



ESPAÑA

5 DIC. 1978

Concedido el Registro de acuerdo con los datos que figuran en la presente descripción y según el contenido de la Memoria adjunta.

PATENTE DE INVENCION

(10) ES	(11) NUMERO	(10) A 1
(21)	465.535	
(22)	FECHA DE PRESENTACION	
	28.12.1977	

(30) PRIORIDADES:	(32) FECHA	(33) PAIS
(31) NUMERO		
76.39807	28.12.1976	Francia
863.386	22.12.1977	Francia

(47) FECHA DE PUBLICIDAD	(51) CLASIFICACION INTERNACIONAL	(62) PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
	C 22 B	

(24) TITULO DE LA INVENCION

UN PROCEDIMIENTO PARA LA EXTRACCION DE URANIO DE SUS MINERALES O MENAS.

(71) SOLICITANTE (S)

1) URANERZ U.S.A. INC.- 2) WYOMING MINERAL CORPORATION.
3) MINATOME CORPORATION.

DOMICILIO DEL SOLICITANTE 1) 3705 Kipling Street - Wheat Ridge, Colorado 80033 EE.UU. 2) 3900 S. Wadsworth Boulevard - Lakewood, Colorado 80235 EE.UU. 3) 825 Third Avenue - New York, New York 10022 EE.UU.

(72) INVENTOR (ES) Antonie Gilbert Lucien Floreancig y Robert Emile Schuffenecker, ambos de nacionalidad francesa, y Clinton Ray Wolfe, de nacionalidad estadounidense. Los cuales cedieron sus derechos a la compañía solicitante.

(73) TITULAR (ES)

El mismo solicitante.

(74) REPRESENTANTE

DON BERNARDO UNGRIA GOIBURU.

1

Esta invención se refiere a un procedimiento para extraer uranio de sus minerales.

5

Los procedimientos conocidos para extraer uranio usualmente comprenden tres fases principales: una fase de oxidación del mineral para formar un uranio soluble; una fase de lixiviación para disolver el uranio y permitir que se separe la ganga insoluble, y finalmente una fase de recuperación que puede ser un tratamiento tal como hacer pasar sobre resinas de intercambio iónico o a través de una membrana selectiva o la extracción preferencial en disolvente, o la precipitación con un hidróxido alcalino o magnesio, por ejemplo. Las dos primeras fases pueden llevarse a cabo simultáneamente.

10

15

Con respecto más particularmente a la segunda fase llamada de lixiviación, actualmente hay disponibles dos procedimientos generales. El primero de estos utiliza una solución de ácido sulfúrico como lixivante y el otro utiliza o bien una solución de carbonato y bicarbonato de sodio o bien una solución de carbonato y bicarbonato de amonio.

20

La elección entre estos dos métodos ácido y alcalino, se basa en las propiedades físicas del mineral, y su grado de actividad en relación a los agentes reactivos y sobre la composición de los minerales huéspedes que contienen el uranio. De esta forma, el método de ácido puede ser prohibitivo debido al considerable consumo de ácido en el caso de minerales que sean ricos en piedra caliza. Por lo tanto, en el caso de dichos minerales, se prefiere el uso de un carbonato alcalino. El carbonato tiene la ventaja de solo ser ligeramente corrosivo y de dar por resultado un procedimiento de extracción más selectivo. Sin embargo, los carbonatos

25

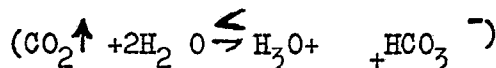
30

1 y bicarbonatos de metal alcalino crean el problema de con-
taminar depósitos acuíferos subterráneos. Cualquiera que
sea la ventaja particular ofrecida por cualquiera de estos
5 dos métodos, por lo tanto, se contraresta con la desventaja
de que ambos implican el uso de reactivos contaminantes.

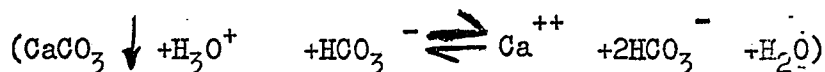
Ahora, existe una tendencia cada vez mayor a tra-
tar de extraer los elementos de los minerales por medios
que sean similares a los medios naturales, de tal manera
que se conserve la forma original de la roca que contiene
10 el elemento. La reabsorción de las soluciones que son ricas
en sales pueden provocar problemas ambientales considera-
bles. Estos métodos que generalmente conducen lixiviaciones
lentas por medio de procedimientos que se llevan a cabo a
temperatura ambiente, pueden ser adaptados a los minerales
15 extraídos triturados más o menos finamente o simplemente
martillados, así como a minerales que se dejan "insitu" si
las rocas son suficientemente permeables y quedan al alcan-
ce del fenómeno de la percolación. Es obvio que en el segun-
do caso o caso "in situ" el uso del método no contaminante
20 es particularmente importante.

Quando se extraen depósitos subterráneos de uranio
con soluciones de bicarbonato de amonio, es usual que con-
tengan además peróxido de hidrógeno para oxidar el uranio
en el estado +4 al estado +6 necesario para la formación de
25 iones de carbonato y bicarbonato de uranio complejos solu-
bles. Aún cuando las soluciones de carbonato de amonio tu-
vieron éxito para extraer el uranio, son difíciles de traba-
jar debido a que ocurren intercambios iónicos entre los io-
nes de amonio y los iones de calcio en los depósitos de cal-
30 cita, dejando amoniaco subterráneo que contamina las fuen-

1 tes de agua y añade calcio a la solución. A medida que la
solución se iba haciendo llegar a la superficie la disminu-
ción en la presión hidrostática daba por resultado la libe-
ración de dióxido de carbono que elevaba el pH de la solu-
ción



5 precipitando el carbonato de calcio



10 que obstruía los tubos. Así mismo, el uso de peróxido de
hidrógeno y de bicarbonato de amonio aumentaba el costo del
procedimiento de extracción, tanto en la compra de los pro-
ductos químicos como en la medición que se hacía de ellos
en la solución y la observación de sus concentraciones.

