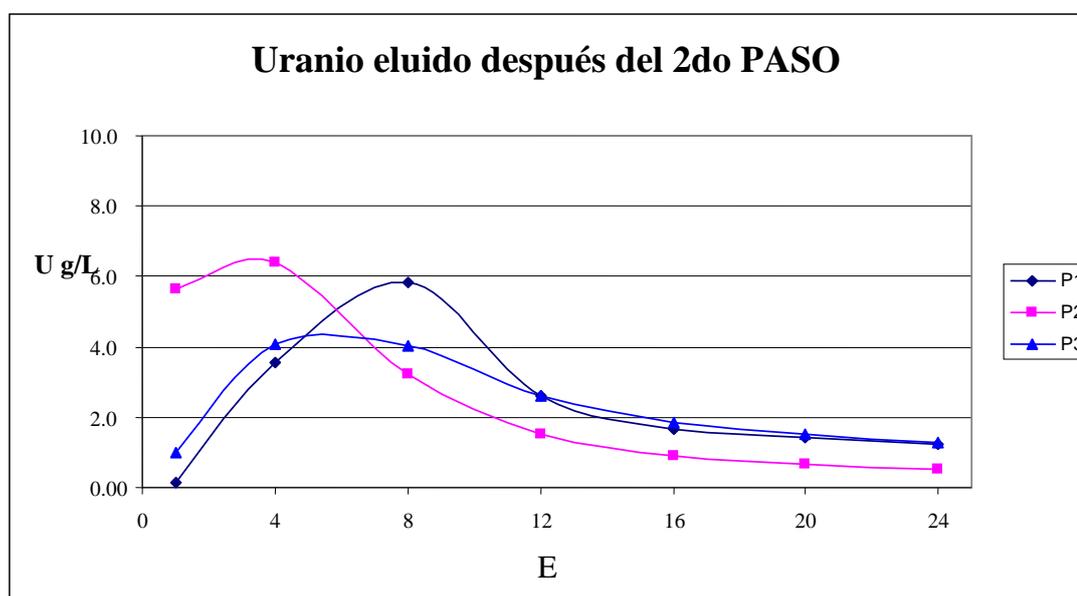


Figura N° 3.8 Uranio en g/L luego de la elución de los 2do PASO- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Con los resultados obtenidos de 10, 20 y 30BV y realizando la elución con ácido sulfúrico, con estos datos podemos optimizar los parámetros de BV y concentración de ácido a utilizar, con estos mismos parámetros optimizados procedemos a variar el pH a 2 y 2.5 de las soluciones cargadas para observar el comportamiento que pueden tener sobre la resina.

Tabla N° 3.6 Programa de pruebas con parámetros optimizados – H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

TIPO DE PRUEBAS IX	N° PRUEBA	CONDICIONES
Flujo pasante y elución con ácido Optimizados, pH 2 y 2.5	Prueba 10	1er Paso/2do Paso a 10BV /Eluc. 4M
	Prueba 11	1er Paso/2do Paso 10BV /Eluc. 4M/pH=2
	Prueba 12	1erPaso/2doPaso10BV /Eluc.4M/pH= 2.5

Tabla N° 3.7 Carguío en la resina a Flujo 10 BV y elución con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 4M

CARGUIO								
PRUEBA 10			PRUEBA 11			PRUEBA 12		
% U IMPREGNADO								
BV	1er PASO	2do PASO	BV	1er PASO	2do PASO	BV	1er PASO	2do PASO
10	97.20	94.21	10	98.80	99.34	10	98.30	98.70
50	96.04	93.16	50	99.37	99.34	50	98.10	98.70
100	91.65	92.15	100	97.75	99.34	100	98.24	98.70
110	88.64	91.97	110	95.78	99.34	110	98.21	98.70
120	82.21	92.08	120	93.54	99.34	120	98.10	98.70
130	73.84	91.75	130	91.83	99.34	130	98.07	98.70
140	67.24		140	88.96	99.34	140	97.91	98.70
150	55.92		150	86.10		150	97.44	

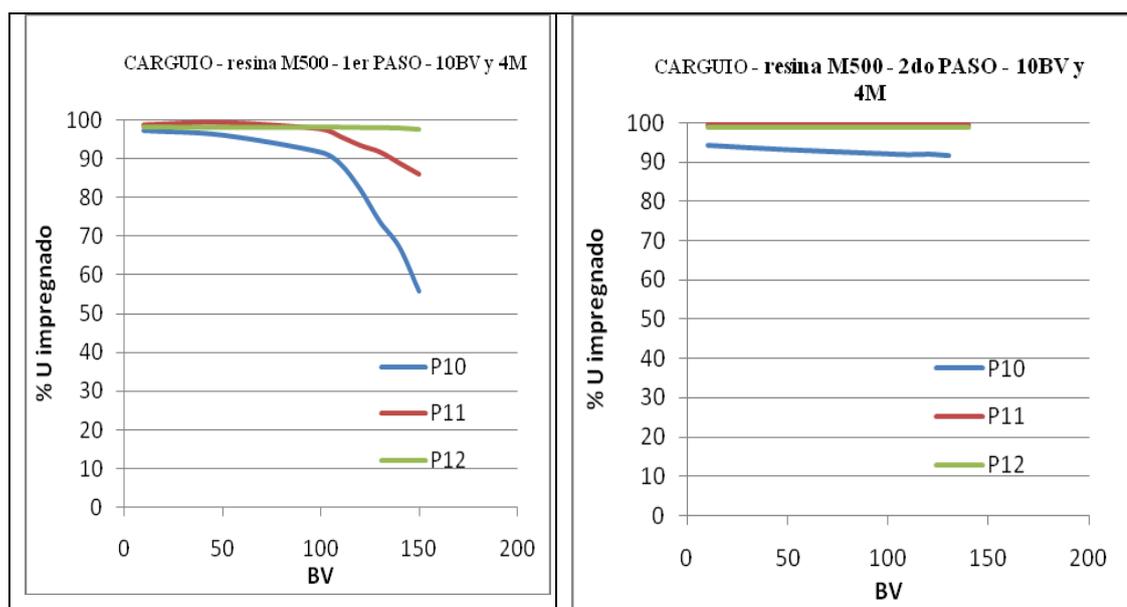
Figura N° 3.9 Carguío en la resina M-500 a condiciones optimizadas-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Tabla N° 3.8 Elución a Flujo 10 BV y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 4M (pruebas optimizadas)

ELUCION						
PRUEBA 10			PRUEBA 11		PRUEBA 12	
U g/L DESPUES DE ELUIR						
E	1er PASO	2do PASO	1er PASO	2do PASO	1er PASO	2do PASO
1	0.11	0.00	0.03	0.03	0.02	0.00
4	3.13	0.64	2.30	0.29	2.97	0.06
8	6.57	0.72	3.40	0.21	5.25	0.11
12	4.12	0.53	3.08	0.13	3.43	0.08
16	2.97	0.38	2.82	0.09	2.75	0.06
20	2.13	0.29	2.35	0.07	2.13	0.05
24	1.76	0.25	2.00	0.06	1.86	0.04
	20.80	2.82	15.97	0.87	18.41	0.40

**Nota:**

E1: Es la ley del Raffinate después de pasar 12.5 ml de ácido sulfúrico a 4M

E4: Es la ley del Raffinate después de pasar 50 ml de ácido sulfúrico a 4M

E8: Es la ley del Raffinate después de pasar 100 ml de ácido sulfúrico a 4M, y así sucesivamente hasta E24.

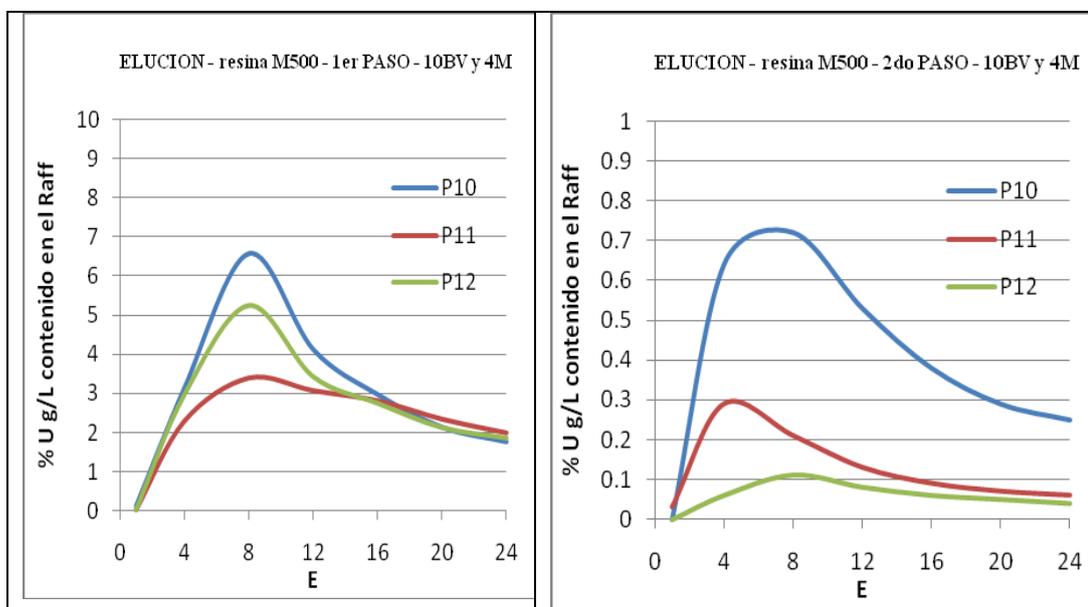


Figura N° 3.10 Elución de la resina M-500 cargada a condiciones optimizadas-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

### 3.1.2 Pruebas utilizando ácido Nítrico en la Elución.

Las pruebas de intercambio iónico son realizadas bajo un programa de pruebas donde varían la velocidad de solución pasante a través de la resina, desde 10, 20 y 30 BV (siendo cada BV = 50 ml; por lo cual 100 BV es 5 litros) y la concentración de ácido nítrico en la Elución de 0.5 y 0.75M, usando la resina M500. En la tabla N° 3.9 se detalla el programa de pruebas a ser llevado a cabo.

Tabla N° 3.9 Programa de pruebas – Carguío y Elución con HNO<sub>3</sub> a 0.5 y 0.75M

TIPO DE PRUEBAS IX	N° PRUEBA	CONDICIONES
Variando el flujo pasante y elución con ácido a 0.75M.	Prueba 13	1er Paso/2doPaso/Elución 10 BV /0.75M
	Prueba 14	1er Paso/2doPaso/Elución 20 BV /0.75M
	Prueba 15	1er Paso/2doPaso/Elución 30 BV /0.75M
Variando el flujo pasante y elución con ácido a 0.50M	Prueba 16	1er Paso/2doPaso/Elución 10 BV /0.50M
	Prueba 17	1er Paso/2doPaso/Elución 20 BV /0.50M
	Prueba 18	1er Paso/2doPaso/Elución 30 BV /0.50M

Tabla N° 3.10 Variando el flujo pasante y Eluido con HNO<sub>3</sub> a 0.75 M

PRUEBA 13			PRUEBA 14			PRUEBA 15		
% U IMPREGNADO								
BV	1er PASO	2do PASO	BV	1er PASO	2do PASO	BV	1er PASO	2do PASO
10	85.14	96.01	20	93.30	56.66	30	86.69	94.49
50	98.77	99.80	40	98.81	98.45	60	95.71	97.83
100	98.22	99.57	60	96.68	98.14	90	94.62	95.92
110	97.88	99.49	80	98.22	97.37	120	91.79	95.05
120	97.47	99.26	100	97.51	96.28	150	88.51	93.38
130	97.14	99.14	120	95.87	94.89			
140	96.66	98.36	140	94.53	76.78			
150	96.14		160	91.85	86.38			

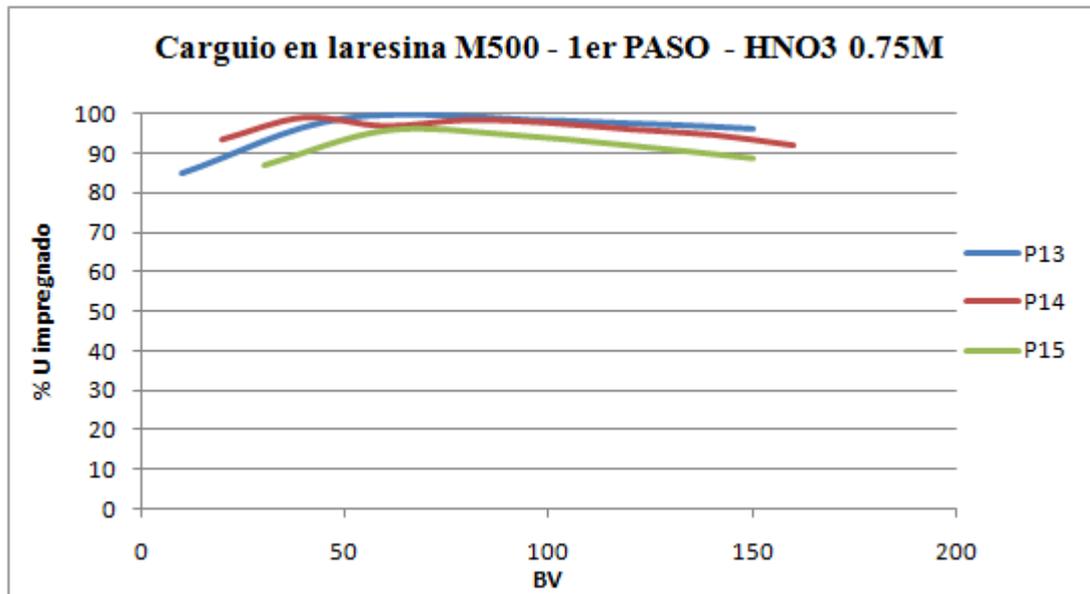


Figura N° 3.11 Porcentaje de U impregnado en la resina para 1er PASO- 0.75M

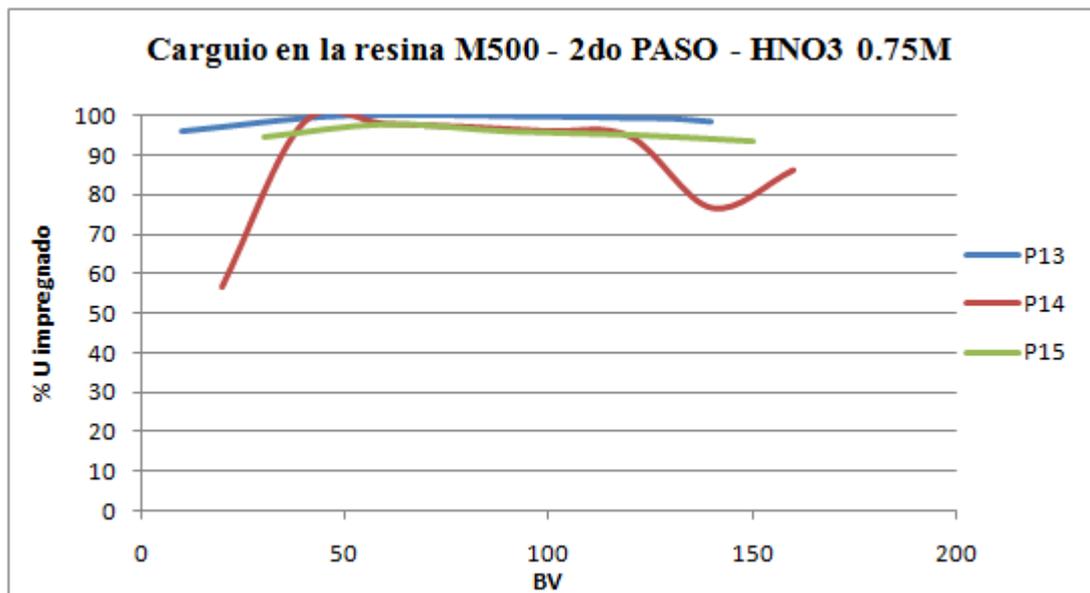


Figura N° 3.12 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 2do PASO- 0.75M

Tabla N° 3.11 Variando el flujo pasante y Eluido con HNO<sub>3</sub> a 0.5 M

PRUEBA 16			PRUEBA 17			PRUEBA 18		
% U IMPREGNADO								
BV	1er PASO	2do PASO	BV	1er PASO	2do PASO	BV	1er PASO	2do PASO
10	93.34	99.34	20	56.98	92.55	30	95.63	94.42
50	93.04	98.23	40	96.49	99.25	60	97.71	96.83
100	87.25	98.68	60	96.10	98.70	90	96.10	94.53
110	85.88	99.49	80	95.14	98.10	120	93.60	92.34
120	83.71	97.92	100	93.44	96.85	150	89.39	89.82
130	81.72	98.99	120	91.19	98.15			
140	77.04	98.38	140	87.68	97.45			
150	75.38		160	83.90	95.85			

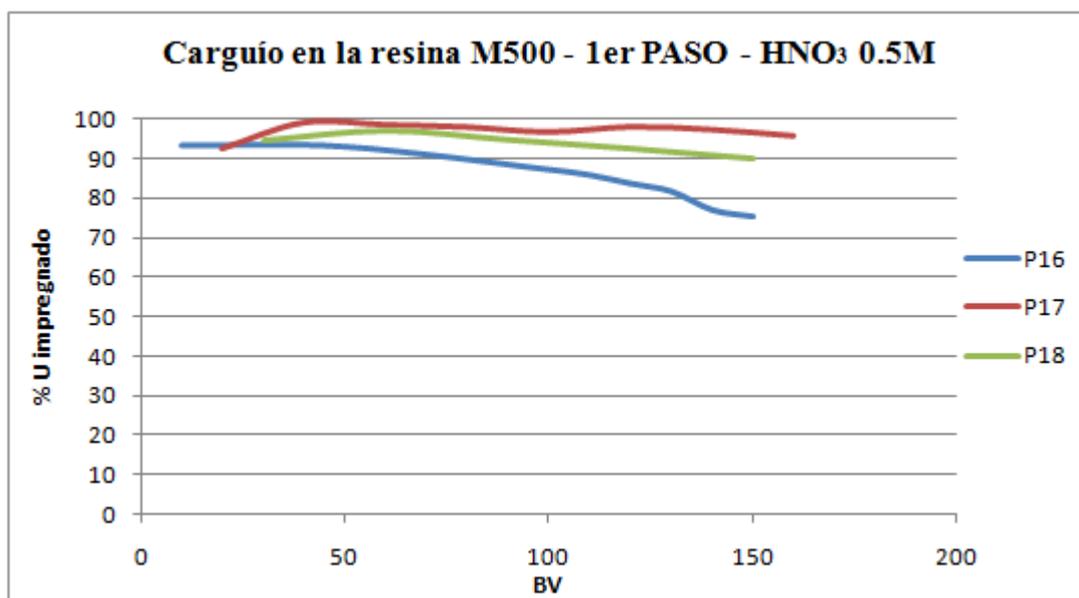


Figura N° 3.13 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 1 er PASO- 0.5M

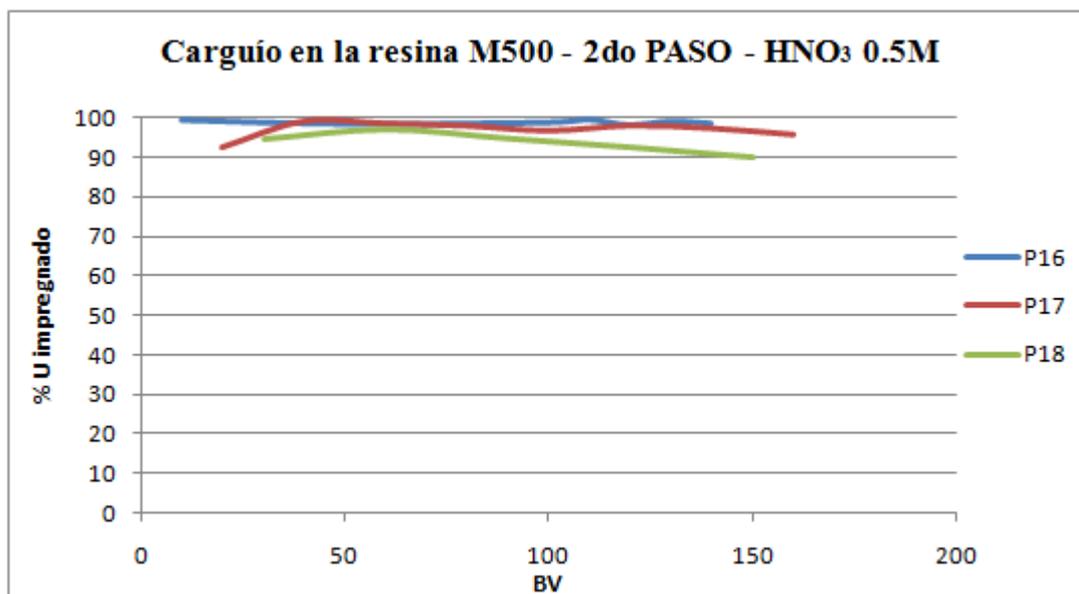


Figura N° 3.14 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 2 do PASO-0.5M

Luego de impregnar de uranio en la resina para cada prueba procedimos a la elución de acuerdo al programa de pruebas; a continuación mostramos los dos mejores resultados, los demás están presentes en el Anexo 2.

