

Tratamiento de líquidos lixiviados conteniendo uranio

Genaro Rodríguez^{1,*}, Álvaro Aguirre¹, Tommy Pretel^{1,2}

¹ Planta de Gestión de Residuos Radiactivos, IPEN
Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

² Facultad de Ingeniería Química y Textil, UNI

Resumen

Se presenta los resultados de la gestión conjunta (IPEN, SOLEX de Perú y SGS) sobre el tratamiento de residuos radiactivos localizado en la ciudad de Juliaca, Puno, para resolver el problema sobre un producto lixiviado formado por la reacción de ácido sulfúrico diluido con el mineral que contiene uranio. Como resultado de la recuperación, en diferentes tamaños, de granos de mineral de uranio estamos en condiciones de intervenir en el destino del lixiviado ácido formado. Asimismo, debido a que el lixiviado tenía un volumen total de 13 m³ se decidió realizar el proceso en el mismo lugar. El tratamiento consistió en la separación por neutralización alcalina en dos fases, una líquida y otra sólida que contiene principalmente el uranio y otros metales asociados. Los resultados del tratamiento permitirán decidir el tipo de disposición final de los residuos sólidos y líquidos que están de acuerdo con las regulaciones de la protección radiológica y los parámetros ambientales actuales.

Abstract

This work presents the results of the radioactive waste treatment made by IPEN, SOLEX and SGS in Juliaca, Puno. The main goal was to solve a problem involving a leached product generated by the reaction of diluted sulfuric acid with uranium mineral. As a result of the recovery of uranium mineral in different grain sizes, it was possible to manage the disposal of the generated acid leachate. As the total volume of the leachate was 13 m³, the process was made in the same place. The treatment consisted in the separation by alkaline neutralization in two phases: one liquid and the other one solid, which contained mainly the uranium and other associated metals. The results of the treatment will help to choose the type of final disposal of the liquid and solid wastes, according to the regulations of radiological protection and the current environmental recommendations.

1. Objetivo

Desarrollar el proceso de precipitación de lixiviados conteniendo uranio, considerando las medidas de seguridad y protección radiológica.

2. Introducción

Debido a la importancia del uranio como combustible nuclear, la búsqueda de potenciales yacimientos se ha incrementado en los últimos años, y nuestro país no está ajeno a ese interés. La experiencia ganada por el IPEN que permitió el descubrimiento de importantes zonas uraníferas como Macusani (Puno), ha sido retomada por iniciativas privadas. Luego de una fase de evaluación técnica económica, se deben definir las áreas de explotación y obtención por tratamiento físico químico para su comercialización como *yellow cake* (Pasta amarilla).

El uranio se encuentra en la corteza terrestre formando minerales radiactivos conjuntamente con metales asociados y acompañado del torio, otro elemento que presenta radiactividad y que es empleado también como combustible nuclear. En la Tabla 1 se muestra algunas propiedades de los radioisótopos que presenta uranio en la naturaleza. Debido a que los radioisótopos de uranio tienen períodos de semidesintegración muy alto, sus actividades específicas se pueden considerar como constantes.

El IPEN en la década de los años 80 disponía de laboratorios para la preparación física, análisis químico e instrumental y de hidrometalurgia de uranio habiendo obtenido el U₃O₈.

* Correspondencia autor: grodriguez@ipen.gob.pe

Tabla 1. Características del uranio [1].

Nucleído	Vida media (años)	%A	Actividad específica promedio (Bq/g)
U-234	2.48x10 ⁵	0.0055	6.2x10 ⁻³
U-235	7x10 ⁸	0.72	2.2x10 ⁻⁶
U-238	4.5x10 ⁹	99.27	3.3x10 ⁻⁷

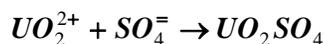
%A = porcentaje de abundancia natural promedio

En las actuales labores de evaluación técnica de SOLEX y SGS (año 2009), se llegó hasta la formación del lixiviado de uranio. En los trabajos analíticos para el tratamiento de los lixiviados, el IPEN participó con los análisis radioquímicos, mientras que los análisis químicos convencionales fueron asumidos por SGS.