15 La presente invención se refiere a un procedimiento
para la extracción de uranio de sus minerales, ya sea direc-
tamente tal como en los depósitos de minerales o después de
que dichos minerales se han sacado del suelo, que comprende
una fase de oxidación/lixiviación en la que se utilizan so-
luciones de carbonato y bicarbonato de un metal alcalinotér-
20 rreo para lixiviación bajo presión de dióxido de carbono.

El uranio de esta manera se oxida al estado hexava-
lente y se lixivía como se indica, a fin de solubilizarlo e.
la forma de carbonato de uranio de un metal alcalinotérreo.
25 El uranio puede ser recuperado después por medio de un tra-
tamiento apropiado como un producto enriquecido que se uti-
liza inmediatamente para la producción de uranio puro o de
sus derivados.

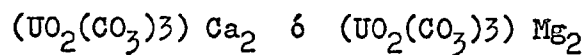
30 En una modalidad especialmente conveniente de la in-
vención, el uranio se extrae de los depósitos subterráneos

1 formando una solución de dióxido de carbono que tiene una
concentración de bicarbonato de menos de 5 gramos/litro,
que está exenta de carbonatos y bicarbonatos de metal alcalino y de amonio, y que contiene oxígeno o su equivalente a
5 una concentración equivalente de al menos una atmósfera de
aire; poner en contacto dichos depósitos subterráneos con
la mencionada solución en la presencia de iones de calcio;
o impulsar la mencionada solución hasta la superficie.

El uso del dióxido de carbono y del aire solos hace
10 que la extracción del párrafo precedente sea de muy poco
costo sin crear virtualmente problemas de contaminación.
Adicionalmente, las soluciones de dióxido de carbono y de
aire extraen casi tanto uranio como las soluciones de carbonato de amonio. Además, puesto que los iones de amonio no
15 están presentes para intercambiarse con los iones de calcio,
es menos problema la precipitación del carbonato de calcio.
También se ha encontrado que el peróxido de hidrógeno puede
precipitar uranio y disminuir la cantidad recuperada. Utilizando el oxígeno en el aire, es posible eliminar el uso del
20 peróxido de hidrógeno, excepto para los depósitos que contienen predominantemente uranio en el estado +4 y para la
recuperación de vestigios de uranio después de que ha quedado completa la extracción con dióxido de carbono y aire.

Fuertemente motivados por este aspecto ecológico
25 del problema del tratamiento de minerales, hemos encontrado
que no es necesario, en el que caso del uranio, utilizar
ácidos o soluciones concentradas de carbonatos y bicarbonatos alcalinos que dejan elementos residuales nocivos pero
que las soluciones basadas en carbonatos y bicarbonatos alcalinotérreos en presencia de dióxido de carbono son apro-
30

1 piadas. De hecho, se sabe que el carbonato y los iones al-
calinotérreos Ca^{2+} y Mg^{2+} en la presencia de uranio, con-
ducen a la formación de sales del tipo de carbonato de ura-
nilo que tiene la fórmula posible



10 y que la presencia de CO_2 aumenta su solubilidad permitien-
do que se lleguen a valores del orden de 10 gramos de U/li-
tro a un pH de 6.7 bajo una presión normal de CO_2 con las
sales de calcio y de 60 gramos de U/litro con sales de mag-
nesio, teniendo esto lugar a temperatura ambiente. Por
otra parte, se cumple con la preocupación actual de mante-
ner el ambiente natural, puesto que el concepto principal
es el de tratar los minerales con soluciones que son simila-
res a las llamadas aguas duras, que normalmente circulan en
15 el subsuelo calcareo. Si los elementos alcalinotérreos han
sido sacados del suelo es suficiente aumentar el pH a fin
de reemplazarlo en su depósito.

20 Hemos desarrollado un procedimiento para extraer
uranio, basado en estos datos, en el que empleamos una fase
original y nueva de lixiviación con las fases de oxidación
y recuperación. De manera más precisa, el procedimiento de
acuerdo con la invención, que se relaciona con la extracción
de uranio de sus minerales ya sea directamente en el propio
25 depósito o después de que los minerales han sido sacados del
suelo, comprende una fase de oxidación/lixiviación seguida
por una fase de recuperación y está caracterizado porque
se utilizan soluciones de carbonato y bicarbonato de un me-
tal alcalinotérreo para la lixiviación en presencia de dió-
xido de carbono bajo una presión comprendida entre 1 y 60
30

1 bares y a una temperatura de 0 a 100°C.