Tabla N° 3.12 Los mejores resultados de las pruebas, elución con HNO<sub>3</sub>.

1er PASO			2do PASO		
U g/L DESPUES DE ELUIR					
E	PBA. 15	PBA. 17	E	PBA. 13	PBA.17
1	0.02	0.02	1	0.00	0.00
4	0.10	0.02	4	0.01	0.01
8	3.38	0.81	8	0.75	0.20
12	5.33	4.77	12	0.49	0.77
16	3.68	5.18	16	0.35	0.66
20	2.57	4.00	20	0.30	0.47
24	1.82	3.10	24	0.21	0.29
	16.90	17.90		2.11	2.40

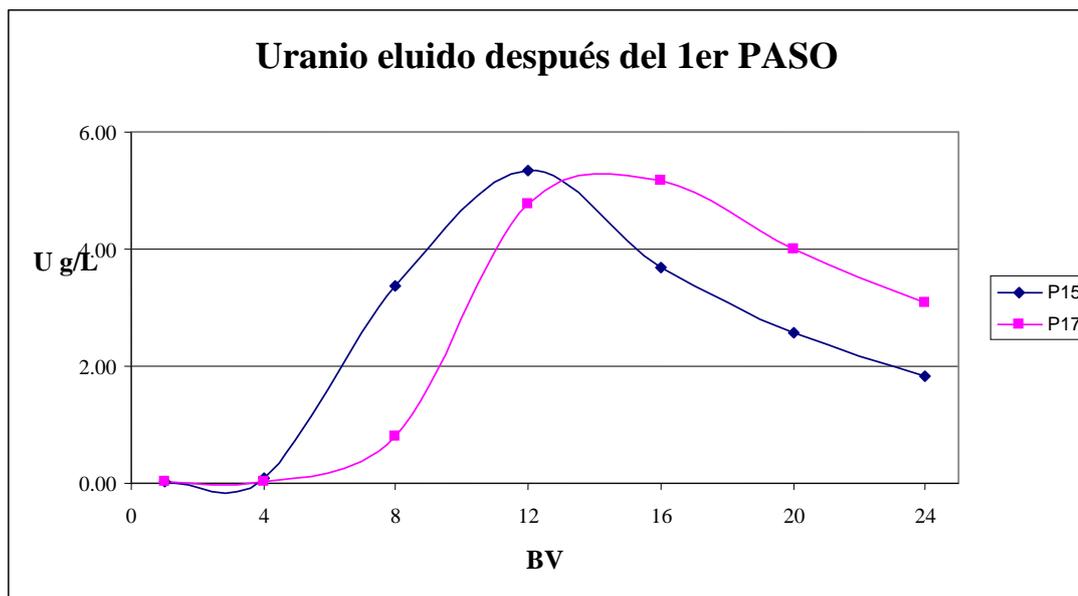


Figura N° 3.15 Uranio en g/L luego de la elución de los 1er PASO- HNO<sub>3</sub>

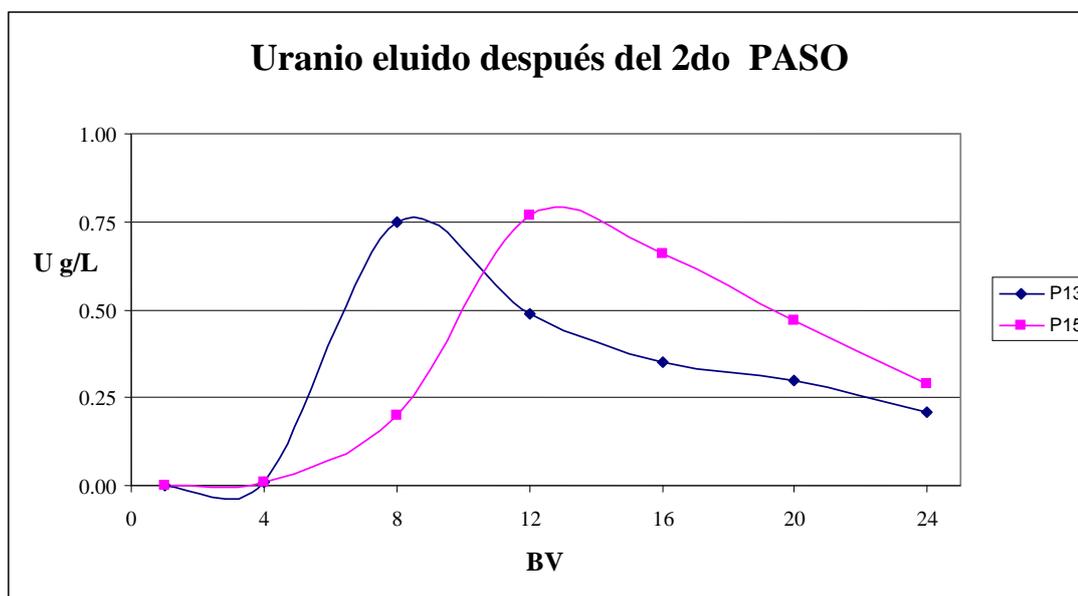


Figura N° 3.16 Uranio en g/L luego de la elución de los 2do PASO- HNO<sub>3</sub>

Con los resultados obtenidos procedemos a optimizar la prueba con ácido nítrico. En la tabla N° 3.13 se detalla el programa de pruebas a ser llevado a cabo.

Tabla N° 3.13 Programa de pruebas con parámetros optimizados –HNO<sub>3</sub>

TIPO DE PRUEBAS IX	N° PBA.	CONDICIONES
Flujo pasante y elución con ácido Optimizados, pH 2 y 2.5	Prueba 19	1er Paso/2do Paso 10BV /Eluc. 0.5M
	Prueba 20	1er Paso/2do Paso 10BV /Eluc. 0.5M/pH=2
	Prueba 21	1er Paso/2do Paso 10BV/Eluc.0.5M/pH= 2.5

Tabla N° 3.14 Carguío de la resina a Flujo 10BV y Elución con HNO<sub>3</sub> a 0.5 M

CARGUIO									
PRUEBA 19			PRUEBA 20			PRUEBA 21			
% U IMPREGNADO									
BV	1 er PASO	2 do PASO	BV	1 er PASO	2 do PASO	BV	1 er PASO	2 do PASO	
10	88.13	57.38	10	96.78	84.18	10	71.29	88.22	
50	97.91	97.87	50	99.61	94.30	50	99.12	89.12	
100	97.73	97.05	100	99.64	94.94	100	99.53	92.15	
110	97.63	97.21	110	99.62	94.94	110	99.49	93.35	
120	97.17	97.70	120	99.63	93.04	120	99.73	84.89	
130	96.61	97.38	130	99.62	94.30	130	99.74	85.50	
140	96.00	97.21	140	99.60	94.94	140	99.63	92.75	
150	95.19		150	99.58		150	99.73		

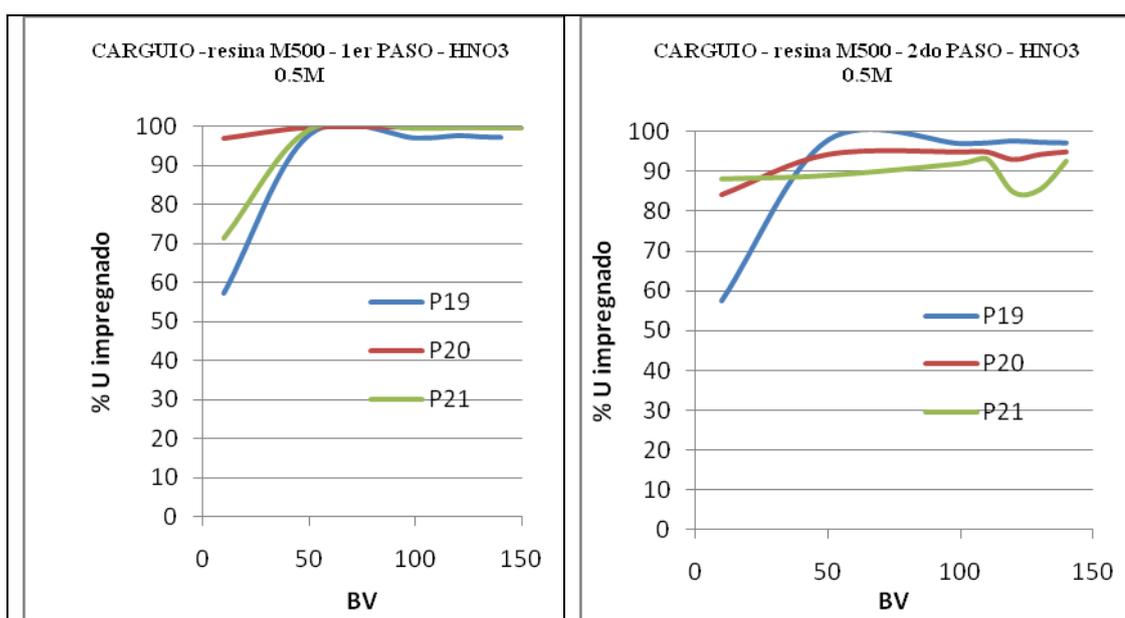
Figura N° 3.17 Carguío en la resina M-500 a condiciones optimizadas- HNO<sub>3</sub>

Tabla N° 3.15 Elución a Flujo 10 BV y HNO<sub>3</sub> a 0.5M (Pruebas optimizadas)

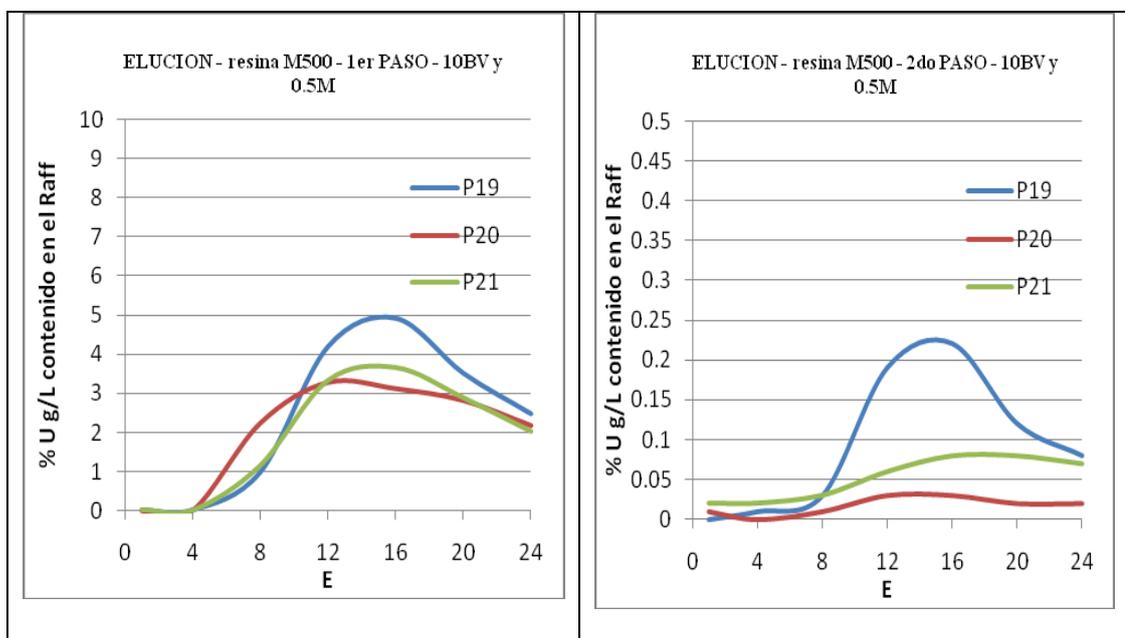
ELUCION						
PRUEBA 19			PRUEBA 20		PRUEBA 21	
U g/L DESPUES DE ELUIR						
E	1 er PASO	2 do PASO	1er PASO	2 do PASO	1 er PASO	2 do PASO
1	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02
4	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02
8	0.98	0.03	2.24	0.01	1.15	0.03
12	4.20	0.19	3.28	0.03	3.32	0.06
16	4.93	0.22	3.12	0.03	3.65	0.08
20	3.52	0.12	2.82	0.02	2.88	0.08
24	2.48	0.08	2.18	0.02	2.02	0.07
	16.13	0.65	13.65	0.12	13.05	0.36

**Nota:**

E1: Es la ley del Raffinate después de pasar 12.5 ml de ácido nítrico a 0.5M

E4: Es la ley del Raffinate después de pasar 50 ml de ácido nítrico a 0.5M

E8: Es la ley del Raffinate después de pasar 100 ml de ácido nítrico a 0.5M, y así sucesivamente hasta E24.

Figura N° 3.18 Elución en la resina M-500 a condiciones optimizadas-HNO<sub>3</sub>

### 3.1.3 Pruebas utilizando Cloruro de Sodio en la Elución.

Las pruebas de intercambio iónico son realizadas bajo un programa de pruebas donde varían la velocidad de solución pasante a través de la resina, desde 10, 20 y 30 BV (siendo cada BV = 50 ml; por lo cual 100 BV es 5 litros) y la concentración de cloruro de sodio en la Elución de 2M, usando la resina M500. En la tabla N° 3.16 se detalla el programa de pruebas a ser llevado a cabo.

Tabla N° 3.16 Programa de pruebas – Carguío y Elución con NaCl a 2M

<b>TIPO DE PRUEBAS IX</b>	<b>N° PRUEBA</b>	<b>CONDICIONES</b>
Variando el flujo pasante y elución con NaCl a 2M.	Prueba 22	1er Paso/2do Paso / Elución 10 BV / 2M
	Prueba 23	1er Paso/2do Paso / Elución 20 BV / 2M
	Prueba 24	1er Paso/2do Paso / Elución 30 BV / 2M

Tabla N° 3.17 Carguío en la resina variando el flujo pasante

<b>PRUEBA 22</b>			<b>PRUEBA 23</b>			<b>PRUEBA 24</b>		
<b>% U IMPREGNADO</b>								
<b>BV</b>	<b>1er PASO</b>	<b>2do PASO</b>	<b>BV</b>	<b>1er PASO</b>	<b>2do PASO</b>	<b>BV</b>	<b>1er PASO</b>	<b>2do PASO</b>
10	63.38	97.34	20	62.03	15.77	30	67.10	78.88
50	82.14	96.16	40	93.94	93.90	60	84.13	95.57
100	75.92	73.44	60	92.41	93.46	90	80.74	94.45
110	74.55	66.50	80	90.87	93.05	120	76.20	92.29
120	72.38	58.84	100	88.99	91.11	150	69.74	90.62
130	70.15	53.06	120	86.41	90.78			
140	68.48	49.91	140	82.89	89.60			
150	65.33		160	78.31	88.35			

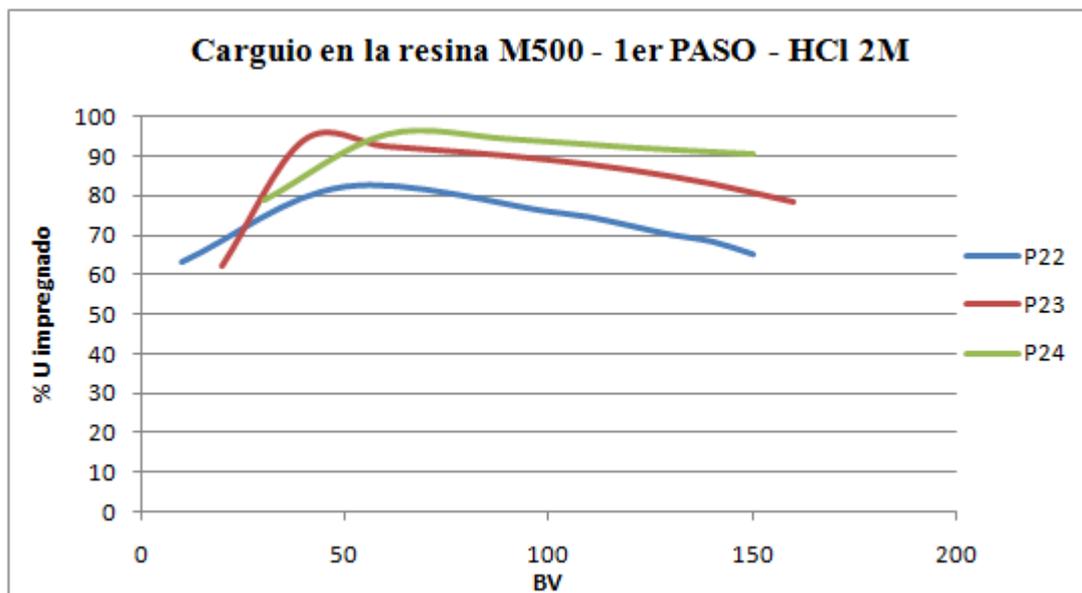


Figura N° 3.19 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 1 er PASO-NaCl 2M

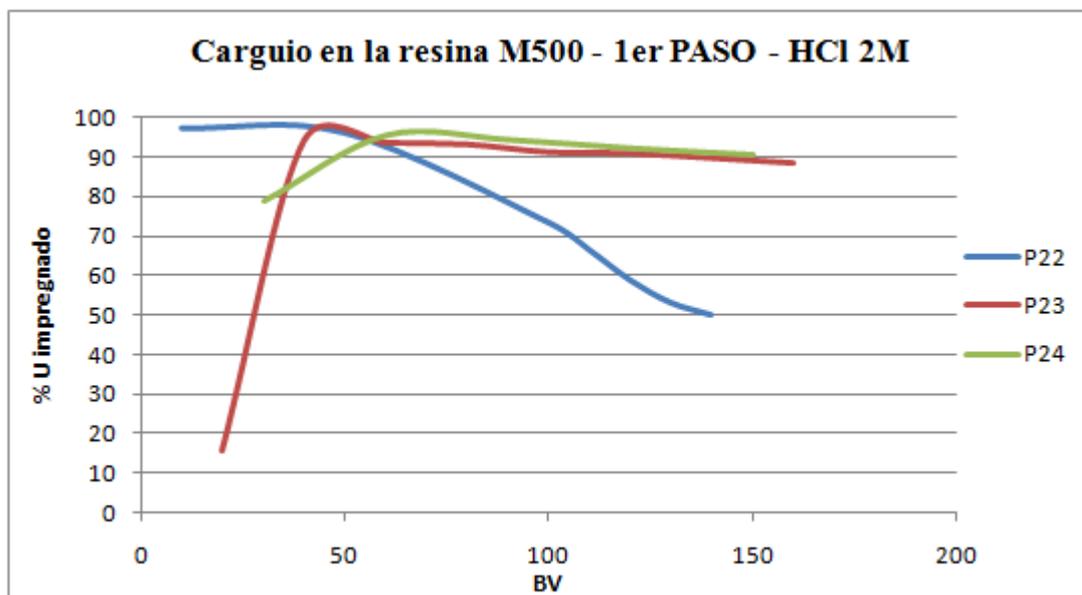


Figura N° 3.20 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 2 do PASO-NaCl 2M

Luego de impregnar de uranio en la resina para cada prueba procedimos a la elución de acuerdo al programa de pruebas.

Tabla N° 3.18 Variando el flujo pasante y elución con NaCl a 2M.