3. Descripción del proceso de neutralización y precipitación de uranio

La materia prima extraída fue llevada al Laboratorio de Hidrometalurgia instalado en Juliaca para la evaluación técnica. El mineral ha sido tratado mediante lixiviación por medio de soluciones diluidas de ácido sulfúrico en columnas de PVC de 40 cm de diámetro por 189 cm de altura, los residuos sólidos denominados “colas de mineral” se separaron para análisis y el líquido resultante es el denominado “líquido lixiviado”.

La reacción asumida, tomando en cuenta los componentes utilizados sin agentes oxidantes, es la formación del sulfato de uranio (UO_2SO_4), debido a la solubilidad que muestra el UO_2^{+2} en estas condiciones, también se generan otras reacciones en el medio ácido, principalmente de metales asociados que se suman en los trece (13) m³ de lixiviados, la reacción principal se resume en:



La composición del lixiviado ácido conteniendo uranio se analizó en forma química y radioquímica. En el caso del precipitado concentrado y secado, el reporte de análisis indica un porcentaje importante de uranio y como elementos asociados el níquel, plomo, talio, wolframio, mercurio, arsénico,

zinc y titanio, en concentraciones de partes por millón (ppm).

En ese sentido, hacía octubre de 2009 [2] se planteó la necesidad de gestionar como residuos radiactivos los 13 m³ de lixiviados. La propuesta técnica fue su neutralización por medio de una solución alcalina de hidróxido de sodio, a modo de elevar desde un promedio pH 1,3 hasta un pH mayor a 8 que permita precipitar el uranio y los metales asociados. A un pH alcalino se halla la formación de los hidróxidos básicos de los metales presentes. La neutralización fue realizada tal como fueron almacenados los lixiviados, 13 tanques de PVC de un 1 m³ cada uno.

Para establecer las cantidades que deben ser usadas en cada tanque, se procedió a experimentar un ensayo de precipitado en una solución de 64 litros utilizando hidróxido de sodio, cloruro de bario y agente floculante, que se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Ensayos y resultados de precipitación del lixiviado [2].

Fecha	02 octubre 2009
Cantidad de líquidos	64 L
pH inicial	1,35
pH final	8,04
BaCl ₂ .2H ₂ O	08 g
NaOH	490 g en 5,9 L
Floculante	0,5 g disuelto en 1 L de agua
Peso total de la solución al inicio	71,22 kg
Peso de solución sobrenadante	65,76 kg
Peso seco del precipitado	157,2 g
Temperatura de secado del precipitado	80 °C
Composición antes de la neutralización	144,81 mg/L de uranio
Concentración de la solución en el líquido sobrenadante neutralizado	0,31 mg/L de uranio

Una vez realizado el ensayo se procedió con los trabajos de precipitación en cada tanque, formándose por decantación dos fases, un lodo precipitado en el fondo del tanque y un líquido sobrenadante alcalino descontaminado de componentes uraníferos y metálicos.

Un tanque pulmón fue utilizado como soporte para ayudar a los tanques de precipitación. En las figuras 1,2,3 y 4 se muestra la secuencia de las actividades realizadas y en la figura 5 el diagrama para la neutralización de los lixiviados.



Figura 1. Tanques de lixiviados.



Figura 2. Tanque pulmón.



Figura 3. Lodos precipitados.



Figura 4. Horno de secado.

Como complemento a la operación de neutralización se realizó un monitoreo de la radiación, sobre cada uno de los tanques en la formación de las fases utilizando un detector de radiación marca Polymaster PM 140K. Este monitoreo tiene relevancia y nos da información sobre la presencia de contaminantes radiactivos. El registro se muestra en la Tabla 3.