La característica esencial del procedimiento, por lo tanto, es el uso de soluciones de carbonato y bicarbonato de un metal alcalinotérreo. En la práctica, se utilizan
5 metales de calcio y de magnesio puesto que estos son los únicos que son económicamente factibles. Estas soluciones usualmente se obtienen de elementos específicos externos a los minerales, tales como anhídrido carbónico, carbonatos naturales o precipitados, posiblemente calcinados en la for-
10 ma de óxido y rehidratados, que se ponen en suspensión en agua y se tratan con gas carboxílico para disolver el elemento alcalinotérreo en la forma de bicarbonato. Estas solu- ciones también se forman reciclando soluciones que son sub-
15 productos del procedimiento. En el caso de minerales que son ricos en carbonatos de calcio o de magnesio suficientemente reactivados, estas soluciones se preparan con el propio mi-
neral simplemente inyectado anhídrido carbónico (dióxido de carbono) dentro de la suspensión acuosa del mineral, o en el
20 agua que circula en el mineral. La presencia de las llama- das aguas duras naturales en la vecindad de ciertos depósi-
tos, también proporciona una contribución valiosa para formar soluciones de lixiviación. Cualesquiera que sea su origen, éstas soluciones se utilizan en presencia de dióxido de car-
25 bono, cuya presión es o bien la presión de equilibrio que co- rresponde a la cantidad de bicarbonato disuelto o bien una presión superior a este valor. Puesto que el dióxido de car-
bono disuelve el mineral mejor a alta presión, esta presión puede ser cualquier valor, comprendido entre 0 y 60 bares en
este procedimiento; sin embargo, por razones tecnológicas y
30 económicas, se prefieren rangos menores de presión del orden

1 de 0,5 a 4 bares, particularmente en el caso de lixiviación
"in situ" cuando la presión del CO_2 no debe exceder de la
presión hidrostática para evitar que se formen burbujas.
Por otra parte, si un aumento en la temperatura produce una
5 mejora en la velocidad de la disolución, contribuye a la
reducción de la solubilidad del dióxido de carbono, y aún
cuando este procedimiento puede ser llevado a cabo a una
gama de temperaturas muy amplia, las condiciones ambien-
tales son perfectamente adecuados. De esta forma, la tempera-
10 tura de las soluciones de lixiviación en el suelo puede ser
ajustada a la del medio, eliminando de esta manera cualquier
"contaminación termica".

Puesto que se han definido las propiedades de los
reactivos de acuerdo con la invención: una solución de car-
15 bonatos y bicarbonatos y dióxido de carbono, la lixiviación
es decir el colocar estos reactivos en contacto con el mi-
neral para hacer que el uranio pase de la fase sólida a la
fase líquida, puede validamente llevarse a cabo por cual-
quiera de los métodos que se utilizan en la actualidad en
20 esta esfera. De esta forma, en el caso de la extracción en
suelos permeables, los reactivos de acuerdo con la invención
pueden ser utilizados facilmente para inyectar en una posi-
ción y bombear en otra posición en condiciones que provoquen
una corriente preferencial que de forma natural quede con-
25 finada entre las posiciones bajo consideración. De hecho,
con las soluciones de este tipo que reproducen los fenóme-
nos naturales del suelo de una manera controlada y crecien-
te, las migraciones erráticas que no son recuperadas no cau-
san ningún problema, el uranio disuelto puede reprecipitar-
30 se rapidamente al contacto con las zonas de reducción o por medio de un

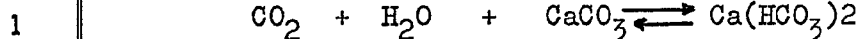
1 aumento natural del pH, a pesar del contenido más alto del
normal, dejando una solución que es casi idéntica a la so-
lución que circula en el suelo. Además, es posible reesta-
5 blecer los depósitos acuíferos después de extinguir el mi-
neral, reemplazando la solución de lixiviación con una
solución cuyo pH ha sido aumentado entre 8 y 9.5, añadien-
do hidróxido de metal alcalinotérreo, de tal manera que per-
mite que las sales que han sido desplazadas durante la li-
xivación, sean redepositadas en el lecho en forma sólida.

10 Con respecto a los minerales que se extraen de su
depósito también se obtienen buenos resultados después de
un cierto grado de trituración o martillamiento, percola-
ción a través de una columna o en amontonamiento en lechos
sellados y con lavado en las galerías de la mina por medio
15 de nuestras soluciones alcalinotérreas. De manera similar,
después de haber sido extraídos del suelo y triturados los
minerales más finamente, estos reactivos pueden ser utili-
zados en cualquier método convencional para poner en con-
tacto con una pasta de sólido/líquido tal como por medio de
20 tanques de Pachuea y autoclave agitados. Estos, que promue-
ven un aumento en el contenido de dióxido de carbono en el
medio de reacción conducen a una rápida disolución del ura-
nio, permitiendo que el procedimiento sea comparable al ata-
que alcalino convencional, con excepción de que los reacti-
vos de este último son de naturaleza contaminante.

25 En cada uno de los casos, esta lixiviación por medio
de carbonatos y bicarbonatos alcalinotérreos también tiene
la ventaja de un efecto de disolución selectivo, debido a
que el pH está cercano a 7. En particular, el molibdeno y
30 el vanadio que están frecuentemente presentes en los minera-

1 les de uranio usualmente no son atacados ni disueltos en
nuestro lixiviante. Esto permite un tratamiento de separa-
ción posterior sobre resinas, que es generalmente difícil
con otras soluciones convencionales de lixiviación que di-
5 solverían estos otros metales.

Una vez que el uranio ha sido intercambiado entre
las fases líquida y sólida, a la fase de lixiviación le si-
gue una separación de los productos sólidos contenidos en
el producto de la lixiviación para obtener un licor de li-
10 xiviación claro que podrá someterse directamente a la fase
de recuperación. La cantidad de sólido separado depende del
tipo de la lixiviación utilizada. De esta forma, en el ca-
so de la lixiviación in situ, la mayor parte de la materia
insoluble en el mineral permanece en el suelo y es suficien-
15 te separar los productos en suspensión. Por otra parte, si
el mineral es lixiviado en un aparato, se separa, no solo
la substancia en suspensión, si no que también toda la gan-
ga. Antes de llevar a cabo esta separación, debe tomarse
en consideración la presión del dióxido de carbono utiliza-
20 do durante la disolución del uranio. Si su presión es menor
que ó igual a 4 bares, como usualmente es el caso con la
lixiviación in situ, el producto de lixiviación se somete,
sin embargo, a una operación de separación. Si la presión
es superior a 4 bares, esta última operación está precedi-
25 da por una expansión de la atmosfera gaseosa por encima del
producto de lixiviación para bajarla de 1 y 4 bares. En es-
te caso, aparece un precipitado de carbonato de calcio en
el producto de la lixiviación como resultado del desplaza-
miento en el equilibrio de la reacción:
30