	PRUEBA 22		PRUEBA 23		PRUEBA 24	
	U g/L DESPUES DE ELUIR					
E	1er PASO	2do PASO	1er PASO	2do PASO	1er PASO	2do PASO
1	0.07	0.02	0.05	0.01	0.08	0.01
4	0.38	0.14	0.21	0.02	0.69	0.40
8	3.05	0.80	3.70	0.89	4.03	1.12
12	2.00	0.52	2.50	1.28	2.60	0.74
16	1.45	0.36	1.86	0.38	1.73	0.52
20	1.23	0.29	1.33	0.29	1.24	0.37
24	1.07	0.21	1.10	0.22	0.82	0.28
	9.25	2.34	10.75	3.09	11.19	3.44

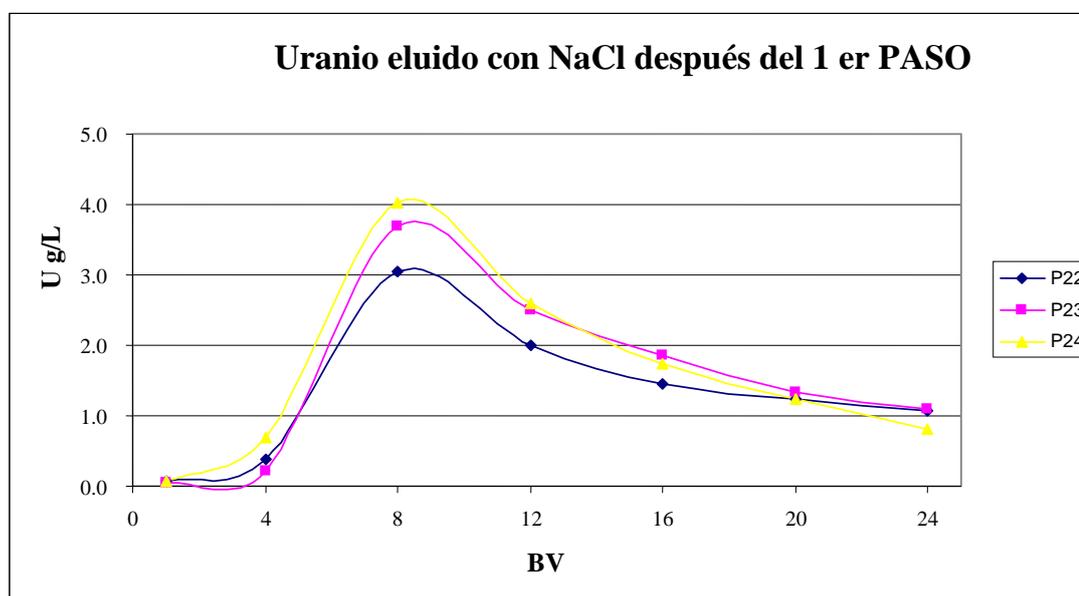


Figura N° 3.21 Uranio en g/L luego de la elución de los 1er PASO-NaCl

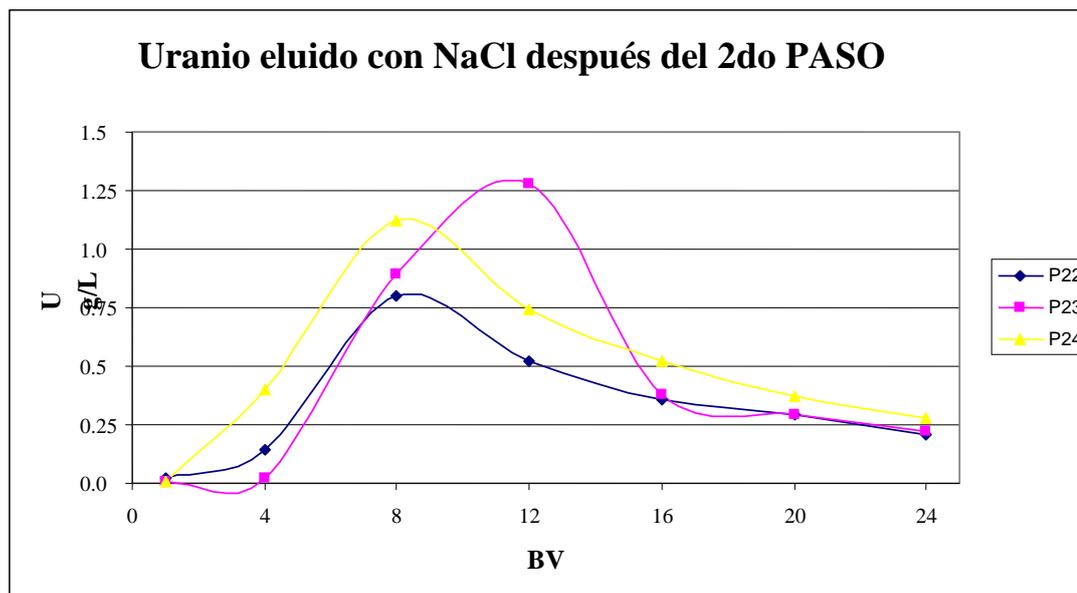


Figura N° 3.22 Uranio en g/L luego de la elución de los 2 do PASO- NaCl

Con los resultados obtenidos procedemos a optimizar la prueba con cloruro de sodio. En la tabla N° 3.19 se detalla el programa de pruebas a ser llevado a cabo.

Tabla N° 3.19 Programa de pruebas con parámetros optimizados -NaCl

TIPO DE PRUEBAS IX	N° PRUEBA	CONDICIONES
Flujo pasante y elución con NaCl Optimizados, pH 2 y 2.5	Prueba 25	1er Paso / 2do Paso 30BV / Eluc. 2M
	Prueba 26	1er Paso / 2do Paso 30BV / Eluc. 2M/pH=2
	Prueba 27	1erPaso/2do Paso 30BV/Eluc. 2M/pH= 2.5

Tabla N° 3.20 Carguío de resina a flujo a 30 BV y Elución con NaCl 2M

CARGUIO								
PRUEBA 25			PRUEBA 26			PRUEBA 27		
% U IMPREGNADO								
BV	1er PASO	2do PASO	BV	1er PASO	2do PASO	1er PASO	2do PASO	
30	1.10	78.88	30	79.35	0.00	30	8.63	27.11
60	0.00	61.70	60	98.80	81.69	60	96.18	94.21
90	0.00	40.44	90	99.00	84.75	90	97.10	95.04
120	0.00	25.14	120	98.90	85.42	120	95.64	96.12
150	0.00	16.39	150	98.75	79.44	150	92.41	94.21

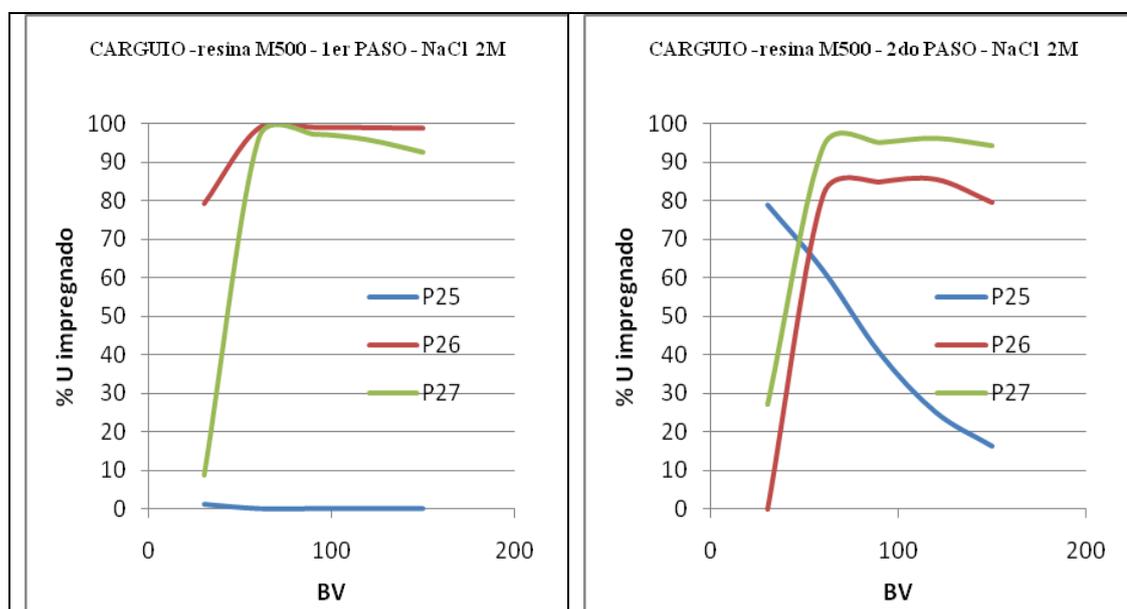


Figura N° 3.23 Carguío en la resina M-500 a condiciones optimizadas-NaCl

Tabla N° 3.21 Elución a Flujo 30BV y NaCl a 2M (Pruebas optimizadas)

ELUCION						
	PRUEBA 25		PRUEBA 26		PRUEBA 27	
U g/L DESPUES DE ELUIR						
E	1er PASO	2 do PASO	1 er PASO	2 do PASO	1 er PASO	2 do PASO
1	0.19	0.15	0.01	0.01	0.01	0.01
4	0.97	1.20	0.03	0.02	0.09	0.10
8	2.82	2.26	1.51	0.61	1.42	0.31
12	1.65	1.37	1.16	0.39	1.50	0.28
16	1.04	0.91	0.71	0.27	1.28	0.19
20	0.71	0.66	0.46	0.19	0.97	0.14
24	0.54	0.49	0.36	0.13	0.73	0.11
	7.92	7.04	4.24	1.62	6.00	1.14

**Nota:**

**E1:** Es la ley del Raffinate después de pasar 12.5 ml de Cloruro de Sodio a 2M

**E4:** Es la ley del Raffinate después de pasar 50 ml de Cloruro de Sodio a 2M

**E8:** Es la ley del Raffinate después de pasar 100 ml de Cloruro de Sodio a 2M, y así sucesivamente hasta E24.

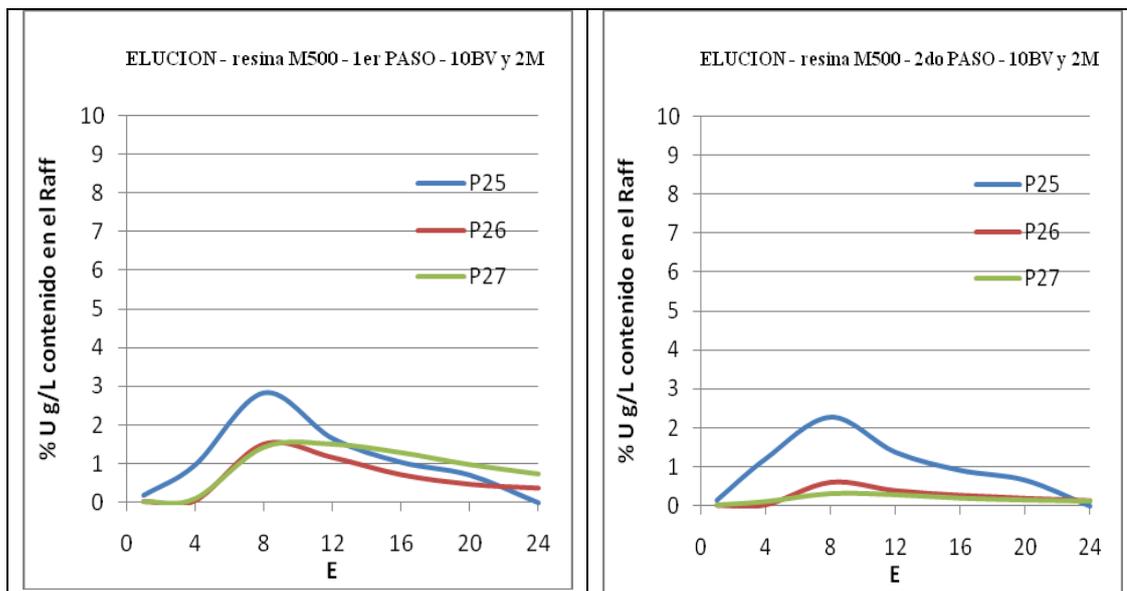


Figura N° 3.24 Elución en la resina M-500 a condiciones optimizadas-NaCl

### 3.2 Resina de intercambio iónico M800

#### 3.2.1 Pruebas utilizando ácido sulfúrico en la Elución.

Las pruebas de intercambio iónico son realizadas bajo un programa de pruebas donde varían la velocidad de solución pasante a través de la resina, desde 10, 20 y 30 BV (siendo cada BV = 50 ml; por lo cual 100 BV es 5 litros) y la concentración de ácido sulfúrico en la Elución desde 2, 3 y 4M, usando la resina M800. En la tabla N° 3.22 se detalla el programa de pruebas a ser llevado a cabo.

Tabla N° 3.22 Programa de pruebas – Carguío y Elución con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 4, 3 y 2M

<b>TIPO DE PRUEBAS IX</b>	<b>N° PRUEBAS</b>	<b>CONDICIONES</b>
Variando el flujo pasante y elución con ácido a 4M.	Prueba 28	1er Paso / 2do Paso/ Elución 10 BV /4M
	Prueba 29	1er Paso / 2do Paso / Elución 20 BV /4M
	Prueba 30	1er Paso / 2do Paso / Elución 30 BV /4M
Variando el flujo pasante y elución con ácido a 3M	Prueba 31	1er Paso / 2do Paso / Elución 10 BV /3M
	Prueba 32	1er Paso / 2do Paso / Elución 20 BV /3M
	Prueba 33	1er Paso / 2do Paso / Elución 30 BV /3M
Variando el flujo pasante y elución con ácido a 2M	Prueba 34	1er Paso / 2do Paso / Elución 10 BV /3M
	Prueba 35	1er Paso / 2do Paso / Elución 20 BV /2M
	Prueba 36	1er Paso / 2do Paso / Elución 30 BV /2M

Tabla N° 3.23 Variando el flujo pasante y eluido con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 4M

PRUEBA 28			PRUEBA 29			PRUEBA 30		
% U IMPREGNADO								
BV	1er PASO	2 do PASO	BV	1 er PASO	2do PASO	BV	1 er PASO	2 do PASO
10	99.25	99.42	20	98.76	99.32	30	95.23	99.13
50	99.98	99.95	40	97.73	99.51	60	92.79	99.46
100	99.24	99.28	60	96.95	99.51	90	90.02	98.86
110	98.68	98.82	80	95.76	99.51	120	85.5	97.78
120	97.64	98.18	100	94.09	99.51	150	79.5	96.86
130	96.1	97.63	120	92.69	99.51			
140	93.63	96.06	140	90.57	99.51			
150	88.45	95.22	160	87.69	99.51			
200	35.45	80.03						
250	0.97	48.22						

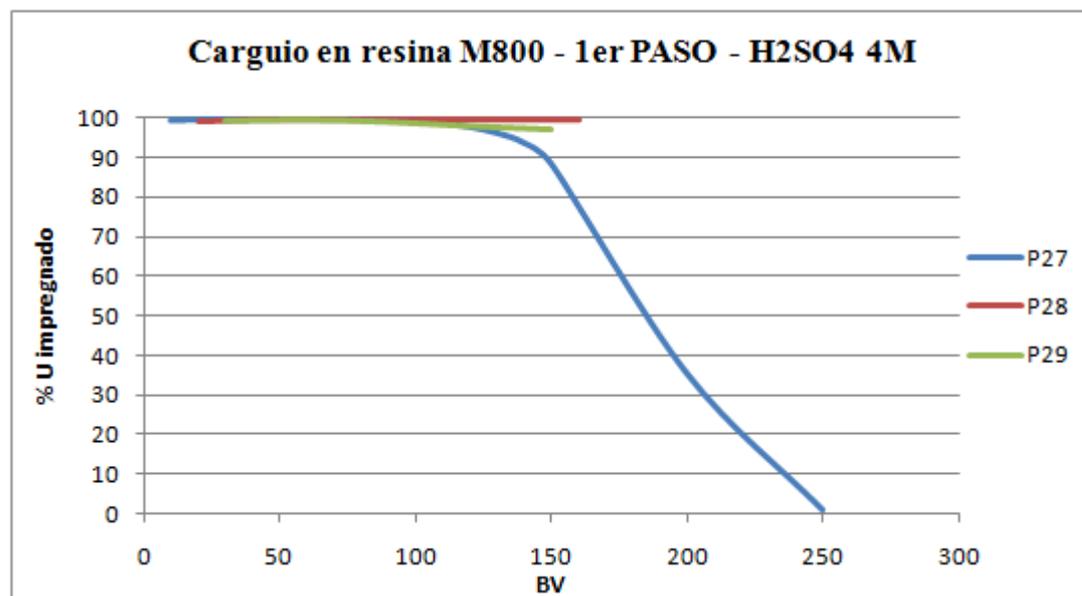


Figura N° 3.25 Porcentaje de U impregnado en la resina para el 1 er PASO - 4M

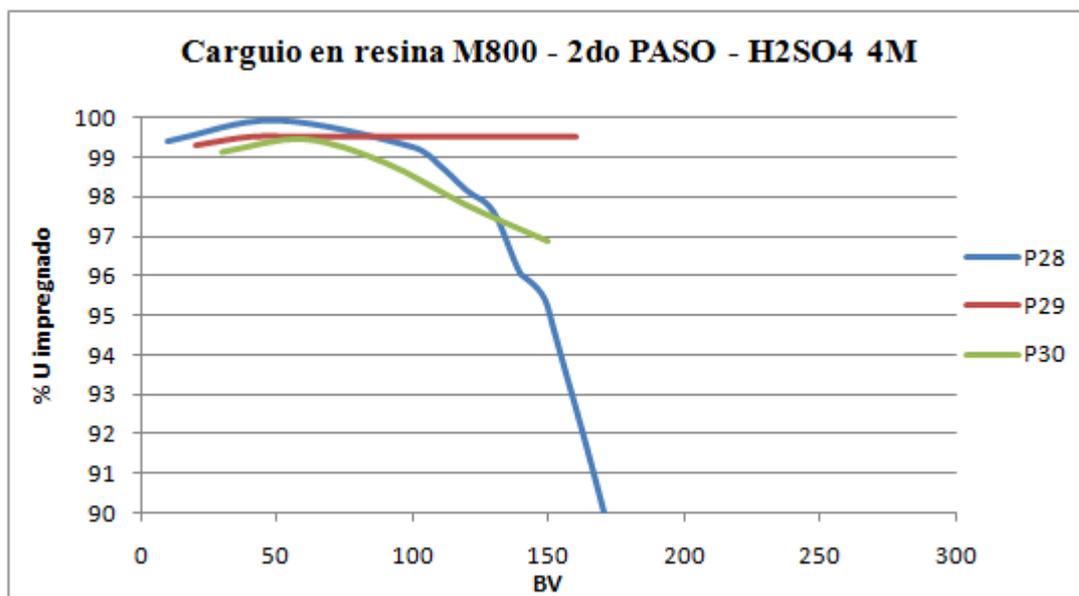


Figura N° 3.26 Porcentaje de U impregnado en la resina para el 2do PASO-4M

De acuerdo a las gráficas de las primeras pruebas se observa que requiriendo la mayor cantidad de Uranio impregnado en ellas no es necesario pasar más de 150BV.