La radiación de fondo natural fue: Actividad

total $\alpha\beta\gamma$ de $0,78 \text{ s}^{-1}$ y una tasa de exposición de $0,20 \mu\text{Sv/h}$.

Luego del secado, el precipitado sólido acumulado en los 13 tanques alcanzó un peso de 46 kg con un contenido de 3.35% en peso de uranio, los mismos que fueron gestionados como residuos sólidos radiactivos. Asimismo, quedó pendiente la definición del destino de los residuos líquidos sobrenadantes.

Tabla 3. Monitoreo de la radiación en los tanques durante la neutralización [2].

N°	pH	Actividad $\alpha\beta\gamma$ (s^{-1})	X_{contacto} ($\mu\text{Sv/h}$)	Estado
1	Ac.	1.02	0.35	A
2	Ac.	0.99	0.34	A
3	Ac.	1.1	0.33	A
4	Al.	1.06	0.33	D
5	Al.	0.89	0.31	D
6	Al.	0.88	0.31	D
7	Al.	0.87	0.31	D
8	Al.	0.87	0.31	D
9	Al.	0.82	0.31	D
10	Al.	0.82	0.30	S. P.
11	Al.	0.81	0.30	S. S.
12	Al.	0.81	0.27	S. S.
13	Al.	0.80	0.27	S. S.

Ac. = pH ácido

Al. = pH alcalino

Estado del tratamiento

A = Aireación

D = Decantación

S. P. = Solo precipitados (tanque pulmón)

S. S. = Solo sobrenadantes

4. Resultados

Se realizaron análisis a la parte radioquímica referida a los radioisótopos presentes en el líquido sobrenadante, obtenido por la neutralización alcalina. Los resultados contribuyeron sustancialmente a la evaluación del proceso.

El reporte del resultado proviene del Laboratorio de Control Ambiental del IPEN. En la Tabla 4 se muestran los resultados de los análisis radioquímicos en el líquido sobrenadante, en términos de concentración de actividad por volumen de la composición isotópica.

El registro del Radio-226 es indispensable en un análisis radioquímico en aguas. Este es un componente tóxico en la cadena radiactiva del uranio y su período de vida media es largo emitiendo radiaciones alfa, decae en el

gas radón-222, que es un contribuyente nocivo en el medioambiente.

Tabla 4. Resultado de análisis radioquímico en el líquido sobrenadante [3].

N°	Isótopo radiactivo	Actividad promedio (Bq/L)	AMD (95%) (Bq/L)
1	Ra-226	<AMD	1
2	U-238	<AMD	4
3	U-235	<AMD	1
4	U-234	<AMD	3
5	Th-234	1050	4

AMD = Actividad mínima detectable

Contrastando los valores con el que establece el Reglamento de Protección Radiológica (DS 09-97-EM), podemos señalar que los valores alcanzados están por debajo de las concentraciones exentas, por ende podemos considerar que la precipitación para los fines de la separación de la concentración de uranio ha sido realizada apropiadamente.