5 Este precipitado se elimina después del circuito al mismo tiempo que la ganga. El dióxido de carbono que es liberado durante la expansión se recupera por secado por medio de un procedimiento convencional y luego es comprimido antes de que participe en la precipitación de los reactivos nuevamente con CO_2 adicional y los carbonatos que son reciclados al procedimiento. La separación descrita anteriormente puede tener lugar en cualquier aparato de tipo convencional tal como en un decantador, un filtro, una centrífuga, etc. El licor de lixiviación obtenido se somete después a una fase de recuperación de uranio.

10

15 Sin embargo, el procedimiento de extracción de acuerdo con la invención comprende una fase de oxidación, puesto que la disolución del uranio por medio de las soluciones carbonatadas tiene lugar por medio de un uranio con valencia 6. Para oxidar el uranio a esta valencia, que a menudo está presente en el mineral en valencia 4, se puede utilizar cualquier oxidante activo al pH de estas soluciones. Estos, por lo tanto, incluyen permanganato de potasio, óxigeno en la forma de aireación de los licores o suspensión de los minerales, y agua oxigenada que usualmente es inestable en un medio alcalino, pero que sin embargo es apropiada para el medio carbonatado debido a su pH bajo.

20

25 Adicionalmente, estos dos oxidantes no trastornan el medio natural. Esta fase de oxidación puede llevarse a cabo simultáneamente con la lixiviación pero también puede precederla, formando de esta manera una fase de pre-oxidación que es particularmente válida en el caso de extracción in situ en

30 donde se hace circular agua oxigenada, por ejemplo, en el

1 mineral, bajo la presión de CO_2 beneficiando de esta forma también la acción estabilizadora de este gas sobre el agente oxidante.

5 El procedimiento de acuerdo con la invención también comprende una fase de recuperación del uranio contenido en el licor de lixiviación. Debido a la naturaleza y a la composición de estos licores, es posible llevar a cabo esta fase por medio de métodos diferentes.

10 Un método particularmente interesante consiste en relajar primeramente la presión ejercida por el dióxido de carbono por encima del licor (presión parcial) a un bar absoluto y luego en reducir esta presión a un valor de aproximadamente 0.1 bares. Durante esta desgasificación, se rompe el equilibrio entre el CO_2 y el bicarbonato de calcio y parte de esta sal en solución se precipita al estado de
15 carbonato. La suspensión formada por esta reacción se trata después con un lavado de cal de tal manera que tenga un pH de entre 8 y 9. En estas condiciones, precipita una nueva cantidad de carbonato de calcio debido a la combinación de
20 la cal con el bicarbonato de calcio que queda en la solución. Se separa después la totalidad del carbonato de calcio contenido en la suspensión y se obtiene un licor de carbonato de uranio y calcio muy puro que nuevamente se somete a la acción de agua de cal pero aumentando el pH entre 10
25 y 12. Con este tipo de concentración de ión OH^- , el uranio precipita en la forma de un uranato de cal, CaU_2O_7 , acompañado por el carbonato de calcio que se separa de los licores madres. Durante estas operaciones, el carbonato de calcio recuperado así como los licores madres, son llevados a
30 una etapa de procedimiento conocida como preparación de los

1 reactivos, en la que, bajo la acción del CO_2 , reconstituyen
una solución que puede ser utilizada para lixiviación di-
solviendo el carbonato en el bicarbonato. El CO_2 utilizado
5 en esta preparación se deriva parcialmente del gas que se
introduce en el circuito, pero la mayor parte de él es un
subproducto de las operaciones de expansión atmosférica y
de vacío. Después de estas operaciones, el agua que acompa-
ña el gas ha sido eliminada de él y el gas se recomprime
después hasta un valor que es apropiado para la fabricación
10 de reactivos y para llevar a cabo la oxidación o lixiviación
subsiguiente. Este método tiene la ventaja de utilizar un
precipitante que es homogéneo con el reactivo de lixiviación
y que conduce a concentrados ricos en uranio tales como:

> 30% de U_3O_8 .

15 Otro método que también hace uso de la cal, con-
siste en separar el carbonato de calcio que ha sido preci-
pitado del licor de lixiviación después de operaciones de
expansión atmosféricas y al vacío similares a las descritas
anteriormente, e inmediatamente tratar el líquido obtenido
20 de esta manera con agua de cal a un pH comprendido entre
10 y 12. Esto da por resultado la precipitación de la mez-
cla de uranato de calcio/carbonato de calcio, que no es tan
rica como la primera en uranio, pero que solo requiere una
sola precipitación, evitando de esta manera pequeñas canti-
dades de reciclado de uranio que pueden acompañar al carbo-
nato de calcio, si este se forma a un pH entre 8 y 9.

25 Un tercer método se relaciona con el uso de agua
oxigenada (peróxido de hidrógeno) como precipitante. En es-
te caso, parte del CO_2 se elimina del licor de lixiviación
30 por la expansión a presión atmosférica. Esto está acompaña-

1 do por la precipitación del carbonato de calcio que se sepa-
ra del licor y se recicla de la misma manera que el CO_2 ex-
pandido. Se añade una solución de agua oxigenada (peróxido)
al licor, cuya combinación con el uranio conduce a la forma-
5 ción de un precipitado de peróxido de uranio que se recupe-
ra mientras se reciclan los licores madres. Este método tie-
ne la ventaja de ser muy selectivo.