Tabla N° 3.24 Variando el flujo pasante y eluido con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 3M

PRUEBA 31			PRUEBA 32			PRUEBA 33		
% U IMPREGNADO								
BV	1er PASO	2 do PASO	BV	1er PASO	2do PASO	1er PASO	2do PASO	
10	93.42	93.82	20	91.67	95.78	30	50.63	91.72
50	88.74	92.65	40	92.61	97.89	60	26.98	75.68
100	88.14	93.44	60	91.65	98.39	90	19.58	57.85
110	87.87	92.93	80	90.71	96.23	120	12.17	44.60
120	87.69	92.18	100	89.17	94.82	150	7.94	34.58
130	87.22	92.65	120	86.94	98.27			
140	86.28	93.02	140	84.49	93.62			
150	85.95		160	80.45	92.96			

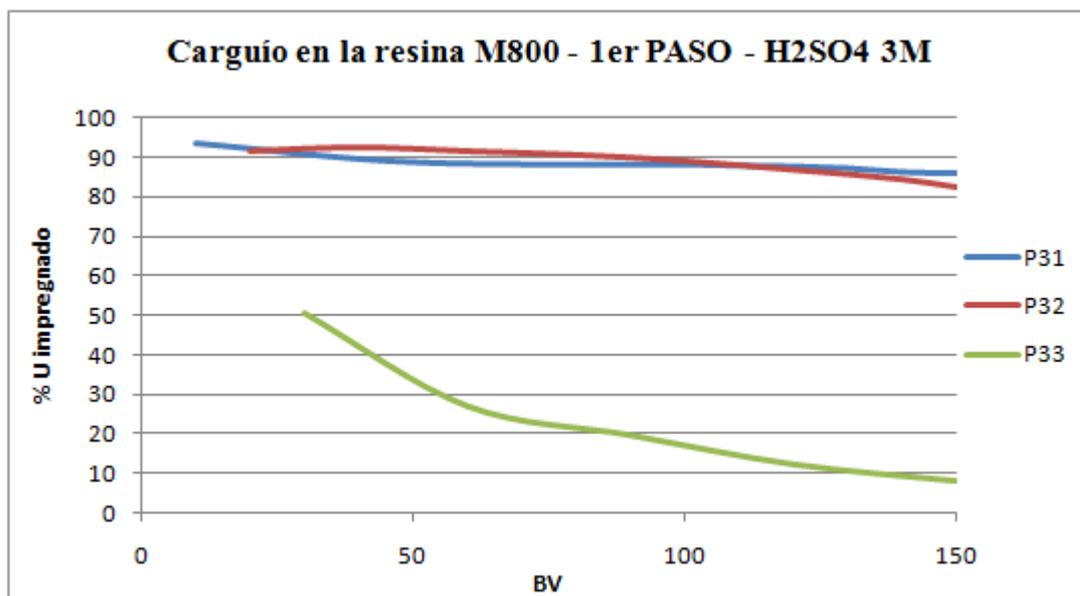


Figura N° 3.27 Porcentaje de U impregnado en la resina para el 1 er PASO- 3M

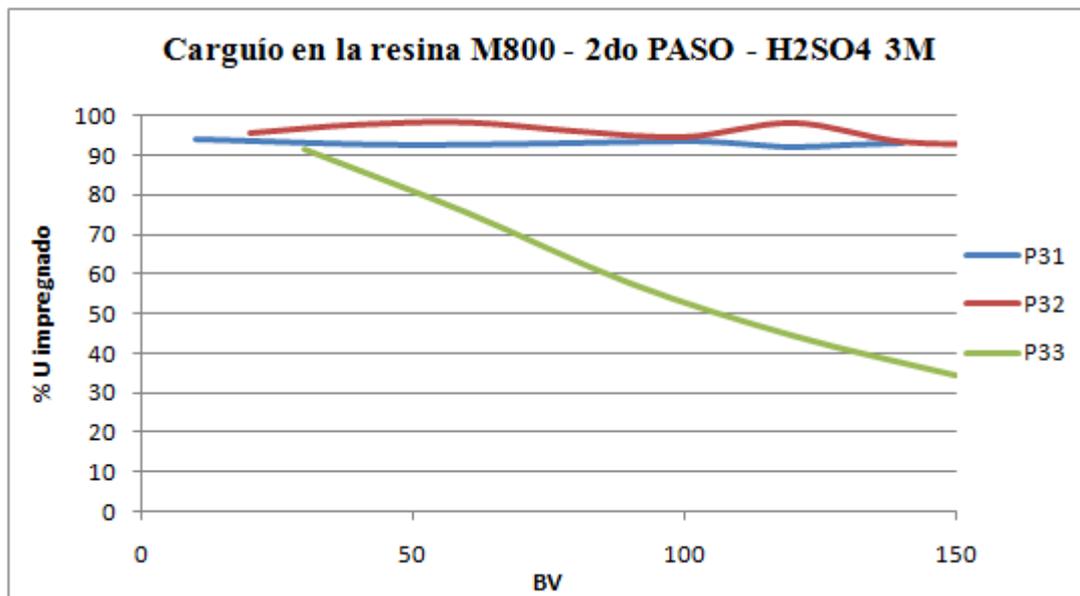


Figura N° 3.28 Porcentaje de U impregnado en la resina para el 2do PASO -3M

Tabla N° 3.25 Variando el flujo pasante y eluido con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 2M

PRUEBA 34			PRUEBA 35			PRUEBA 36		
% U IMPREGNADO								
BV	1er PASO	2do PASO	BV	1ER PASO	2DO PASO	BV	1ER PASO	2DO PASO
10	82.43	82.71	20	79.76	76.43	30	75.00	81.18
50	65.51	68.09	40	70.37	67.93	60	55.62	65.54
100	33.88	41.25	60	60.80	58.45	90	40.34	50.88
110	28.42	36.27	80	49.77	50.17	120	28.98	38.46
120	21.86	33.28	100	40.54	42.46	150	19.89	30.89
130	17.49	28.22	120	30.27	31.82			
140	14.21	25.42	140	22.70	27.61			
150	10.38		160	16.22	20.79			

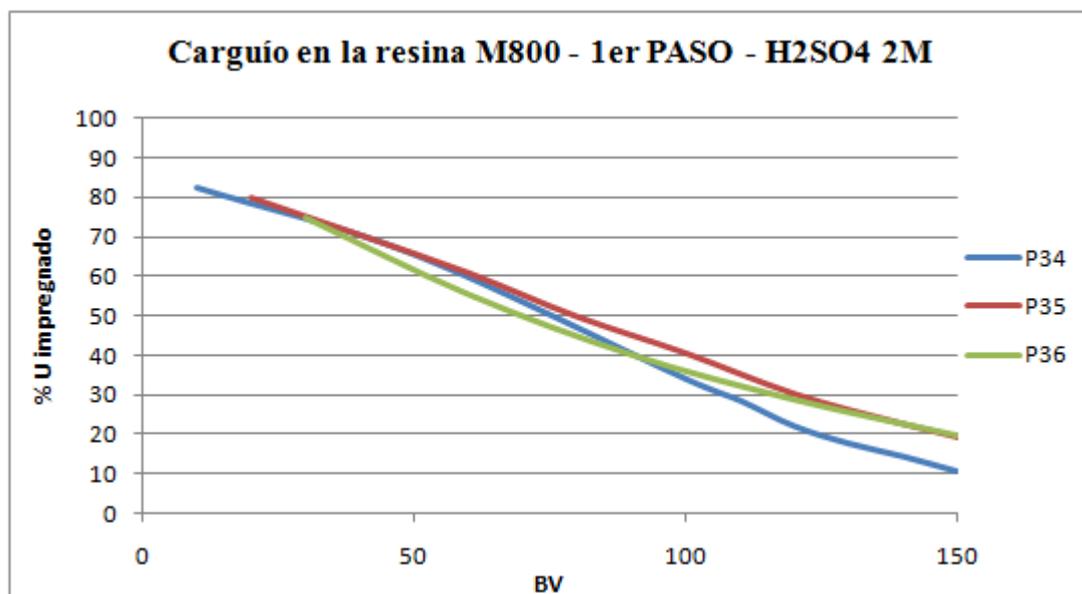


Figura N° 3.29 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 1er PASO-2M

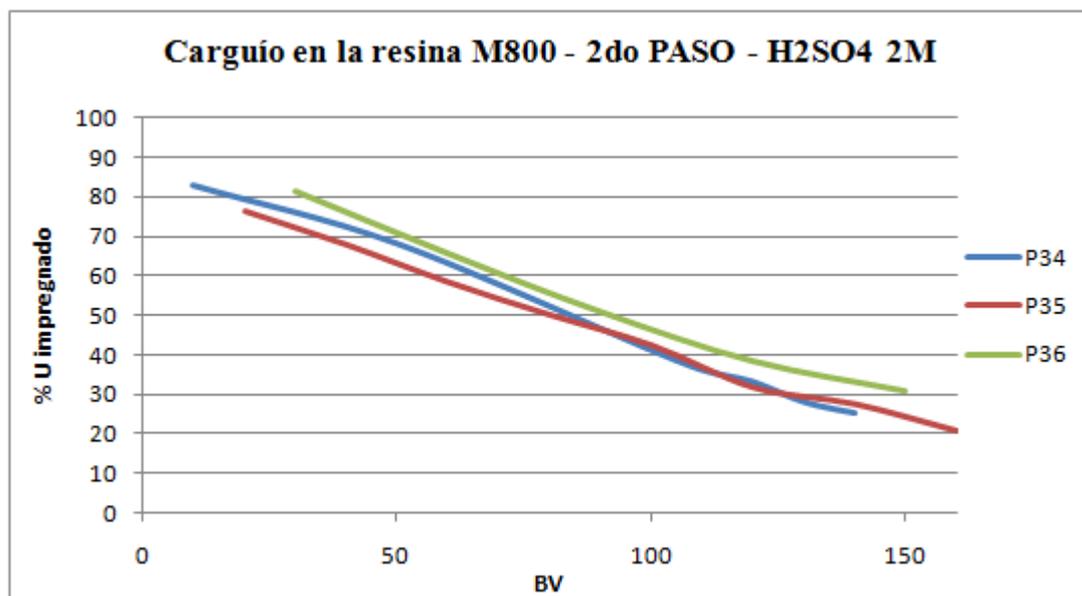


Figura N° 3.30 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 2do PASO-2M

Luego de impregnar de uranio en la resina para cada prueba procedimos a la elución de acuerdo al programa de pruebas; a continuación mostramos el mejor resultado, los demás están presentes en el Anexo 3.

Tabla N° 3.26 El mejor resultado de las pruebas, elución con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

<b>PRUEBA 28</b>		
<b>U g/L DESPUES DE ELUIR</b>		
<b>E</b>	<b>1er PASO</b>	<b>2do PASO</b>
1	0.23	0.24
4	7.93	4.87
8	6.42	3.93
12	5.07	3.05
16	4.45	2.16
20	4.28	1.65
24		1.38
	28.38	17.28

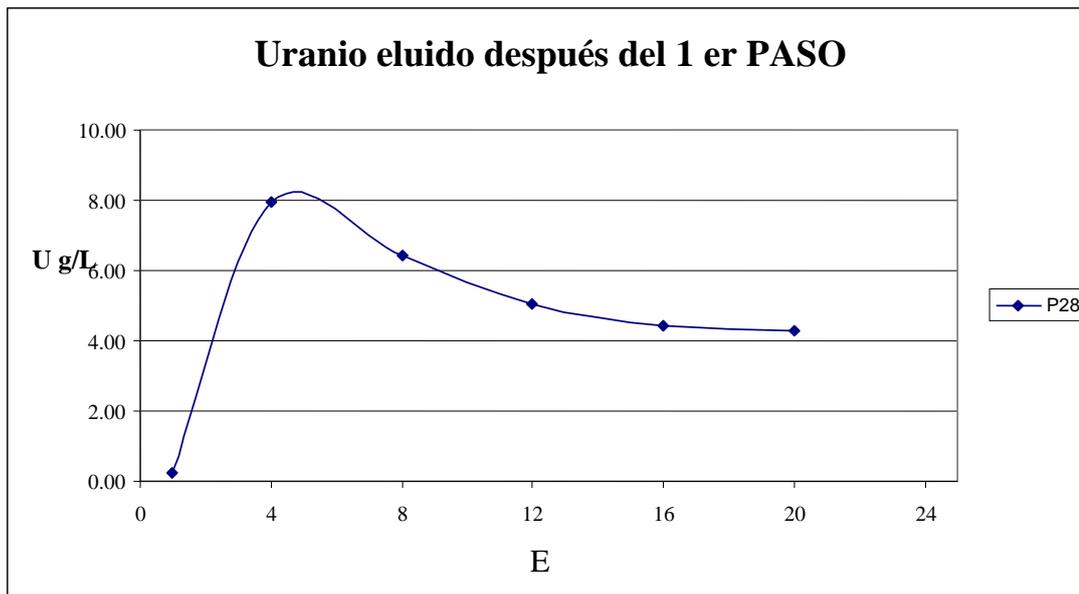


Figura N° 3.31 Uranio en g/L luego de la elución de los 1er PASO -  $H_2SO_4$

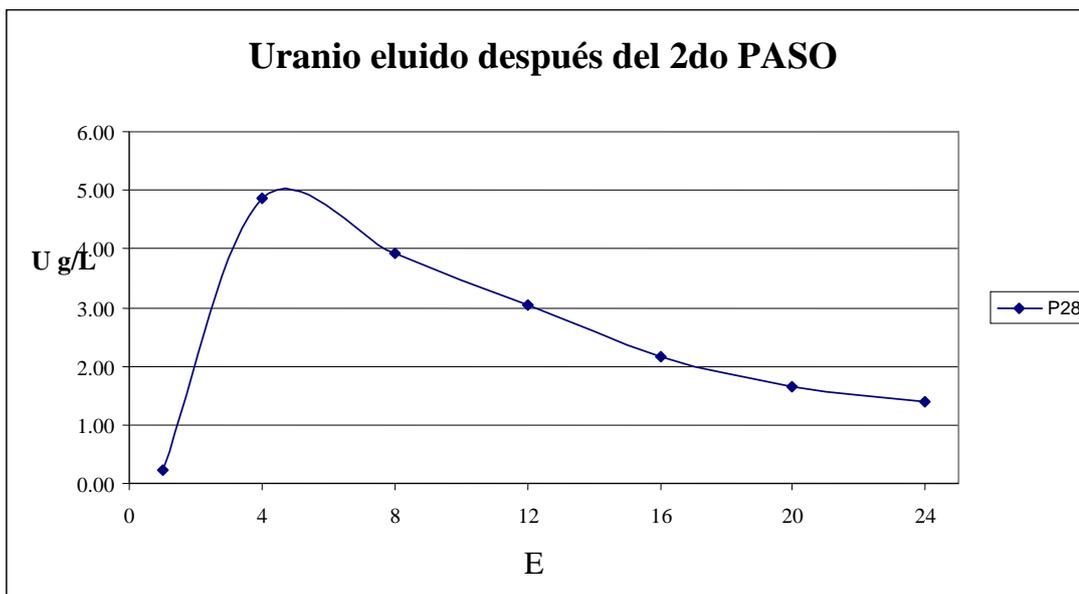


Figura N° 3.32 Uranio en g/L luego de la elución de los 2 do PASO- $H_2SO_4$

Con los resultados obtenidos de 10, 20 y 30BV y realizando la elución con ácido sulfúrico, con estos datos podemos optimizar los parámetros de BV y concentración de ácido a utilizar, con estos mismos parámetros optimizados procedemos a variar el pH a 2 y 2.5 de las soluciones cargadas para observar el comportamiento que pueden tener sobre la resina.

Tabla N° 3.27 Programa de pruebas con parámetros optimizados –H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

TIPO DE PRUEBAS IX	N° PRUEBA	CONDICIONES
Flujo pasante y elución con ácido Optimizados, pH 2 y 2.5	Prueba 37	1er Paso/2do Paso 20BV /Eluc. 3M
	Prueba 38	1er Paso/2do Paso 20BV /Eluc. 3M/pH=2
	Prueba 39	1er Paso/2do Paso 20BV /Eluc. 3M/pH= 2.5

Tabla N° 3.28 Carguío de resina a flujo pasante 20BV y Elución con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3M,

CARGUIO								
PRUEBA 37			PRUEBA 38			PRUEBA 39		
% U IMPREGNADO								
BV	1er PASO	2 do PASO	BV	1er PASO	2 do PASO	BV	1er PASO	2 do PASO
20	86.61	85.81	20	98.02	62.95	20	99.50	60.49
40	76.60	78.90	40	98.57	66.32	40	99.74	80.25
60	62.58	70.44	60	98.56	67.36	60	99.70	82.72
80	49.50	60.64	80	98.50	67.36	80	99.68	79.01
100	38.00	51.77	100	98.44	71.50	100	99.64	79.01
120	28.00	41.04	120	98.33	70.98	120	99.58	77.78
140	19.50	33.77	140	98.27	69.95	140	99.53	77.78
160	14.00	30.19	160	98.32	68.13	160	99.49	77.78

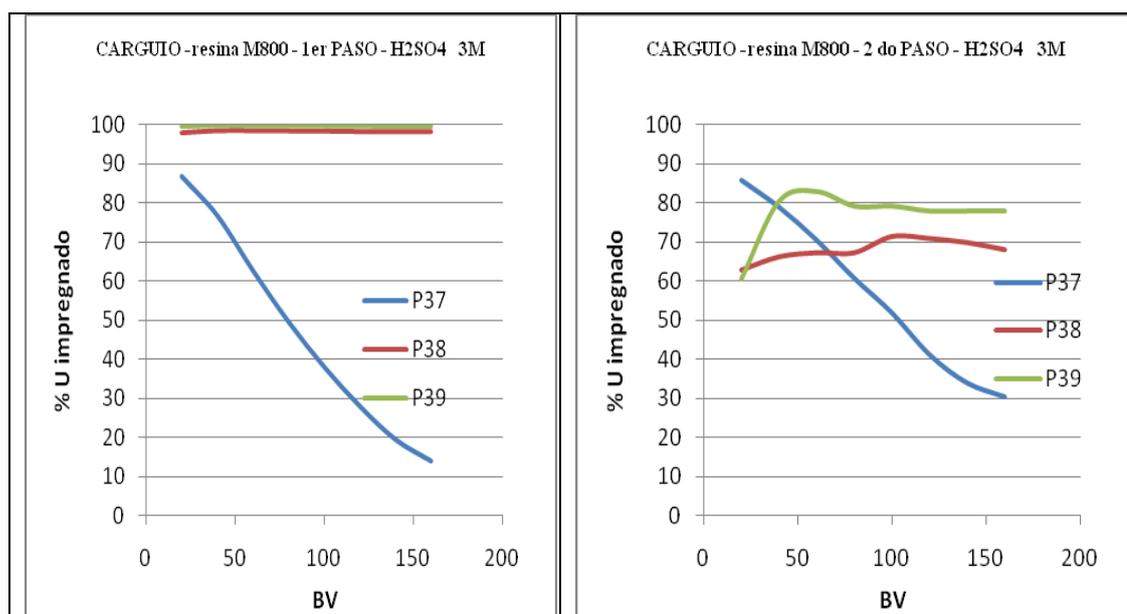
Figura N° 3.33 Carguío en la resina M-500 a condiciones optimizadas-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Tabla N° 3.29 Elución a flujo 20 BV y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 4M (Pruebas optimizadas)

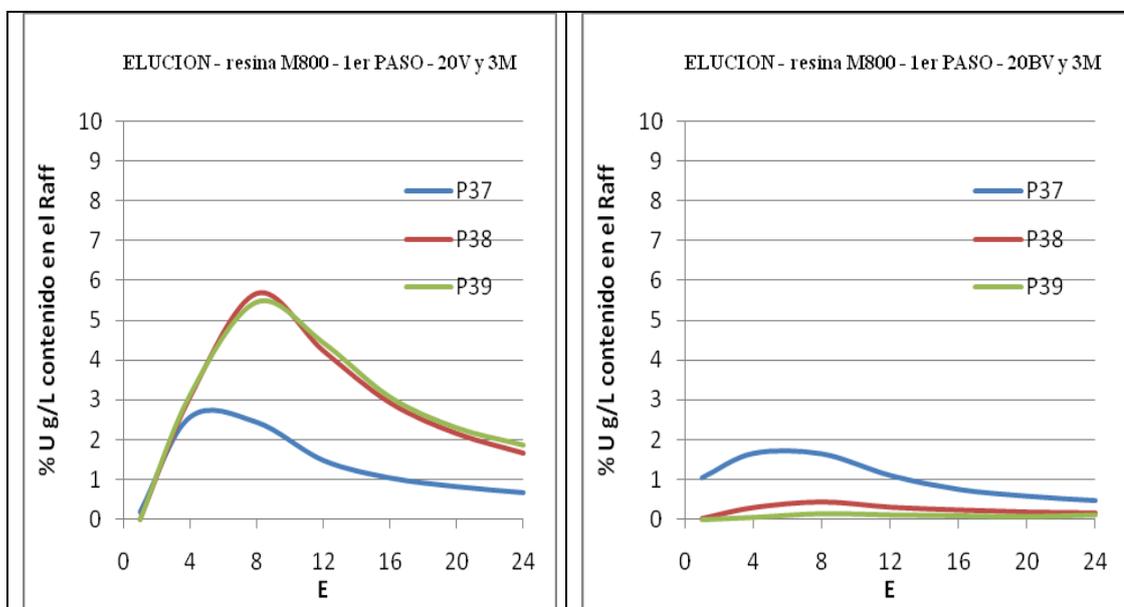
ELUCION						
PRUEBA 37			PRUEBA 38		PRUEBA 39	
U g/L DESPUES DE ELUIR						
E	1 er PASO	2 do PASO	1 er PASO	2do PASO	1 er PASO	2 do PASO
1	0.19	1.05	0.00	0.01	0.00	0.00
4	2.58	1.66	3.07	0.28	3.13	0.06
8	2.45	1.65	5.67	0.42	5.45	0.15
12	1.49	1.11	4.23	0.29	4.43	0.12
16	1.05	0.76	2.93	0.22	3.07	0.10
20	0.83	0.59	2.16	0.17	2.30	0.08
24	0.68	0.48	1.67	0.15	1.87	0.12
	9.26	7.30	19.74	1.53	20.25	0.63

**Nota:**

E1: Es la ley del Raffinate después de pasar 12.5 ml de ácido sulfúrico a 4M

E4: Es la ley del Raffinate después de pasar 50 ml de ácido sulfúrico a 4M

E8: Es la ley del Raffinate después de pasar 100 ml de ácido sulfúrico a 4M, y así sucesivamente hasta E24.