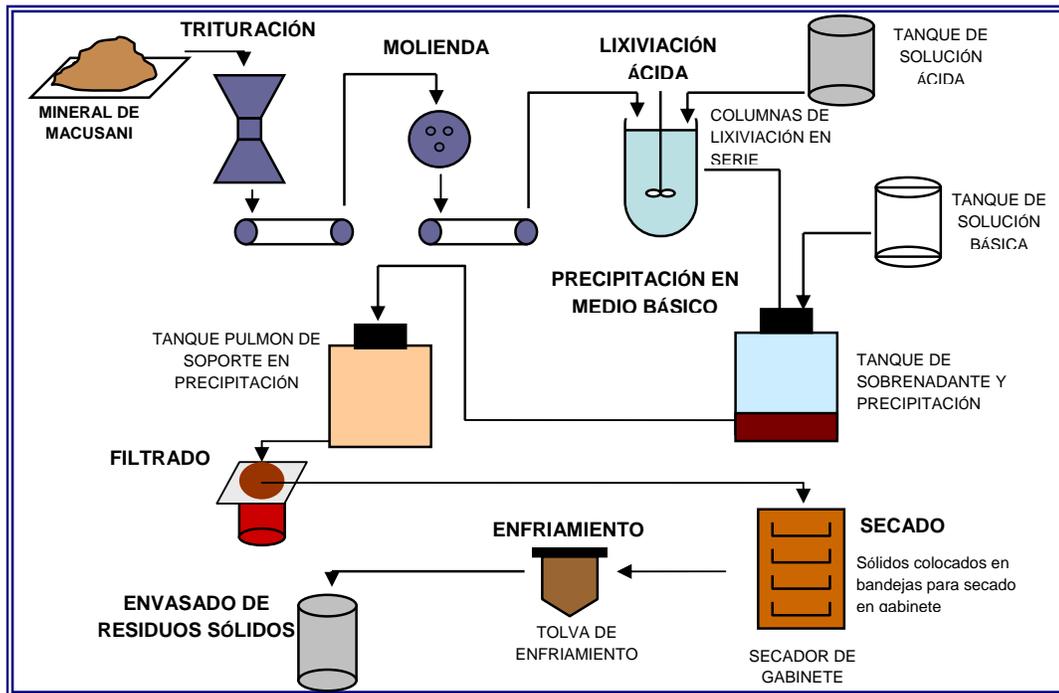


Figura 5. Diagrama de flujo para la neutralización de lixiviados.

5. Evaluación

Mediante el procedimiento seguido se logró alcanzar los objetivos de la separación del uranio del líquido lixiviado, a un nivel donde el sobrenadante es considerado exento, por lo que puede ser descargado al ambiente sin otro requisito que el recomendado para las operaciones metalúrgicas, en ese sentido también los valores hallados para los metales asociados están por debajo de las concentraciones máximas exigibles por la norma ambiental del Ministerio de Energía y Minas (R.M. N° 011-96 EM/VMM). Con respecto al análisis radioquímico del Torio-234, si comparamos su actividad de 1050 Bq/L con el límite de exención señalado en el Regla-

mento de Seguridad Radiológica [4] que indica 1.0 E+06 Bq/L (1.0 E+03 Bq/g), el valor hallado para el Torio-234 es 1000 veces menos de la cantidad exenta, y sumado su vida media corta de 24 días, no implica riesgos desde el punto de vista radiológico.

6. Conclusiones

Las operaciones concernientes a la minería de uranio desde la exploración hasta la obtención del concentrado de mineral en el Perú deben estar debidamente reglamentadas y normadas tanto para las operaciones de campo como a nivel de planta piloto.

Los residuos radiactivos generados tanto sólidos como líquidos tiene que ser

previamente tratados y resuelto su aislamiento del medio circundante, aplicando las tecnologías seguras de protección pública y ambiental.

Las condiciones desarrolladas a un nivel bajo en volumen y residuos, permiten extraer conclusiones aún limitadas de lo que implica un tratamiento a mayor escala de los minerales radiactivos. A un nivel mayor de explotación y obtención del uranio, la presencia de los radionucleidos pueden adoptar valores mucho más significativos que ameritan un permanente monitoreo y tratamiento.

7. Referencias

- [1] Characteristics of Uranium and Its Compounds, Depleted Uranium Hexafluoride Management Program, U.S. Department of Energy Office of Environmental Management.
- [2] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Supervisión radiológica en la precipitación química de lixiviados conteniendo uranio. Informe PGR; 2009.
- [3] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de Ensayo de Radiactividad 0011-2010-SERV. Lima; 2010.
- [4] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Reglamento de Protección Radiológica. OTAN-IPEN. Lima, Perú; 1997.