Un cuarto método consiste en el tratamiento direc-
to del licor de lixiviación sin expansión, y por lo tanto
10 sin separación intermedia del carbonato de calcio, en una
columna de resina aniónica. En esta operación, el ión de
carbonato de uranio contenido en el licor se fija en la re-
sina, mientras que los iones de Ca^{2+} no son retenidos. Las
resinas que tienen un radical Cl^- pueden utilizarse, pero
15 de preferencia quedan limitadas a las resinas R-HCO_3 que
tiene la ventaja de conducir a un efluente de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ que
es homogéneo con el resto del procedimiento. Sin embargo, en
este caso debe mantenerse una ligera sobrepresión de CO_2
comprendida entre 0,1 y 1 bares a la entrada de la columna,
20 para evitar que el CaCO_3 precipite dentro de la resina, lo
que podría suceder si los iones de HCO_3 emitidos por la re-
sina durante la fijación del uranio llegan a una concentra-
ción por arriba de la permitida por el equilibrio con el
 CO_2 , que esta presente sobre la solución. Este método es
25 particularmente sencillo y no conduce a la precipitación de
carbonatos, evitando de esta manera operaciones de transfe-
rencia de suspensión y redisolución de los reactivos en su
estado de fabricación.

Estos métodos diferentes ilustran las maneras po-
sibles de recuperar uranio de licores que son subproductos
30

1 del procedimiento reivindicado, pero es obvio que cualquier otro método que sea aplicable a las soluciones de este tipo, aún quedaría dentro del marco del objeto de esta invención.

5 En el procedimiento de la modalidad especialmente conveniente antes mencionada, se prepara una solución acuosa oxidante de dióxido de carbono, exenta de carbonato y bicarbonatos de amonio y metal alcalino. La solución debe tener una concentración de ión de bicarbonato de menos de 10 5 gramos/litro puesto que una mayor concentración puede dar por resultado la precipitación de CaCO_3 que puede tapar las tuberías. Si no se lixivía el CaCO_3 en la solución, la solución tendrá una concentración de bicarbonato de menos de un gramo/litro. La solución debe contener oxígeno o su equi- 15 valente (por ejemplo, peróxido de hidrógeno) a una concentración equivalente al menos una atmósfera de aire, y de preferencia equivalente al menos una atmósfera de oxígeno. Estas altas concentraciones de oxígeno son necesarias porque el uranio en el estado +4 y no es solubilizado por los 20 iones de bicarbonato y permanecerá en el subsuelo si no se oxida al estado +6. La solución de preferencia se prepara inyectando aire y bióxido de carbono, como un gas o como hielo seco, en el agua a medida que es impulsada dentro del subsuelo. También puede utilizarse la saturación con un le- 25 cho de dióxido de carbono a presión atmosférica, pero el oxígeno debe entonces asperjarse en el interior, porque el dióxido de carbono impulsa hacia afuera el oxígeno disuelto. La adición de productos químicos a la solución que liberan el dióxido de carbono, tales como carbonato de calcio y áci- 30 do clorhídrico, no es deseable, puesto que el anión ácido

1 puede crear otros problemas. El uso de gas oxígeno puede
ser deseable si el uranio en el depósito subterráneo esta
en su mayor extensión en el estado +4 pero usualmente el
5 uso más costoso de gas oxígeno no será necesario. El peró-
xido de hidrógeno también puede ser utilizado, pero es aun
menos deseable puesto que es caro, promueve la precipita-
ción del carbonato de calcio, y puede ser convenientemente
objecionable debido a la disolución de otras especies oxi-
dables. Sin embargo, puede ser util en áreas en las que hay
10 predominantemente uranio en estado +4 o para recuperar ves-
tigios de uranio que quedan después de la extracción sin
peróxido de hidrógeno.

Puesto que la concentración del ión de bicarbonato
es muy pequeña (es decir, menos de un gramo/litro) a menos
15 que haya presentes iones de calcio, es necesario añadir io-
nes de calcio a la solución si el depósito no contiene su-
ficiente calcio, que a menudo esta presente en la tierra
como calcita, CaCO_3 . Si el depósito es deficiente en calci-
co, este puede ser añadida a la solución bombeándola sobre
20 un lecho de piedra caliza (CaCO_3), dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$),
o cal (CaO), hasta que la solución haya recogido una canti-
dad suficiente de iones de calcio o haya llegado a saturar-
se. Cuando hay presente calcio, a actividad unitaria, la
concentración de carbonato es de aproximadamente 0,014 mo-
25 lar a una atmósfera de CO_2 , que es aproximadamente la misma
concentración de carbonato que resultaría del uso de un
gramo/litro de NH_4HCO_3 .

La solución, que tiene un pH comprende entre 3 y
7 antes de entrar en la tierra, y de entre 5,5 y 7,5 inme-
30 diatamente después de regresar, de preferencia no contiene

ningún aditivo, además de los descritos. Se bombea en el interior del depósito de uranio a través de uno o más pozos de inyección. Debido al peso del agua y a la presión de la bomba la presión del CO₂ al fondo se considera que es de cuando menos 2 atmósferas, lo que aumenta adicionalmente la concentración del ión bicarbonato y por lo tanto la cantidad de uranio extraído. Algún tiempo después, la solución se bombea ascendentemente a través de uno o más de los pozos de recuperación. Al llegar a la superficie, el uranio se elimina de la solución por cualquier método apropiado. Un método particularmente útil es el de pasar la solución a través de columnas de intercambio iónico que extraen el uranio en la columna. El uranio se lava después separándolo de la columna y se precipita, por ejemplo, como duranato de amonio (ADU). El ADU puede después ser calcinado para producir U₃O₈.