Figura N° 3.34 Elución en la resina M-800 a condiciones optimizadas-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

### 3.2.2 Pruebas utilizando ácido Nítrico en la Elución.

Las pruebas de intercambio iónico son realizadas bajo un programa de pruebas donde varían la velocidad de solución pasante a través de la resina, desde 10, 20 y 30 BV (siendo cada BV = 50 ml; por lo cual 100 BV es 5 litros) y la concentración de ácido nítrico en la Elución de 0.5 y 0.75M, usando la resina M800. En la tabla N° 3.30 se detalla el programa de pruebas a ser llevado a cabo.

Tabla N° 3.30 Programa de pruebas –Carguío y Elución con HNO<sub>3</sub> A 0.75 y 0.5M

<b>TIPO DE PRUEBAS IX</b>	<b>N° PRUEBA</b>	<b>CONDICIONES</b>
Variando el flujo pasante y elución con ácido a 0.75M.	Prueba 40	1erPaso/2do Paso/ Elución 10BV /0.75M
	Prueba 41	1erPaso/2do Paso/Elución 20 BV /0.75M
	Prueba 42	1erPaso/2do Paso/Elución 30 BV /0.75M
Variando el flujo pasante y elución con ácido a 0.50M	Prueba 43	1erPaso/2do Paso/Elución 10 BV /0.50M
	Prueba 44	1erPaso/2do Paso/Elución 20 BV /0.50M
	Prueba 45	1erPaso/2do Paso/Elución 30 BV /0.50M

Tabla N° 3.31 Variando el flujo pasante y Elución con HNO<sub>3</sub> a 0.75 M

<b>PRUEBA 40</b>			<b>PRUEBA 41</b>			<b>PRUEBA 42</b>		
<b>% U IMPREGNADO</b>								
<b>BV</b>	<b>1ER PASO</b>	<b>2DO PASO</b>	<b>BV</b>	<b>1ER PASO</b>	<b>2DO PASO</b>	<b>BV</b>	<b>1ER PASO</b>	<b>2DO PASO</b>
10	94.07	98.22	20	80.83	83.83	30	87.76	89.99
50	53.49	93.69	40	88.70	88.17	60	72.24	75.32
100	17.22	64.48	60	77.44	77.78	90	51.90	57.41
110	13.88	57.93	80	63.71	67.55	120	35.71	43.91
120	10.53	46.64	100	49.52	56.78	150	25.24	32.30
130	9.57	37.92	120	37.02	47.49			
140	7.66	32.66	140	29.33	40.11			
150	7.66		160	19.71	40.27			

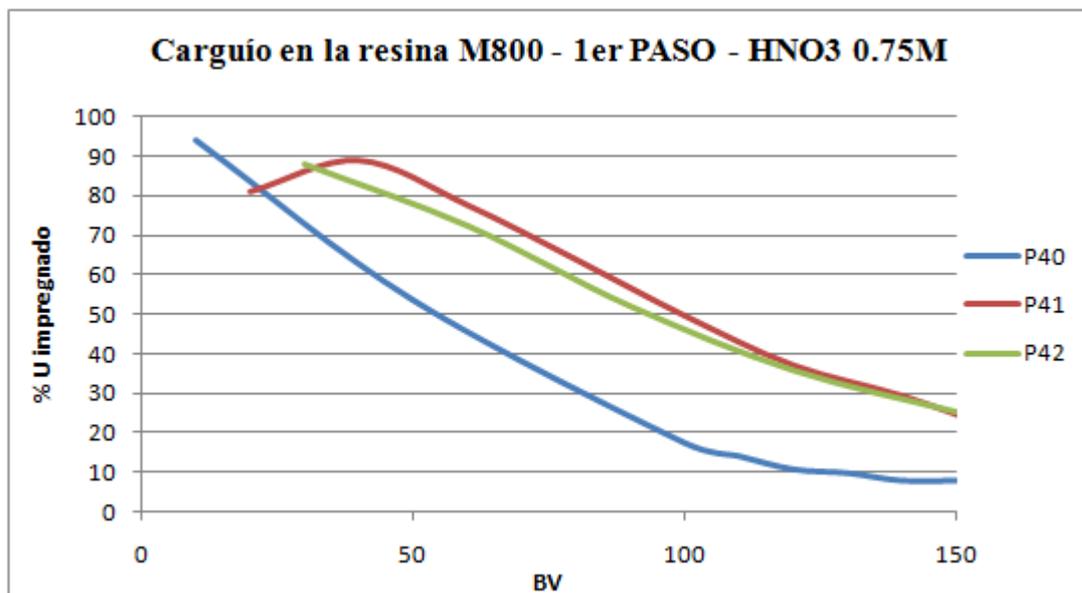


Figura N° 3.35 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 1 er PASO-HNO<sub>3</sub>

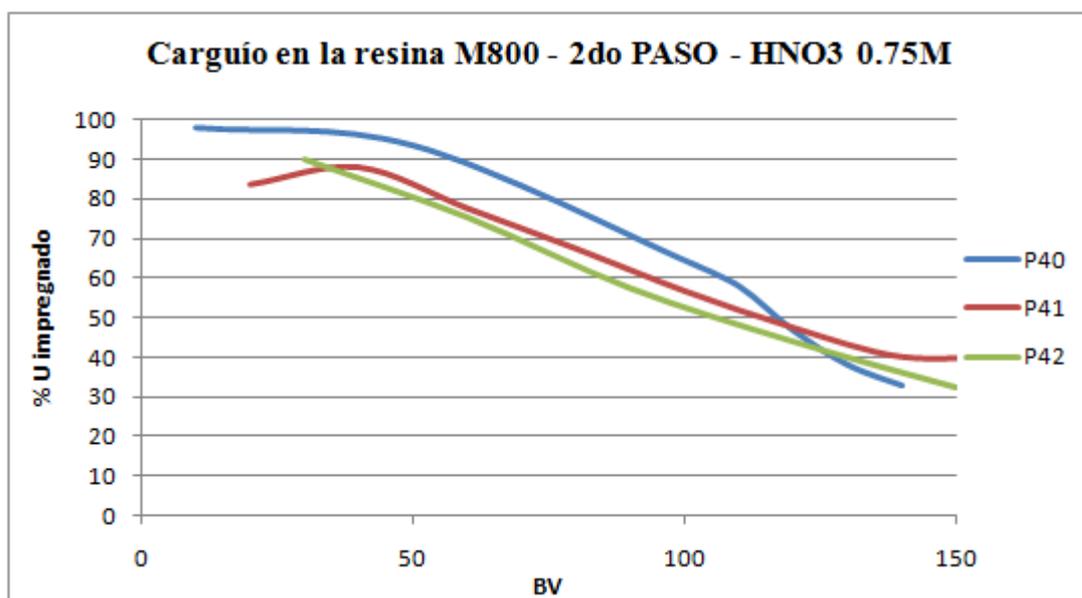
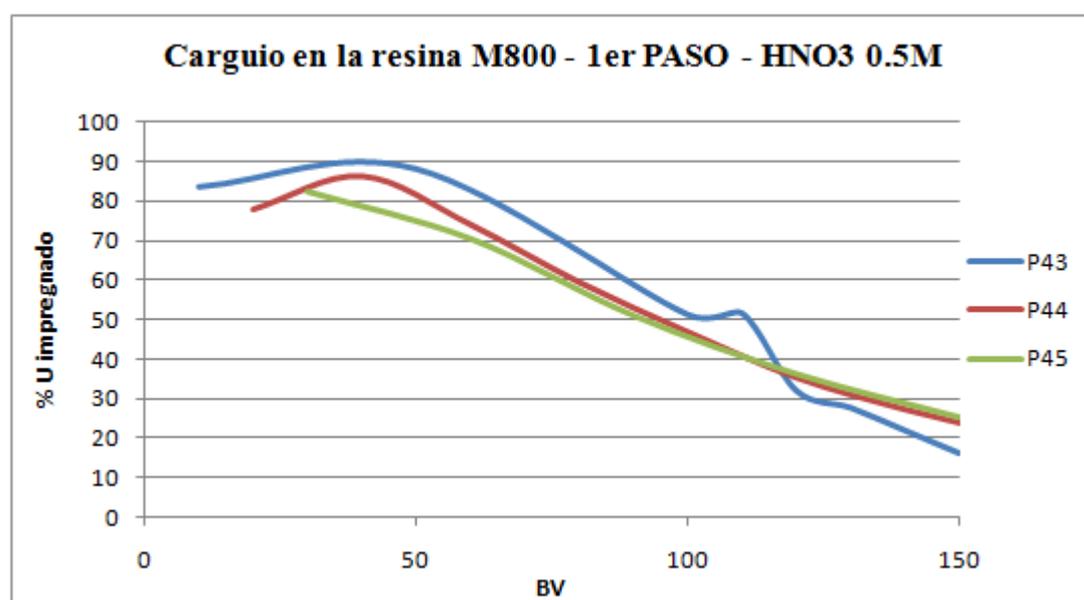


Figura N° 3.36 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 2 do PASO-HNO<sub>3</sub>

Tabla N° 3.32 Variando el flujo pasante y Elución con HNO<sub>3</sub> a 0.5 M

PRUEBA 43			PRUEBA 44			PRUEBA 45		
% U IMPREGNADO								
BV	1 er PASO	2 do PASO	BV	1 er PASO	2 do PASO	BV	1 er PASO	2 do PASO
10	83.78	63.19	20	77.65	94.38	30	82.63	82.17
50	88.33	88.03	40	86.06	89.74	60	70.68	70.76
100	51.44	56.35	60	73.84	78.47	90	51.20	52.89
110	51.83	49.74	80	59.28	66.30	120	36.36	38.65
120	32.21	42.04	100	46.73	54.25	150	25.36	30.16
130	27.88	35.41	120	35.18	43.47			
140	22.12	33.17	140	27.14	34.38			
150	16.35		160	20.60	28.78			

Figura N° 3.37 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 1 er PASO-HNO<sub>3</sub>

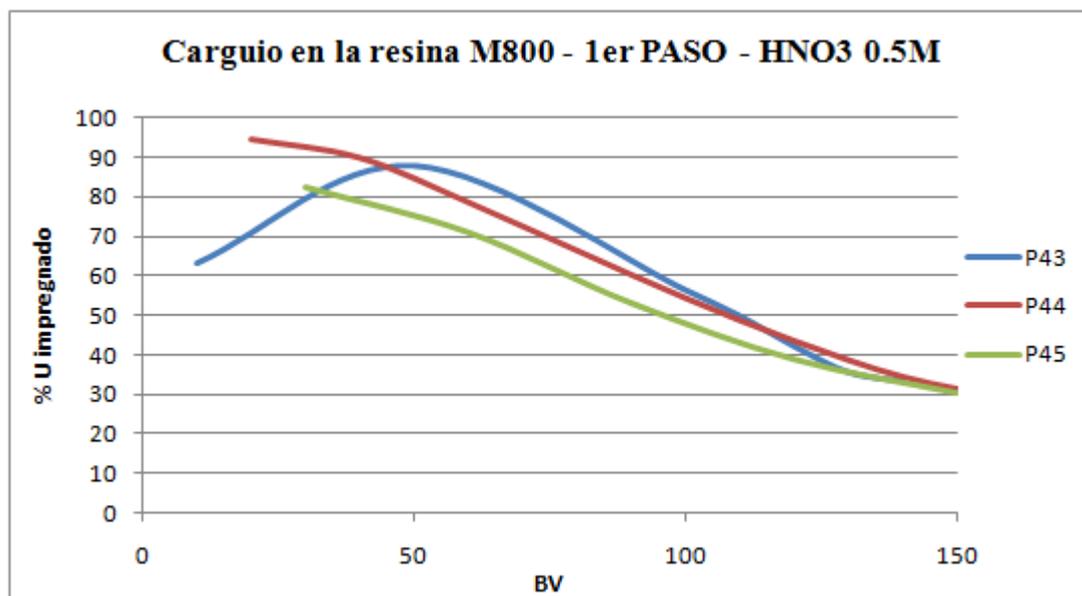


Figura N° 3.38 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 2 do PASO-HNO<sub>3</sub>

Luego de impregnar de uranio en la resina para cada prueba procedimos a la elución de acuerdo al programa de pruebas; a continuación mostramos los dos mejores resultados.

Tabla N° 3.33 Los mejores resultados de las pruebas, Elución con HNO<sub>3</sub> a 0.75M

	<b>PRUEBA 41</b>	<b>PRUEBA 40</b>
	<b>U g/L DESPUES DE ELUIR</b>	
<b>E</b>	<b>1 er PASO</b>	<b>2 do PASO</b>
1	0.19	0.09
4	0.30	0.09
8	3.48	2.07
12	4.30	3.33
16	2.80	2.26
20	1.93	1.48
24	1.41	1.05
	14.41	10.37

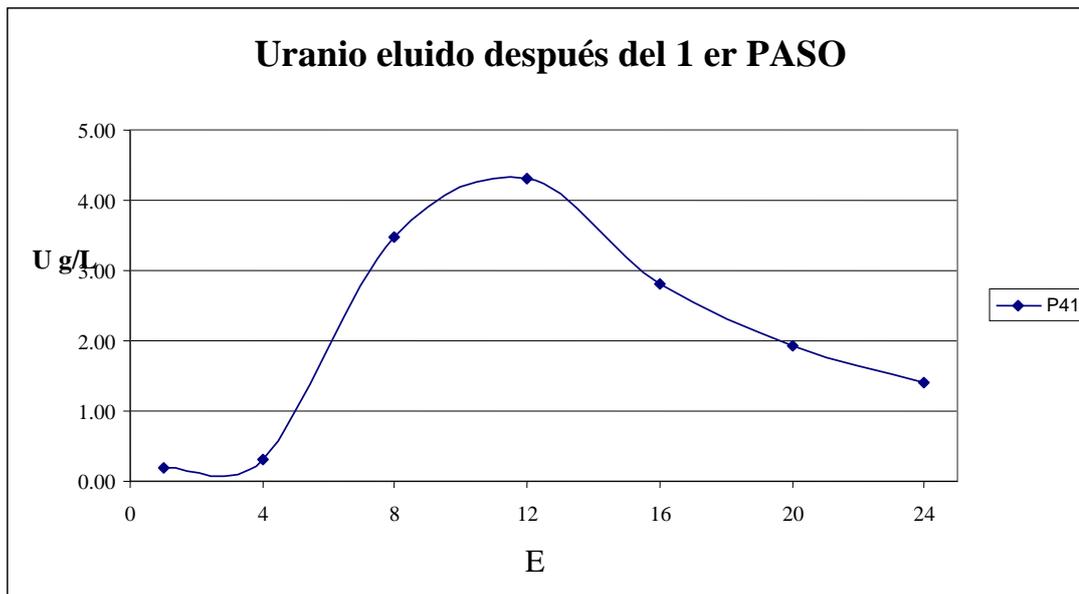


Figura N° 3.39 Uranio en g/L luego de la elución de los 1 er PASO- 0.5M

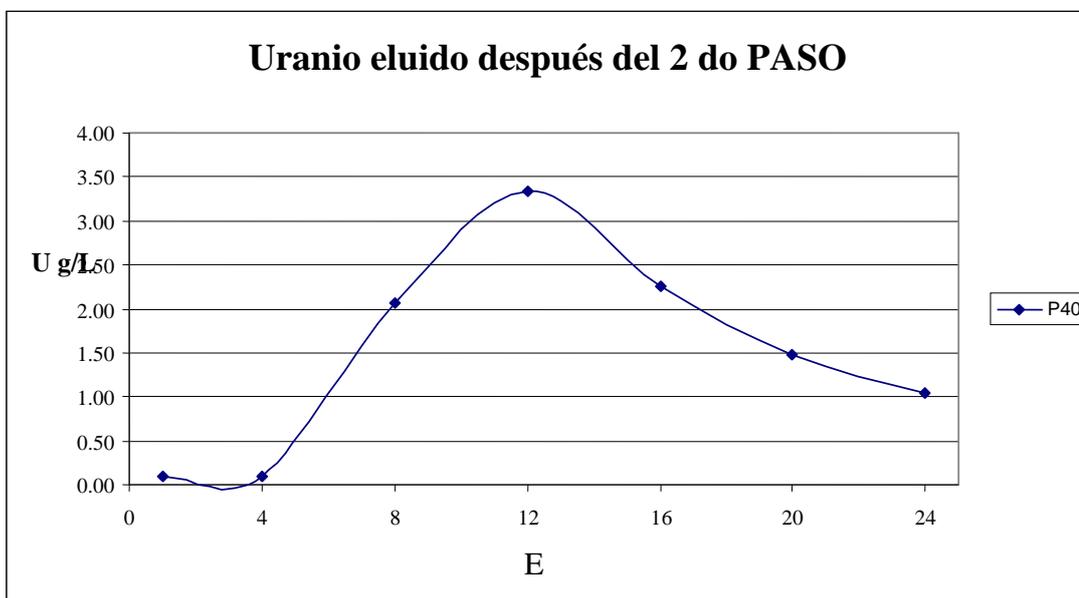


Figura N° 3.40 Uranio en g/L luego de la elución de los 2 do PASO-0.5M

Con los resultados obtenidos procedemos a optimizar la prueba con ácido nítrico. En la Tabla N° 3.34 se detalla el programa de pruebas a ser llevado a cabo.