A fin de que la invención quede entendida de manera más clara, se describirán ahora modalidades convenientes de la misma, como vía de ejemplo, con referencia a las figuras de 1 a 4 inclusive, cada una de las cuales es un diagrama de flujo mostrando una sucesión de operaciones de acuerdo con la invención. Las cuatro modalidades han sido seleccionadas del caso en el que hay una pre-oxidación del mineral o cuando la lixiviación se lleva a cabo a una presión por arriba de cuatro bares y por lo tanto requiere una operación adicional de expansión antes de separar la sustancias insolubles.

Las cuatro figuras comprenden una sección común relativa a las fases de oxidación, lixiviación y reciclados de CO₂, pero se distinguen una de la otra por la fase de re-

1 cuperación. De esta forma, a la figura 1 se refiere al tra-
tamiento con cal en dos etapas, la figura 2 se refiere al
mismo reactivo, pero solo se aplica una vez, la figura 3 se
refiere a la precipitación por medio de agua oxigenada (so-
5 lución de peróxido), y la figura 4 se refiere al uso de las
resinas de intercambio iónico.

Por lo tanto, en las figuras 1, 2, 3 y 4 se encuen-
tran las siguientes operaciones sucesivas para la sección
común: La oxidación 1 en la que el mineral se trata con un
10 oxidante en presencia de CO_2 , la lixiviación 2 en donde el
mineral oxidado se pone en contacto con la solución de bi-
carbonato alcalinotérreo bajo una presión L_7 de CO_2 deriva-
da de la operación de preparar los reactivos 7. Se forma un
producto de esta lixiviación bajo una presión L_2 , que en el
15 caso presente sufre una expansión hasta 4 bares en la ope-
ración 3 por la salida de CO_2 , cuyo flujo G_3 se somete al
secado 5 para dar un flujo G_5 antes de que sea comprimido
en 6, en la forma de G_6 y reusado en 7 en donde parcialmen-
te asegura la disolución del carbonato de calcio reciclado
20 y de la cal en el estado de bicarbonato, y mantiene la pre-
sión requerida para la lixiviación con la ayuda de un sumi-
nistro de gas de repuesto, si es necesario: cuyo producto
se expande a cuatro bares y se separa después en cuatro en
una fracción sólida S_4 , que es transferida, y en un licor
25 L_4 al que se aplica después la fase de recuperación seleccio-
nada.

De acuerdo con la figura 1, esta fase comprende
una expansión atmosférica 8 seguida por una expansión 9 a
vacio que conduce a la formación de los flujos gaseosos G_8
30 y G_9 , que se secan en 5, al igual que G_3 y a la recompresión

1 6, antes de participar en la fabricación de los reactivos
en 7. El licor desgasificado o L_9 se trata después en 10
con agua de cal L_{14} que es fabricada a partir de cal apagada
y agua en 14. A un pH de entre 8 y 9, los iones de Ca^{++} que
5 aún están en solución, se precipitan en forma de carbonato
y se añaden al carbonato que ya ha sido formado durante las
expansiones 8 y 9. El carbonato se separa en 11, en forma de
un sólido S_{11} que es reciclado a la presión de los reactivos
7, mientras que la fracción líquida L_{11} es transportada
10 hacia 12 en donde sufre un nuevo tratamiento con agua de
cal, pero a un pH comprendido entre 10 y 12. La suspensión
resultante se separa después en 13 en un líquido L_{13} , que
es reciclado en 7, y en un sólido S_{11} , que es compuesto
de uranato de calcio y carbonato de calcio.

15 De acuerdo con la figura 2, la fase de recuperación
también comprende las mismas operaciones de expansión atmosférica
8 y de vacío 9 y el reciclado de G_8 y G_9 , como en la
figura 1. El sólido S_{15} , que ha sido formado durante las ex-
pansiones, se separa después en 15 y es reciclado como car-
bonato de calcio a la preparación de los reactivos 7. Se
20 añade después agua de cal L_{14} obtenido de 14, al licor L_{15}
resultante de la operación 15, y en una cantidad suficiente
como para obtener un pH de entre 10 y 12, en 16. El preci-
pitado resultante de la mezcla de S_{17} de uranato de calcio/
25 carbonato de calcio, se separa después en 17 de los otros
licores madres L_{17} , que son reciclados para preparar los
reactivos 7.

30 De acuerdo con la figura 3, la atmósfera de CO_2 del
licor L_4 derivada de la fase de lixiviación se hace llegar
a la presión ambiente en 8, y el gas G_8 es reciclado como

1. anteriormente. El carbonato de calcio formado durante esta
expansión se separa después en 18 y se recicla subsiguien-
temente como S_{18} para la presión de los reactivos 7. El lí-
quido L_{18} resultante de esta separación, es sometido a la
5 acción de agua oxigenada en 19 para producir peróxido de
uranio S_{20} que es aislado en 20 de sus licores madres L_{20}
que son reciclados para lixiviación a través de 7.

De acuerdo con la figura 4, el licor L_4 , que es un
subproducto de la lixiviación, pasa directamente a través
10 de una columna 21 de resina aniónica mantenida bajo una so-
brepresión de CO_2 (G_{21}) en donde desprende el uranio que ha
sido recuperado en la forma de una solución L_{21} de carbona-
to de uranilo y produce un líquido L'_{21} , que se devuelve a
7.