Tabla N° 3.34 Programa de pruebas con parámetros optimizados – HNO<sub>3</sub>

TIPO DE PRUEBAS IX	N° PRUEBA	CONDICIONES
Flujo pasante y elución con ácido Optimizados, pH 2 y 2.5	Prueba 46	1erPaso/2do Paso10BV /Eluc. 0.75M
	Prueba 47	1erPaso/2do Paso10BV /Eluc. 0.75M/pH=2
	Prueba 48	1erPaso/2doPaso10BV/Eluc.0.75M/pH=2.5

Tabla N° 3.35 Carguío de la resina a flujo 10BV y Elución con HNO<sub>3</sub> a 0.5M

PRUEBA 46			PRUEBA 47			PRUEBA 48		
% U IMPREGNADO								
BV	1 er PASO	2 do PASO	BV	1 er PASO	2 do PASO	BV	1 er PASO	2 do PASO
10	83.35	78.27	10	83.68	0.00	10	30.48	87.82
50	85.98	88.73	50	99.35	90.96	50	98.24	99.30
100	49.51	56.33	100	99.42	91.81	100	98.69	99.30
110	41.67	49.32	110	99.42	92.37	110	98.70	99.30
120	38.73	42.48	120	99.43	92.09	120	98.75	99.30
130	27.45	34.72	130	99.38	92.94	130	98.79	99.30
140	22.55	33.65	140	99.34	92.94	140	98.75	99.30
150	15.20		150	99.29		150	98.79	99.30

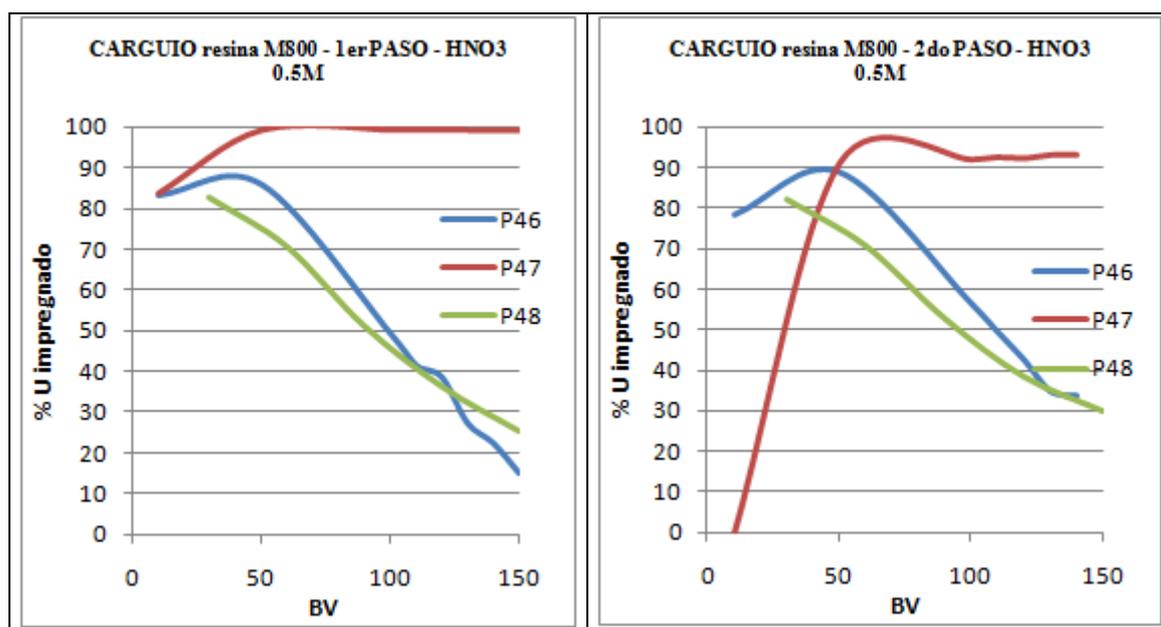
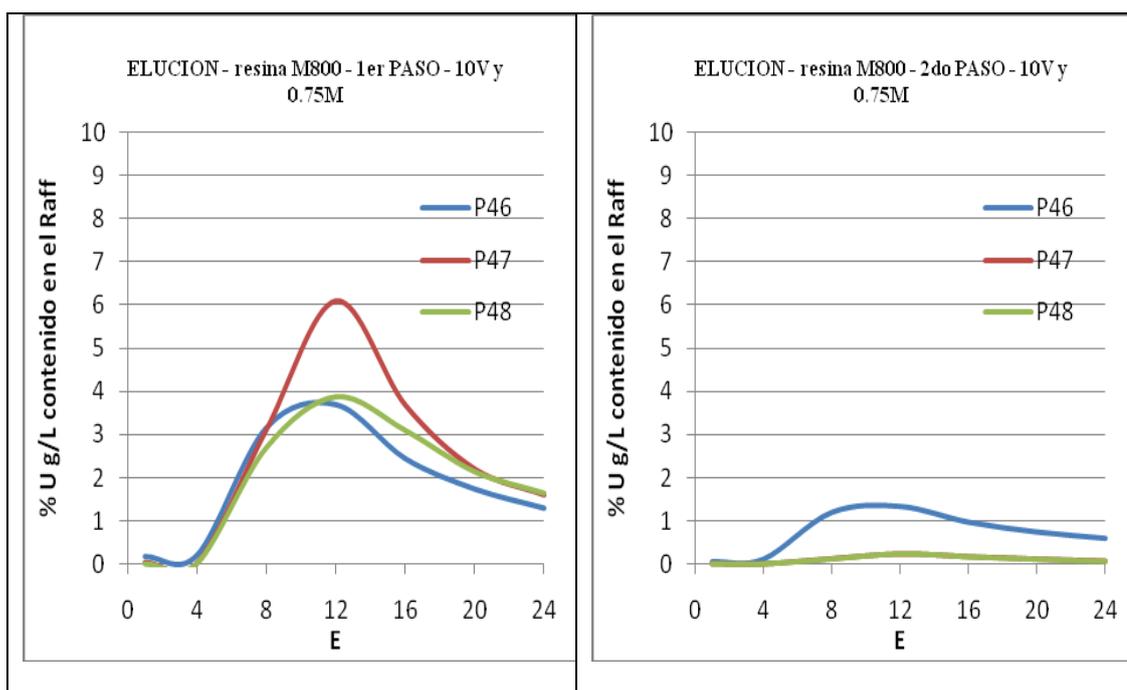


Figura N° 3.41 Carguío en la resina M-800 a condiciones optimizadas-HNO<sub>3</sub>

Tabla N° 3.36 Elución a flujo 10BV y HNO<sub>3</sub> a 0.5 M (Pruebas optimizadas)

ELUCION						
	PRUEBA 46		PRUEBA 47		PRUEBA 48	
	U g/L DESPUES DE ELUIR					
E	1er PASO	2 do PASO	1er PASO	2 do PASO	1er PASO	2 do PASO
1	0.19	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00
4	0.22	0.11	0.01	0.00	0.01	0.00
8	3.15	1.21	3.10	0.13	2.70	0.12
12	3.68	1.35	6.08	0.25	3.88	0.24
16	2.44	0.98	3.67	0.18	3.10	0.17
20	1.74	0.75	2.19	0.12	2.14	0.11
24	1.30	0.60	1.59	0.07	1.64	0.06
	12.72	5.05	16.67	0.75	13.47	0.70

Figura N° 3.42 Elución en la resina M-800 a condiciones optimizadas-HNO<sub>3</sub>

### 3.2.3 Pruebas utilizando Cloruro de Sodio en la Elución.

Las pruebas de intercambio iónico son realizadas bajo un programa de pruebas donde varían la velocidad de solución pasante a través de la resina, desde 10, 20 y 30 BV (siendo cada BV = 50 ml; por lo cual 100 BV es 5 litros) y la concentración de cloruro de sodio en la Elución de 2M, usando la resina M800. En la tabla N° 3.37 se detalla el programa de pruebas a ser llevado a cabo.

Tabla N° 3.37 Programa de pruebas – Carguío y Elución con NaCl a 2M

<b>TIPO DE PRUEBAS IX</b>	<b>N° PRUEBA</b>	<b>CONDICIONES</b>
Variando el flujo pasante y elución con NaCl a 2M.	Prueba 49	1er Paso/ 2do Paso / Elución 10 BV / 2M
	Prueba 50	1erPaso/ 2do Paso / Elución 20 BV / 2M
	Prueba 51	1erPaso/ 2do Paso / Elución 30 BV / 2M

Tabla N° 3.38 Variando el flujo pasante y Elución con NaCl a 2M

<b>PRUEBA 49</b>			<b>PRUEBA 50</b>			<b>PRUEBA 51</b>		
<b>% U IMPREGNADO</b>								
<b>BV</b>	<b>1 er PASO</b>	<b>2 do PASO</b>	<b>BV</b>	<b>1 er PASO</b>	<b>2 do PASO</b>	<b>BV</b>	<b>1 er PASO</b>	<b>2 do PASO</b>
10	73.55	97.65	20	36.59	77.45	30	43.78	54.31
50	79.71	91.67	40	71.93	85.89	60	52.08	65.72
100	41.29	59.43	60	56.51	74.05	90	35.82	46.39
110	34.83	52.39	80	43.41	61.46	120	22.89	31.32
120	29.85	46.12	100	33.66	48.34	150	16.92	24.45
130	25.37	37.76	120	25.85	38.86			
140	25.37	34.55	140	20.00	31.34			
150	17.91		160	13.66	23.57			

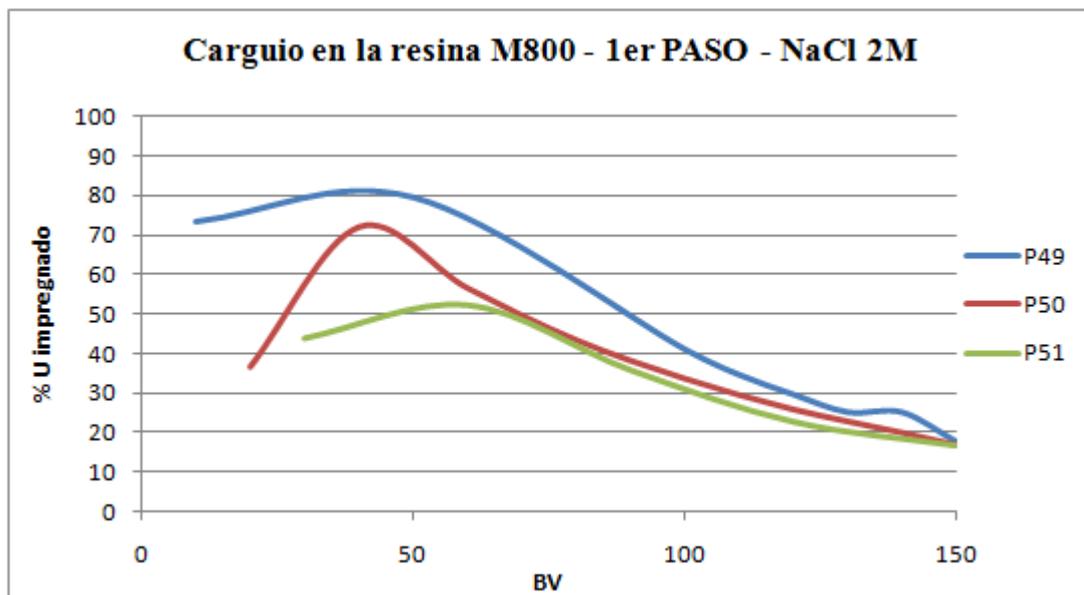


Figura N° 3.43 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 1 er PASO-NaCl

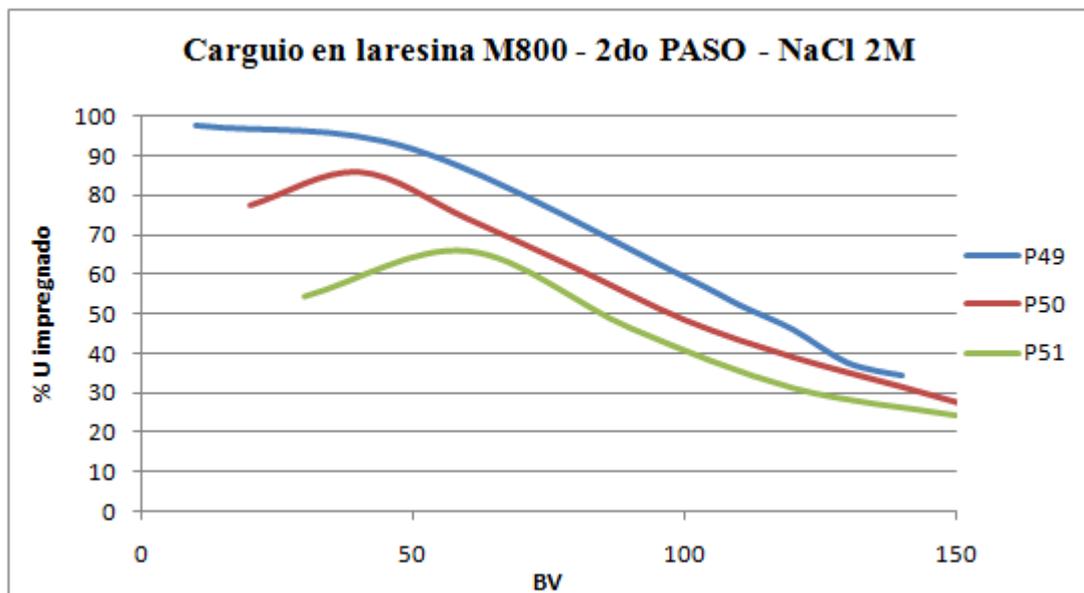


Figura N° 3.44 Porcentaje de U impregnado en la resina para los 2 do PASO-NaCl

Luego de impregnar de uranio en la resina para cada prueba procedimos a la elución de acuerdo al programa de pruebas.

Tabla N° 3.39 Elución con NaCl a 2M.

	PRUEBA 49		PRUEBA 50		PRUEBA 51	
	U g/L DESPUES DE ELUIR					
E	1 er PASO	2 do PASO	1 er PASO	2 do PASO	1 er PASO	2 do PASO
1	0.18	0.06	0.19	0.11	0.18	0.13
4	1.07	0.30	0.46	0.88	1.46	0.57
8	3.90	1.37	3.38	2.21	3.28	1.79
12	2.11	0.79	1.87	1.34	1.80	1.09
16	1.26	0.56	1.24	0.92	1.14	0.75
20	0.80	0.42	0.90	0.62	0.82	0.59
24	0.61	0.32	0.64	0.49	0.62	0.46
	9.93	3.82	8.68	6.57	9.30	5.38

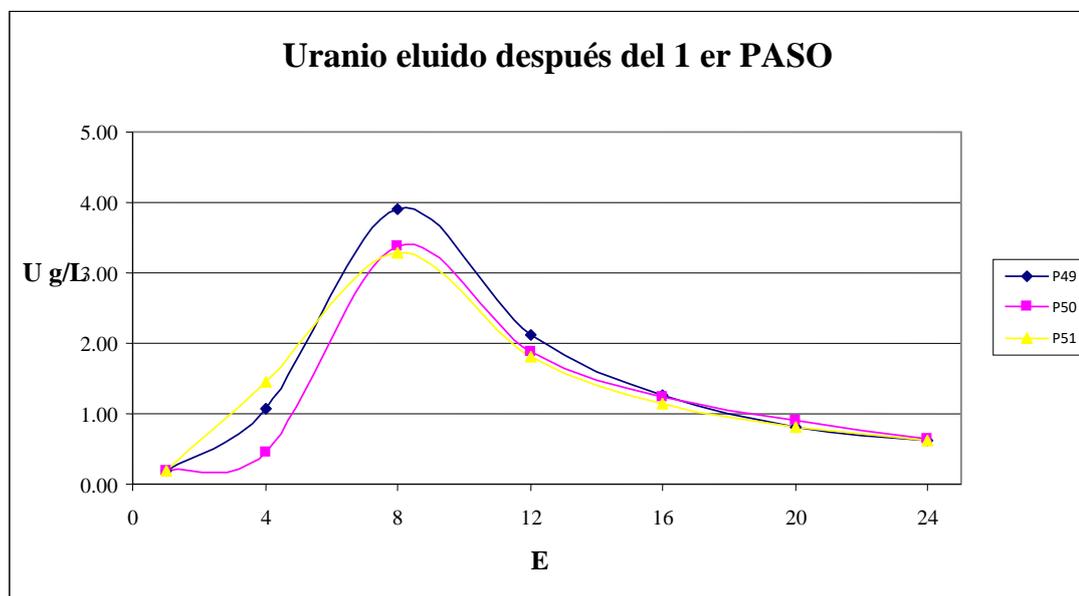


Figura N° 3.45 Uranio en g/L luego de la elución de los 1 er PASO-NaCl

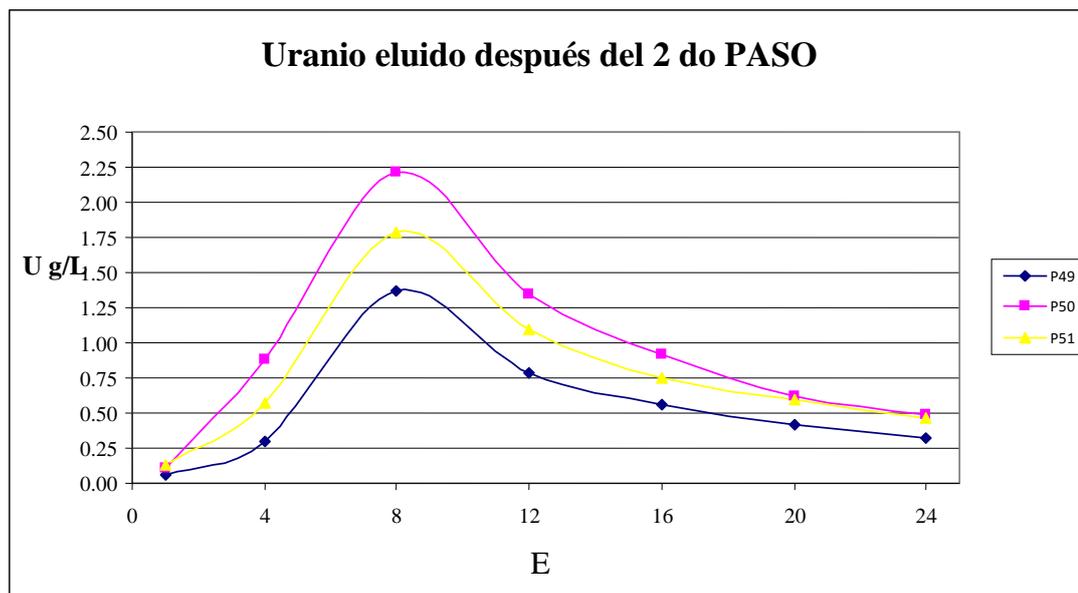


Figura N° 3.46 Uranio en g/L luego de la elución de los 2 do PASO -NaCl

Con los resultados obtenidos procedemos a optimizar la prueba con cloruro de sodio. En la tabla N° 3.40 se detalla el programa de pruebas a ser llevado a cabo.