15 La invención se ilustrará ahora por referencia a
los siguientes ejemplos:

EJEMPLO 1

Se añaden 250 cm^3 de una solución saturada de bi-
carbonato de calcio bajo una presión de CO_2 de un bar y con-
20 teniendo un gramo+litro de H_2O_2 , a 50 g de un mineral que
contiene 0.13% de uranio. Esta mezcla se coloca en un frasco
de 500 cm^3 bajo una atmósfera de CO_2 a una presión de un
bar con agitación durante 24 horas a temperatura ambiente.
El pH final es de 6.4. Después de filtrar a vacío y lavar a
25 través de un embudo Buchner, se obtienen 300 cm^3 de una so-
lución que tiene un título de 0.152 g/litros de uranio. El
residuo sólido se analiza después de haber sido secado en
un horno y se encontró que contenía 390 ppm de uranio. El
rendimiento de recuperación de uranio, bases sólidas, por
30 lo tanto, es de 70%.

EJEMPLO 2

1.

5

10

Se añadieron 3000 cm³ de una solución saturada de bicarbonato de cal, a 500 g. de mineral que contiene 0.872 % de uranio, bajo un bar de CO₂. Esta solución también contiene 0.5 g/litros de H₂O₂. La mezcla se coloca en un matraz en el que hay una presión de CO₂ de un bar. Un agitador magnético mantiene el sólido en suspensión. Después de llevar a cabo este tratamiento durante 172- $\frac{1}{2}$ horas a temperatura ambiente, la mezcla se filtra. El residuo se lava y las aguas de lavado se ponen a un lado.

15

20

El sólido obtenido tiene un título de 0.07% de uranio, y el rendimiento de la extracción, por lo tanto, es de 92%.

El líquido obtenido durante la filtración que tiene un volumen de 2502 cm³, y que no ha sido recogido con las aguas de lavado, se pone en contacto con CO₂ a 1.1 bares durante media hora. Esta solución se pasa después a través de una columna provista con una resina Dowex 21K en su forma bicarbonatada. Se recoge una solución que tiene sólo un título de 3.2 mg/litro de uranio, a la salida de la columna. La resina se drena y luego se eluye. Se encuentra en el eluato una concentración de 6.68 g/litro de uranio.

EJEMPLO 3

25

30

Se tratan 1250 g de un mineral que contiene 0.0832 % de uranio con 1000 cm³ de una solución saturada de bicarbonato de cal en equilibrio con una presión de CO₂ de 3 bares. Esta mezcla se coloca en un autoclave con una presión de 3 bares de CO₂ y de 11 bares de O₂ en la fase gaseosa. Siendo la presión total de 14. Después de agitar durante 72 horas a temperatura ambiente, la mezcla se filtra, la torta

1 se lava 3 veces con un total de 500 cm³ de agua destilada. Estas aguas de lavados se añaden a los primeros filtrados dando un volúmen total de 1312 cm³.

5 El residuo del ataque contiene 216 ppm de uranio, que es un rendimiento de recuperación de 74%.

En los 1312 cm³ resultantes de la solución, el uranio tiene una concentración de 0,586 g/litro. Se añaden a esta solución 5 cm³ de una solución de agua oxigenada (peróxido de hidrógeno) a 303 g/litro. Precipita de esta ma-
10 nera un peróxido de uranio y después de 4 horas la solución contiene 72 mg/litro de uranio y 0,945 g/litro de H₂O₂. El rendimiento de recuperación de uranio en la solución, de esta manera, es de 87.7%.

EJEMPLO 4

15 Se agitan 125 g de un mineral que contiene 0.0832 % de uranio durante 12 horas, con una solución de 0.3 g/li- tro de H₂O₂ que se satura con CO₂, y cuyo pH es de aproxima- damente 4.3.

20 Después de filtrar y lavar, este mineral pre-oxi- dado se pone en contacto con 1250 cm³ de un agua natural que tiene la siguiente composición:

Calcio	0,359 g/l
Magnesio	0,036 g/l
Sodio	0,022 g/l
25 Potasio	0,005 g/l
SO ₄ ⁻⁻	0,322 g/l
HCO ₃ ⁻	0,864 g/l

30 Se encuentra que el pH es de 6,1. Después de 24 horas de reacción a temperatura ambiente, la mezcla se fil-

1 tra a través de un embudo Buchner a un vacío de 360 mm de
mercurio. La torta se lava con 300 cm³ de agua destilada y
las aguas de lavado se añaden al primer filtrado; se reco-
gen 1303 g de esta solución. El residuo tiene un título de
5 0,0556% de uranio, y el rendimiento de extracción, de esta
manera, es de 33,2%.

Después de 20 horas, la solución deposita 80 mg de
carbonato de calcio en forma de calcita. Este precipitado
se filtra y se lava en un embudo Buchner. Se recogen 1362 g
10 de una solución que tiene la siguiente composición:

	Calcio	0,280 g/l
	Magnesio	0,057 g/l
	Sodio	0,022 g/l
	Potasio	0,015 g/l
15	SO ₄ ⁻⁻	0,362 g/l
	HCO ₃ ⁻	0,765 g/l
	U	0,025 g/l

Se añade cal pura a esta solución dentro en un pe-
ríodo de 8 horas, en pequeñas cantidades, para obtener un
20 pH final de 11,5. Precipita un compuesto mezclado que tiene
1,7% de uranio.

EJEMPLO 5

Se tratan 75 g de un mineral que contiene 0,872%
de uranio con 250 cm³ de una solución de bicarbonato de cal
25 saturada, bajo 9 bares de CO₂, y que contiene 0,25 g/litro
de peróxido de hidrógeno.

Después de 6 horas de reacción en un autoclave a
42°C, se restablece la presión atmosférica, con filtración
y lavado por medio de 50 cm³ de agua destilada en un embudo
30 Buchner, un vacío de 275 mm de mercurio.