Tabla N° 3.40 Pruebas con parámetros optimizados -NaCl

<b>TIPO DE PRUEBAS</b>	<b>N°</b>	<b>CONDICIONES</b>
IX Flujo pasante y elución con NaCl Optimizados, pH 2 y 2.5	Prueba 52	1er Paso / 2do Paso 10BV / Eluc. 2M
	Prueba 53	1er Paso / 2do Paso 10BV / Eluc. 2M/pH=2
	Prueba 54	1er Paso/2doPaso 10BV/ Eluc. 2M/pH= 2.5

Tabla N° 3.41 Carguío en resina con Flujo pasante 10BV y elución con NaCl a 2M

PRUEBA 52			PRUEBA 53			PRUEBA 54		
% U IMPREGNADO								
BV	1 er PASO	2 do PASO	BV	1 er PASO	2 do PASO	BV	1 er PASO	2 do PASO
10	45.04	0.00	10	57.26	0.00	10	23.85	0.00
50	79.74	87.57	50	98.44	93.60	50	89.05	94.83
100	70.56	79.47	100	97.96	92.13	100	88.08	94.83
110	66.36	77.09	110	97.85	93.97	110	88.19	96.19
120	62.91	74.34	120	97.81	94.63	120	87.44	96.27
130	58.04	71.70	130	97.72	94.78	130	85.30	96.53
140	60.03	70.32	140	97.65	90.73	140	86.98	96.78
150	63.13		150	97.60		150	86.56	

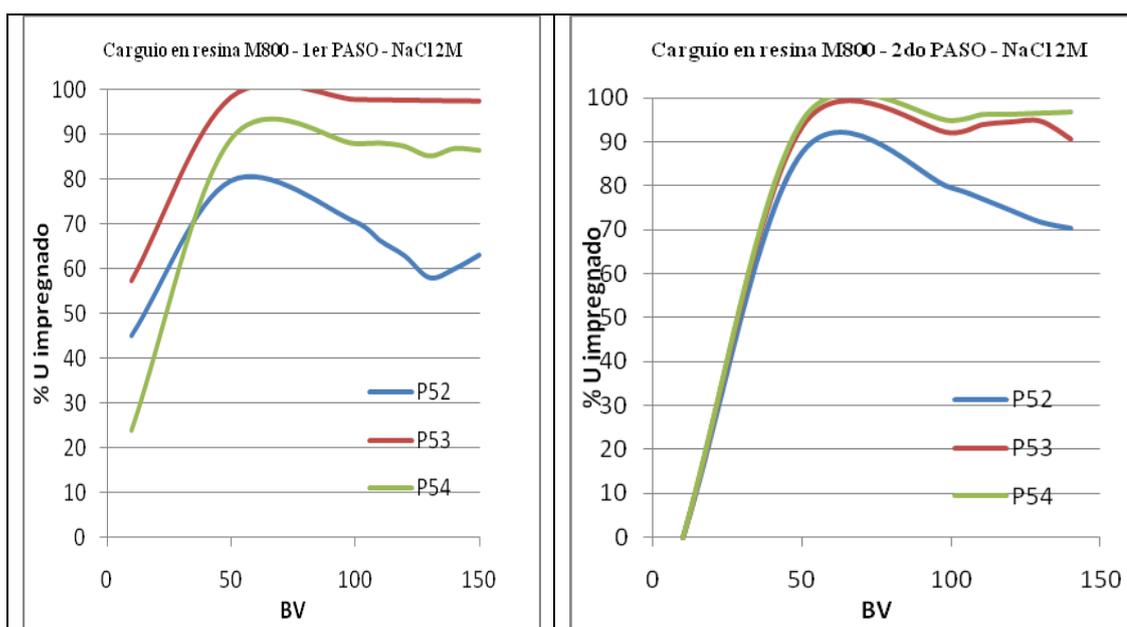


Figura N° 3.47 Carguío en la resina M-800 a condiciones optimizadas -NaCl

Tabla N° 3.42 Elución a flujo 10BV y NaCl a 2M (Pruebas optimizadas)

	PRUEBA 52		PRUEBA 53		PRUEBA 54	
	U g/L DESPUES DE ELUIR					
E	1 er PASO	2 do PASO	1 er PASO	2 do PASO	1 er PASO	2 do PASO
1	0.06	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00
4	0.17	0.09	0.45	0.01	0.33	0.01
8	3.28	1.11	2.04	0.42	1.46	0.28
12	2.00	0.65	1.67	0.33	1.12	0.26
16	1.33	0.46	1.20	0.24	0.85	0.21
20	1.01	0.32	0.99	0.18	0.71	0.15
24	0.72	0.23	0.80	0.12	0.54	0.12
	8.57	2.87	7.18	1.31	5.02	1.03

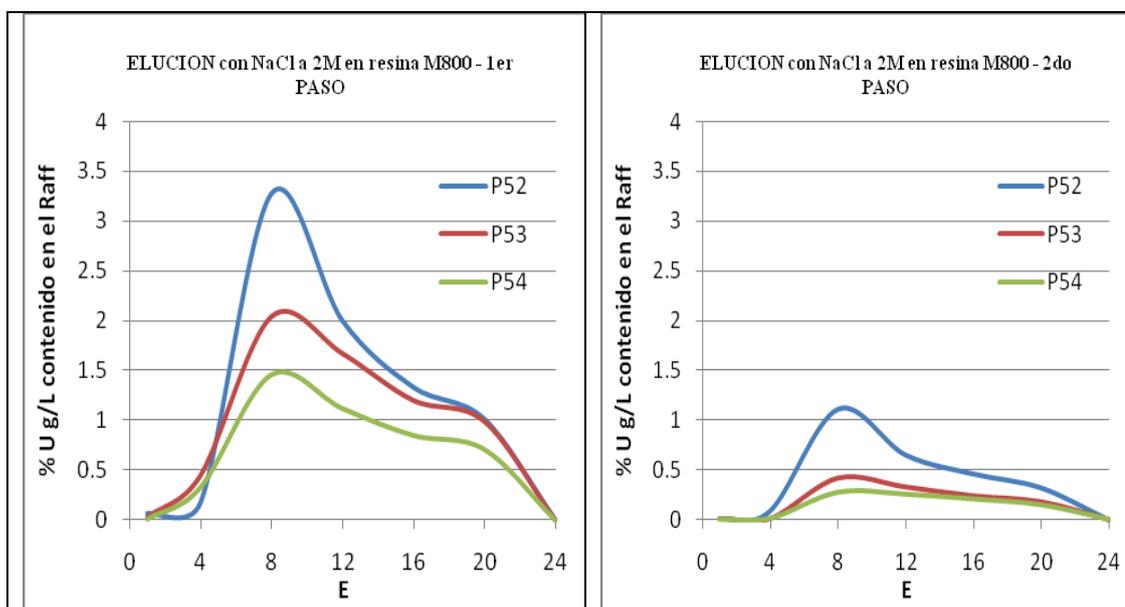


Figura N° 3.48 Elución en la resina M-800 a condiciones optimizadas-NaCl

## CONCLUSIONES

En la resina M-500, del estudio de la variación del flujo pasante a través de la resina se desprende que los mejores valores de Uranio cargado en la resina se obtienen a una velocidad de paso lenta (10BV), Véase Figura N°. 3.9 usando el eluente  $H_2SO_4$ . Usando el eluente  $HNO_3$  se obtiene mejores carguíos de U sobre la resina a 10 BV, Véase Figura N°. 3.17. Usando el eluente NaCl 2M no ocurre el mismo efecto de altos valores de Uranio impregnados en la resina, logrando mejores valores de Uranio a 30 BV, Véase Figura 3.23.

Cuando hicimos la elución con ácido sulfúrico a 4M como eluente, se obtuvo un máximo de **24.90 g/L** en Uranio para el 1er PASO y de **18.85 g/L** en Uranio para el 2do PASO. Asimismo, cuando se realiza la elución con ácido nítrico como eluente se obtuvo un máximo de **17.90 g/L** en Uranio total para el 1er PASO y de **2.40 g/L** en Uranio para el 2do PASO. Por último, se obtuvo la elución con cloruro de sodio se obtuvo un máximo de **11.19 g/L** en Uranio total para el 1er PASO y de **3.44 g/L** en Uranio para el 2do PASO.

Podemos afirmar que el eluente mas eficaz para la resina M-500 es  $H_2SO_4$ . Le siguen en efectividad el  $HNO_3$  y el NaCl, en ese orden.

En la resina M-800, del estudio de la variación del flujo pasante a través de la resina se desprende que los mejores valores de Uranio cargado en la resina se obtienen a una velocidad de paso (20BV), Véase Figura N°. 3.33 usando el eluente  $H_2SO_4$  a 3M. Usando el eluente  $HNO_3$  se obtiene mejores carguíos de U sobre la resina a 10 BV, Véase Figura N°.

3.41. Usando el eluente NaCl 2M no ocurriendo el mismo efecto de altos valores de impregnados en la resina, siendo los mejores valores logrados a 10 BV, Véase Figura 3.47.

Al realizar la elución con ácido sulfúrico como eluente, se obtuvo un máximo de 20.25 g/L en Uranio para el 1er PASO y de 7.28 g/L en Uranio total para el 2do PASO (Véase Tabla N°. 3.29). Asimismo, cuando se realiza la elución con ácido nítrico como eluente se obtuvo un máximo de 16.67g/L en Uranio para el 1er PASO y de 5.05g/L en Uranio para el 2do PASO (Véase Tabla N°. 3.36). Por último cuando se realiza la elución con cloruro de sodio se obtuvo un máximo de 8.57g/L en Uranio total para el 1er PASO y de 2.87g/L en uranio para el 2do PASO.

De acuerdo a como se avanzan las pruebas se puede identificar que la resina M800 luego de la quinta prueba no adsorbe con facilidad el Uranio llegando a tener porcentajes menores al 80% de uranio adsorbido y disminuyendo cada vez mas.

El efecto del Cloro es dañino para el carguío y la elución por ello se obtienen los más bajos valores en el carguíos y elución del Uranio cuando se usan el cloruro de sodio, se debe hacer seguimiento del cloro como cloruros en la operación industrial para evitar su efecto dañino para el proceso.

De acuerdo a la evaluación realizada se puede concluir que: según el Uranio cargado en el primer PASO y en el segundo PASO se concluye que con la resina M500 y el acido sulfúrico como eluente a las condiciones de flujo pasante de 20 BV y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3M sin variar el pH de las soluciones acidas se pueden lograr excelentes resultados usando IX como tecnología de recuperación de Uranio.

## CONCLUSIONES

En la resina M-500, del estudio de la variación del flujo pasante a través de la resina se desprende que los mejores valores de Uranio cargado en la resina se obtienen a una velocidad de paso lenta (10BV), Véase Figura N°. 3.9 usando el eluente  $H_2SO_4$ . Usando el eluente  $HNO_3$  se obtiene mejores carguíos de U sobre la resina a 10 BV, Véase Figura N°. 3.17. Usando el eluente NaCl 2M no ocurre el mismo efecto de altos valores de Uranio impregnados en la resina, logrando mejores valores de Uranio a 30 BV, Véase Figura 3.23.

Cuando hicimos la elución con ácido sulfúrico a 4M como eluente, se obtuvo un máximo de **24.90 g/L** en Uranio para el 1er PASO y de **18.85 g/L** en Uranio para el 2do PASO. Asimismo, cuando se realiza la elución con ácido nítrico como eluente se obtuvo un máximo de **17.90 g/L** en Uranio total para el 1er PASO y de **2.40 g/L** en Uranio para el 2do PASO. Por último, se obtuvo la elución con cloruro de sodio se obtuvo un máximo de **11.19 g/L** en Uranio total para el 1er PASO y de **3.44 g/L** en Uranio para el 2do PASO.

Podemos afirmar que el eluente mas eficaz para la resina M-500 es  $H_2SO_4$ . Le siguen en efectividad el  $HNO_3$  y el NaCl, en ese orden.

En la resina M-800, del estudio de la variación del flujo pasante a través de la resina se desprende que los mejores valores de Uranio cargado en la resina se obtienen a una velocidad de paso (20BV), Véase Figura N°. 3.33 usando el eluente  $H_2SO_4$  a 3M. Usando el eluente  $HNO_3$  se obtiene mejores carguíos de U sobre la resina a 10 BV, Véase Figura N°.

3.41. Usando el eluente NaCl 2M no ocurriendo el mismo efecto de altos valores de impregnados en la resina, siendo los mejores valores logrados a 10 BV, Véase Figura 3.47.

Al realizar la elución con ácido sulfúrico como eluente, se obtuvo un máximo de 20.25 g/L en Uranio para el 1er PASO y de 7.28 g/L en Uranio total para el 2do PASO (Véase Tabla N°. 3.29). Asimismo, cuando se realiza la elución con ácido nítrico como eluente se obtuvo un máximo de 16.67g/L en Uranio para el 1er PASO y de 5.05g/L en Uranio para el 2do PASO (Véase Tabla N°. 3.36). Por último cuando se realiza la elución con cloruro de sodio se obtuvo un máximo de 8.57g/L en Uranio total para el 1er PASO y de 2.87g/L en uranio para el 2do PASO.

De acuerdo a como se avanzan las pruebas se puede identificar que la resina M800 luego de la quinta prueba no adsorbe con facilidad el Uranio llegando a tener porcentajes menores al 80% de uranio adsorbido y disminuyendo cada vez mas.

El efecto del Cloro es dañino para el carguío y la elución por ello se obtienen los más bajos valores en el carguíos y elución del Uranio cuando se usan el cloruro de sodio, se debe hacer seguimiento del cloro como cloruros en la operación industrial para evitar su efecto dañino para el proceso.

De acuerdo a la evaluación realizada se puede concluir que: según el Uranio cargado en el primer PASO y en el segundo PASO se concluye que con la resina M500 y el acido sulfúrico como eluente a las condiciones de flujo pasante de 20 BV y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3M sin variar el pH de las soluciones acidas se pueden lograr excelentes resultados usando IX como tecnología de recuperación de Uranio.

# ANEXOS

- Anexo 1:** Resultados de Análisis Químico (ICP) – Muestra de Soluciones
- Anexo 2:** Resultados de las pruebas de Elución Resina M-500
- Anexo 3:** Resultados de las pruebas de Elución Resina M-800

# **ANEXO 1**

LabjobNo :	ENE3012.R11					
DespatchNo :	CARTA DEL 14-01-2011					
CLIENT :	Global Gold S.A.C					
# of SAMPLES :	23					
DATE RECEIVED :	14/01/2011					
DATE FINALIZED :	22/01/2011					
PROJECT :	PROYECTO X					
CERTIFICATE COMMENTS						
	M0649	M0649	M0649	M0649	M0649	M0649
SAMPLE	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi
DESCRIPTION	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
MIN DETECTION	0.02	10	0.3	0.1	0.05	0.5
MAX DETECTION	1	1500	100	100	100	100
B4-03	0.02	813	1.6	<0.1	14.1	<0.5
	M0649	M0649	M0649	M0649	M0649	M0649
SAMPLE	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe
DESCRIPTION	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
MIN DETECTION	10	0.1	0.1	0.1	0.05	10
MAX DETECTION	1500	100	100	100	100	1500
B4-03	552	<0.1	0.4	19.2	0.88	820
	M0649	M0649	M0649	M0649	M0649	M0649
SAMPLE	Ga	K	La	Mg	Mn	Mo
DESCRIPTION	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
MIN DETECTION	1	10	0.05	10	0.2	0.1
MAX DETECTION	100	1500	100	1500	100	100
B4-03	<1	209	0.58	89	81.4	<0.1
	M0649	M0649	M0649	M0649	M0649	M0649
SAMPLE	Na	Nb	Ni	P	Pb	S
DESCRIPTION	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
MIN DETECTION	10	0.1	0.1	10	0.2	10
MAX DETECTION	1500	100	100	1500	100	1000
B4-03	111	<0.1	1.6	180	0.9	>1000
	M0649	M0649	M0649	M0649	M0649	M0649
SAMPLE	Sb	Sc	Sn	Sr	Ti	Tl
DESCRIPTION	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
MIN DETECTION	0.5	0.05	1	0.05	10	0.2
MAX DETECTION	100	100	100	50	1500	100
B4-03	<0.5	0.07	<1	7.36	<10	0.8
	M0649	M0649	M0649	M0649	M0649	
SAMPLE	V	W	Y	Zn	Zr	
DESCRIPTION	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	
MIN DETECTION	0.2	1	0.05	0.05	0.05	
MAX DETECTION	100	100	100	100	100	
B4-03	<0.2	<1	2.29	9.55	0.09	

## **ANEXO 2**

### Resina M500 y elución con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Tabla A1 Resultados de las pruebas 1, 2 y 3

	PRUEBA 1		PRUEBA 2		PRUEBA 3	
	U g/L DESPUES DE ELUIR					
E	1 ER PASO	2 DO PASO	1 ER PASO	2 DO PASO	1 ER PASO	2 DO PASO
1	0.24	0.12	0.37	5.65	0.20	0.98
4	5.58	3.55	9.48	6.38	4.73	4.08
8	5.55	5.85	5.63	3.20	5.48	4.03
12	4.30	2.63	2.88	1.53	3.80	2.60
16	4.03	1.66	2.12	0.92	2.93	1.84
20	2.90	1.44	1.22	0.66	2.36	1.50
24	2.31	1.23	1.16	0.52	1.96	1.29
	24.90	16.48	22.84	18.85	21.45	16.30

Tabla A2 Resultados de las pruebas 4, 5 y 6

	PRUEBA 4		PRUEBA 5		PRUEBA 6	
	U g/L DESPUES DE ELUIR					
E	1 ER PASO	2 DO PASO	1 ER PASO	2 DO PASO	1 ER PASO	2 DO PASO
1	0.18	0.01	0.22	0.09	0.24	0.19
4	1.83	0.17	3.40	2.53	1.68	2.44
8	5.28	1.53	4.53	2.55	4.78	3.70
12	3.55	0.87	3.15	1.78	3.08	2.53
16	2.53	0.61	2.44	1.40	2.43	2.00
20	1.96	0.51	2.03	1.19	2.00	1.63
24	1.62	0.44	1.76	1.05	1.69	1.19
	16.94	4.13	17.52	10.57	15.88	13.66

Tabla A3 Resultados de las pruebas 7, 8 y 9

	PRUEBA 7		PRUEBA 8		PRUEBA 9	
	U g/L DESPUES DE ELUIR					
E	1 ER PASO	2 DO PASO	1 ER PASO	2 DO PASO	1 ER PASO	2 DO PASO
1	0.15	0.04	0.15	0.11	0.11	0.01
4	0.49	0.32	2.42	0.21	1.25	0.10
8	5.40	2.34	7.08	2.63	7.15	1.50

12	3.88	1.56	5.13	1.87	4.55	0.98
16	2.78	1.03	3.73	1.27	3.13	0.74
20	2.15	0.88	2.80	0.91	2.19	0.54
24	1.69	0.74	2.15	0.77	1.93	0.44
	16.53	6.90	23.44	7.77	20.31	4.32

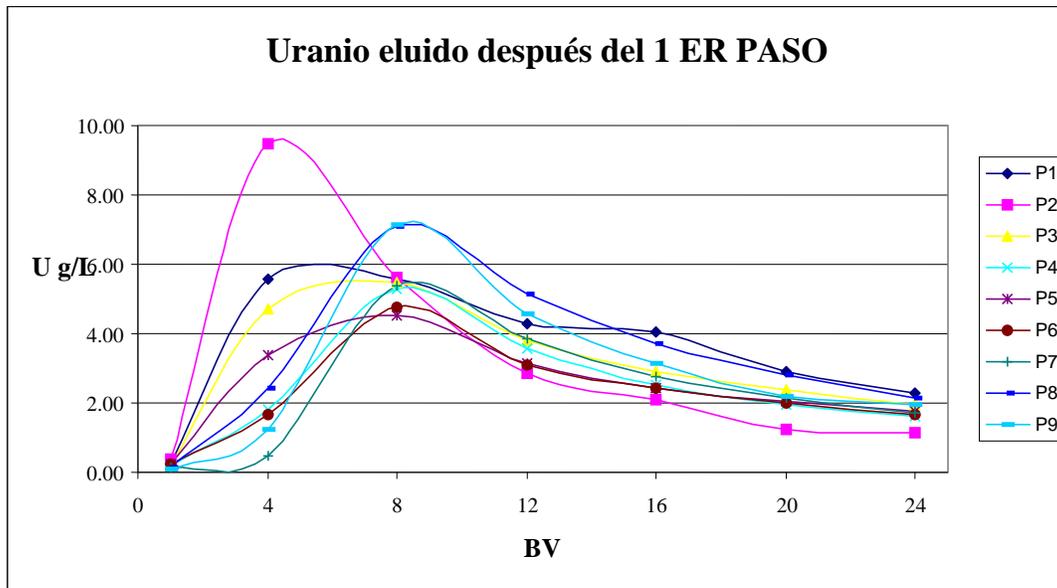


Figura A: Uranio en g/L luego de la elución de los 1 ER PASO

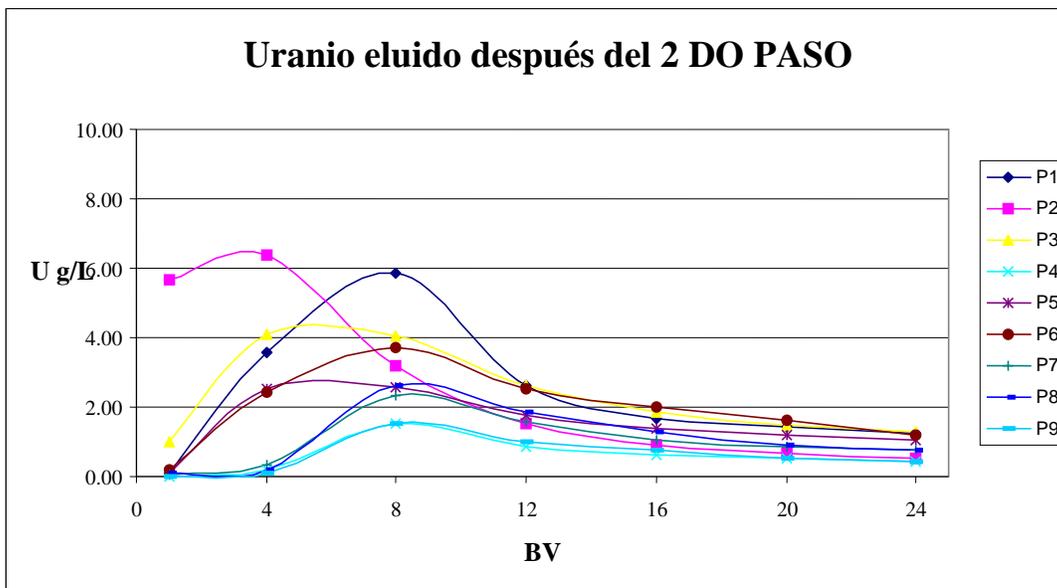


Figura B Uranio en g/L luego de la elución de los 2 DO PASO

### Resina M500 y elución con HNO<sub>3</sub>.

Tabla B.1 Resultados de las pruebas 13, 14 y 15

	PRUEBA 13		PRUEBA 14		PRUEBA 15	
	U g/L DESPUES DE ELUIR					
	E	1 ER PASO	2 DO PASO	1 ER PASO	2 DO PASO	1 ER PASO
1	0.01	0.00	0.01	0.10	0.02	0.04
4	0.05	0.01	0.05	0.00	0.10	0.04
8	3.93	0.75	4.00	0.22	3.38	0.49
12	3.83	0.49	4.10	0.16	5.33	0.31
16	2.67	0.35	2.95	0.11	3.68	0.21
20	1.84	0.30	2.24	0.09	2.57	0.16
24	1.49	0.21	1.70	0.06	1.82	0.13
	13.82	2.11	15.05	0.74	16.90	1.38

Tabla B.2 Resultados de las pruebas 16, 17 y 18

	PRUEBA 16		PRUEBA 17		PRUEBA 18	
	U g/L DESPUES DE ELUIR					
	E	1 ER PASO	2 DO PASO	1 ER PASO	2 DO PASO	1 ER PASO
1	0.04	0.00	0.02	0.00	0.03	0.00
4	0.06	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00
8	2.33	0.10	0.81	0.20	0.69	0.13
12	5.00	0.51	4.77	0.77	4.58	0.28
16	4.02	0.54	5.18	0.66	4.68	0.22
20	2.85	0.39	4.00	0.47	3.33	0.17
24	2.46	0.26	3.10	0.29	2.28	0.14
	16.76	1.81	17.90	2.40	15.60	0.94

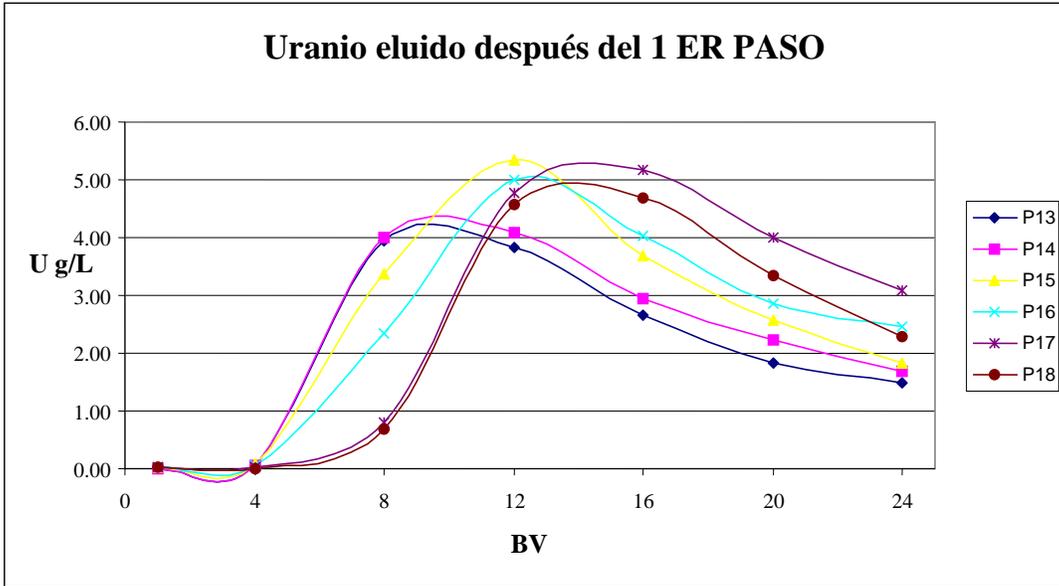


Figura C Uranio en g/L luego de la elución de los 1 ER PASO

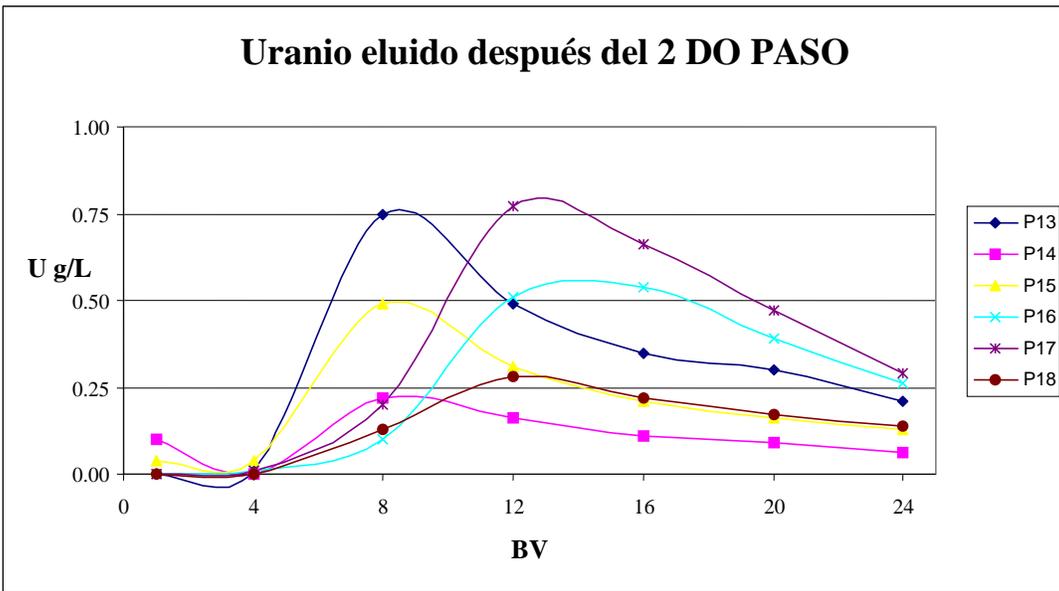


Figura D Uranio en g/L luego de la elución de los 2 DO PASO

## **ANEXO 3**

### Resina M800 y elución con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Tabla C1 Resultados de las pruebas 28, 29 y 30

<b>E</b>	<b>PRUEBA 28</b>		<b>PRUEBA 29</b>		<b>PRUEBA 30</b>	
	<b>U g/L DESPUES DE ELUIR</b>					
	<b>1 ER PASO</b>	<b>2 DO PASO</b>	<b>1 ER PASO</b>	<b>2 DO PASO</b>	<b>1 ER PASO</b>	<b>2 DO PASO</b>
1	0.23	0.24	0.03	0.00	0.04	0.00
4	7.93	4.87	3.78	0.06	2.47	0.07
8	6.42	3.93	4.60	0.15	4.10	0.38
12	5.07	3.05	3.30	0.12	2.75	0.25
16	4.45	2.16	2.44	0.08	1.92	0.19
20	4.28	1.65	1.51	0.06	1.61	0.15
24		1.38	1.24	0.05	1.26	0.13
	28.38	17.28	16.90	0.52	14.15	1.17

Tabla C2 Resultados de las pruebas 31, 32 y 33

<b>E</b>	<b>PRUEBA 31</b>		<b>PRUEBA 32</b>		<b>PRUEBA 33</b>	
	<b>U g/L DESPUES DE ELUIR</b>					
	<b>1 ER PASO</b>	<b>2 DO PASO</b>	<b>1 ER PASO</b>	<b>2 DO PASO</b>	<b>1 ER PASO</b>	<b>2 DO PASO</b>
1	0.03	0.01	0.04	0.00	0.18	0.10
4	0.66	0.24	0.93	0.16	1.28	1.18
8	4.58	0.49	5.15	0.61	2.32	1.93
12	3.05	0.36	3.30	0.42	1.49	1.10
16	2.23	0.27	2.44	0.27	1.11	0.78
20	1.76	0.20	2.01	0.20	0.80	0.61
24	1.42	0.17	1.64	0.16	0.69	0.52
	13.73	1.74	15.51	1.82	7.87	6.22

Tabla C 3 Resultados de las pruebas 34, 35 y 36

E	PRUEBA 34		PRUEBA 35		PRUEBA 36	
	U g/L DESPUES DE ELUIR					
	1 ER PASO	2 DO PASO	1 ER PASO	2 DO PASO	1 ER PASO	2 DO PASO
1	0.17	0.08	0.17	0.08	0.16	0.07
4	1.67	0.78	0.68	1.33	1.30	0.89
8	2.98	1.49	2.62	1.63	2.50	1.65
12	1.89	1.01	1.75	0.98	1.46	1.01
16	1.28	0.69	1.32	0.73	1.07	0.71
20	0.94	0.55	0.98	0.57	0.83	0.58
24	0.82	0.45	0.80	0.49	0.68	0.46
	9.75	5.05	8.32	5.81	8.00	5.37

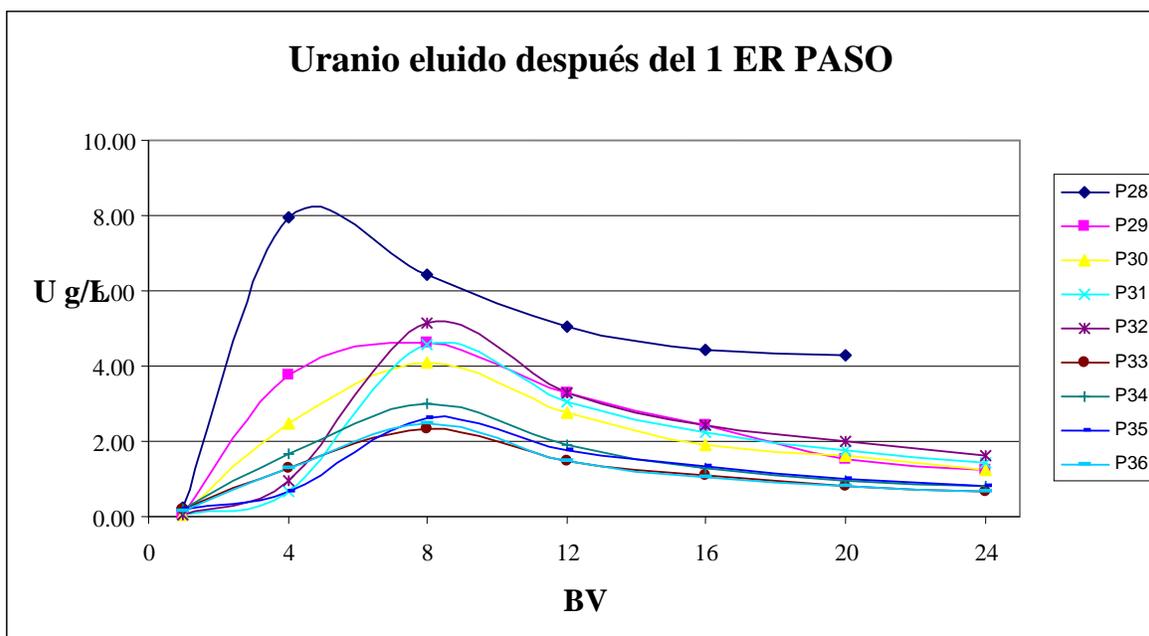


Figura E Uranio en g/L luego de la elución de los 1 ER PASO

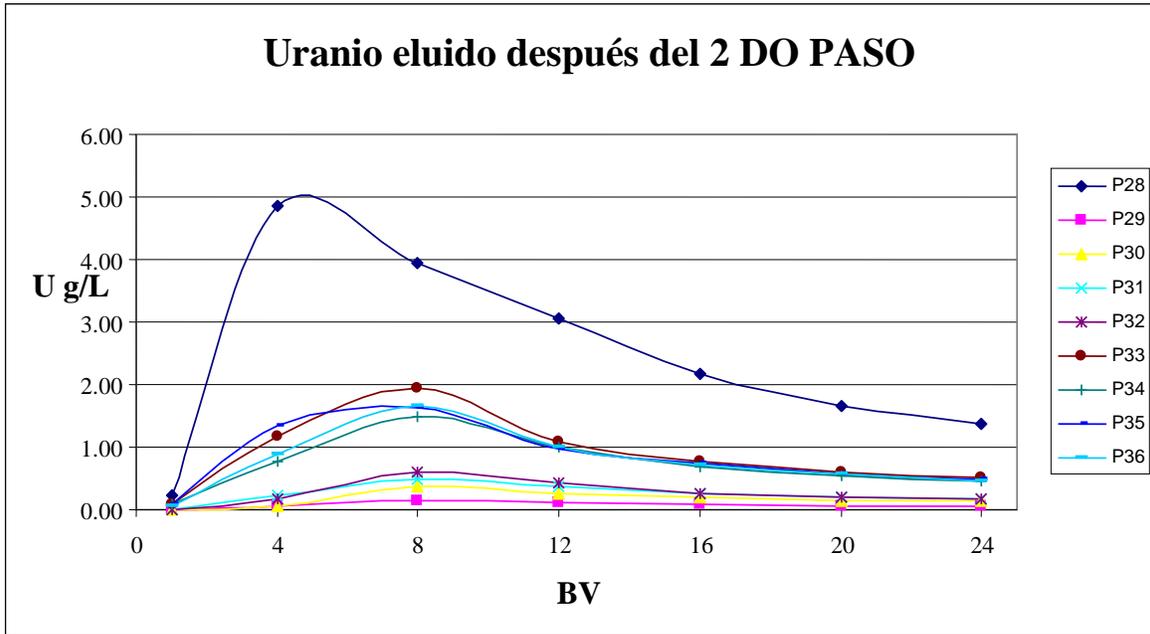


Figura F Uranio en g/L luego de la elución de los 2 DO PASO

### Resina M800 y elución con HNO<sub>3</sub>.

Tabla D.1 Resultados de las pruebas 40, 41 y 42

E	PRUEBA 40		PRUEBA 41		PRUEBA 42	
	U g/L DESPUES DE ELUIR					
	1 ER PASO	2 DO PASO	1 ER PASO	2 DO PASO	1 ER PASO	2 DO PASO
1	0.20	0.09	0.19	0.07	0.17	0.06
4	0.27	0.09	0.30	0.07	0.21	0.10
8	3.03	2.07	3.48	1.31	3.30	1.60
12	3.08	3.33	4.30	2.07	3.50	1.58
16	2.00	2.26	2.80	1.40	2.18	1.01
20	1.55	1.48	1.93	0.91	1.51	0.72
24	1.21	1.05	1.41	0.65	1.13	0.53
	11.34	10.37	14.41	6.48	12.00	5.60

Tabla D.2 Resultados de las pruebas 43, 44 y 45

E	PRUEBA 43		PRUEBA 44		PRUEBA 45	
	U g/L DESPUES DE ELUIR					
	1 ER PASO	2 DO PASO	1 ER PASO	2 DO PASO	1 ER PASO	2 DO PASO
1	0.17	0.06	0.17	0.06	0.17	0.07
4	0.18	0.05	0.16	0.06	0.14	0.06
8	1.33	0.32	1.12	0.56	0.69	0.51
12	3.25	1.11	3.03	1.52	2.19	1.41
16	2.95	1.86	3.03	1.47	3.10	1.51
20	2.16	1.23	2.19	1.01	2.36	1.04
24	1.54	0.80	1.51	0.76	1.67	0.70
	11.58	5.43	11.21	5.44	10.32	5.30

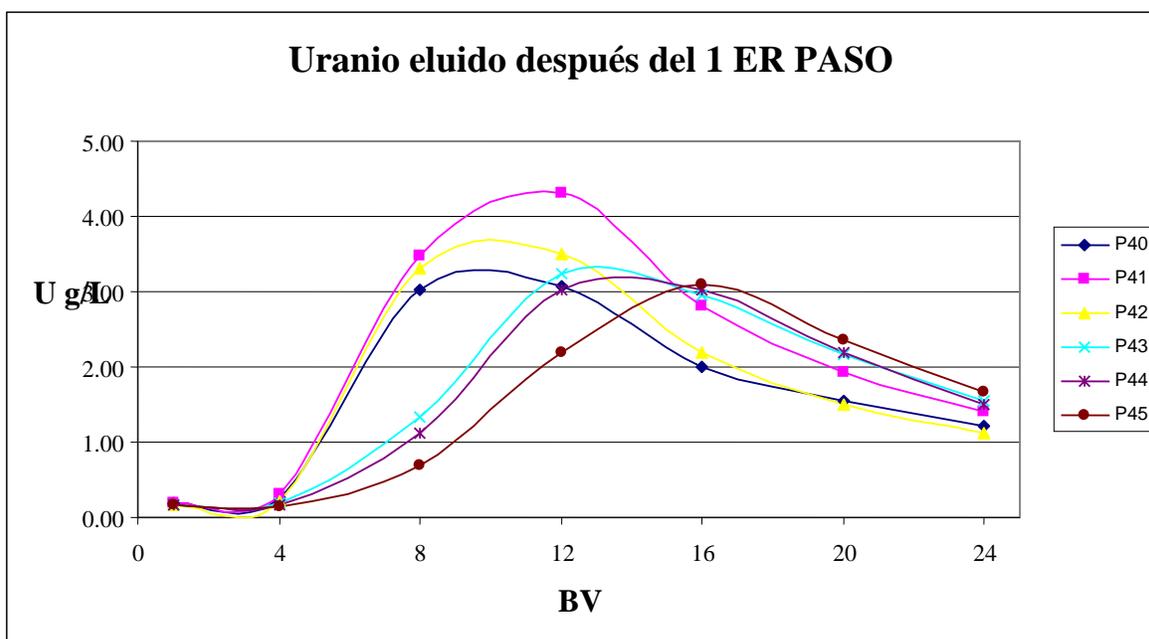


Figura G Uranio en g/L luego de la elución de los 1 ER PASO

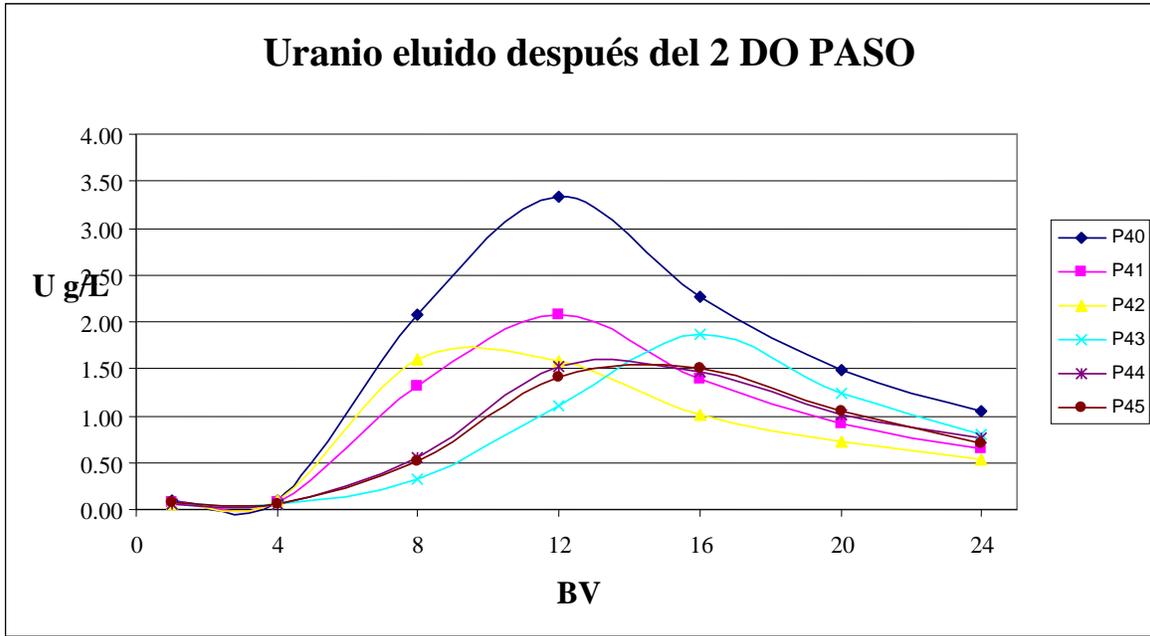


Figura H Uranio en g/L luego de la elución de los 2 DO PASO