1 El sólido recogido contenía 0,2% de uranio, lo que proporcionó un rendimiento de recuperación de uranio de 77%.

5 El filtrado, que tenía un volumen de 278 cm³, depositó 251 mg de calcita en 12 horas; se filtró y se lavó con 20 cm³ de agua destilada.

El pH de la solución filtrada se aumentó hasta 8,5 añadiendo cal en la forma de agua de cal, y precipitaron otros 512 mg de un producto que contenía 1.92% de uranio es decir, 9,8 mg de uranio, y 40,5% de calcio.

10 Finalmente, después de filtrar a vacío y de lavar, se añadió después agua de cal hasta que se obtuvo un pH de 11,3, y un precipitado de 1350 mg que contenía 36,6% de uranio y 22,2% de calcio.

15 Solo aproximadamente 1 mg por litro del uranio queda en la solución.

EJEMPLO 6

20 Se tratan 50g de un mineral que contiene 0.525% de uranio con 250 cm³ de una solución de bicarbonato de magnesio que contiene 20,5 g de este producto. Esta solución se satura después en una atmósfera de CO₂ haciendo burbujear CO₂ a través de la misma.

La suspensión se filtra después de 24 horas. Se observa en el filtrado la presencia de 339 mg/litros de uranio.

25 Se ha recuperado de esta manera el 32,3% del uranio contenido en el mineral.

30 Se añade después agua oxigenada al 70% a la solución, para obtener 2,01 g/litro de H₂O₂. Después de 6- $\frac{1}{2}$ horas, precipita el óxido de uranio y el contenido de uranio de la solución es de 55 mg/litro.

EJEMPLO 7

1

Se tratan 50g del mismo mineral que contiene 0,525 % de uranio, en las mismas condiciones, con una solución que contiene 20,5g de bicarbonato de magnesio, y luego se

5

saturó con 1 atmósfera de CO₂, haciendo burbujear este gas a través de la solución; la solución también contiene 0,785 g/libro de H₂O₂.

10

La suspensión se filtra después de 24 horas y se observa en el filtrado la presencia de 0,824 mg/litro de uranio.

De esta manera se han recuperado el 78.5% del contenido de uranio.

EJEMPLO 8

15

Se colocan 50g del mismo mineral que contiene 0,525% de uranio en un autoclave con 250 cm³ de una solución que contiene 0,326 g/litros de H₂O₂, y 42 g de carbonato de magnesio.

20

El autoclave se somete después a 30 atmósferas de CO₂.

25

Después de agitar durante 63 horas, la suspensión se filtra. La torta se lava con agua destilada y después de secarla en horno a 110°C durante una noche, se analiza. Resulta que su contenido de uranio es de 0,06%. El rendimiento de recuperación de este elemento, por lo tanto, es de 88,5%.

EJEMPLO 9

30

Se colocan 50g del mismo mineral que contiene 0.525% de uranio en un matraz, junto con 250 cm³ de una solución de bicarbonato de cal saturado, bajo una atmósfera de CO₂, y que contiene 0,08 g/litro de permanganato de pota-

1 sio.

5 La mezcla se pone a 60°C y la suspensión se agita durante 23 horas. Al final de este período, la mezcla se filtra. El residuo sólido se lava con agua destilada. Después de secar, se observa que solo permanece en este residuo un 0,282% de uranio, es decir, un régimen de extracción de uranio de 46,2%.

EJEMPLO 10

10 Se prepararon inicialmente las siguientes composiciones:

	<u># 1</u>	<u># 2</u>
	50g de mineral de uranio	50g de L.O.
	Lamprecht (L.O.)	100 ml de CaCl ₂ 0,02 M
A	100 ml H ₂ O	Aire (1 atmósfera)
15	Aire (1 atmósfera)	0,8 g de CO ₂
	0,8 g de CO ₂	
	Lo mismo que anteriormente, con excepción de	Lo mismo que la solución anterior, excepto
B	que la solución contenía 1 g/l de H ₂ O ₂ y 0.1%	que contenía 1 g/l de
20	de NH ₄ HCO ₃ .	H ₂ O ₂ y 0.1% de NH ₄ HCO ₃ .

25 Cada una de las formulaciones anteriores se colocaron en un revestimiento de polipropileno en el interior de una bomba de Parr con un volumen aproximado de 325 ml. Suponiendo un volumen libre de 200 ml después de que se colocaron todos los componentes en la bomba, la presión parcial de CO₂ fué aproximadamente de 2 atmósferas, y la presión inicial del O₂ fué aproximadamente de 0,2 atmósferas. Cada una de las soluciones de los experimentos anteriores se filtraron y se analizaron en cuanto a su contenido de U y de Ca. La

30

1 duración del contacto entre la solución y el mineral se observó cuidadosamente, y no se agitó durante el experimento.

5 Se obtuvieron varios cientos de granos de mineral de manio de Lamprecht que de acuerdo con lo comunicado, contenían aproximadamente 0,1% de uranio. Cuando se describió que un lixiviado de H_2SO_4 diluido frío del mineral recuperaba aproximadamente 3 veces la cantidad de uranio comunicada como presente en el mineral, se inició un análisis más preciso del mineral. Se analizaron por la técnica polarográfica de pulsación diferencial (DPP) tres muestras de mineral 10 de Lamprecht de diferentes botellas obtenidas en tres ocasiones diferentes. Todas estas muestras pasaron a través de un tamiz de 20 mallas, pero se analizaron sin homogenización adicional. Estos minerales contenían 0,32, 0,34 y 0,36% de uranio analizados por el método DPP. Los análisis espectrofotométricos demostraron cierto desacuerdo serio, pero el análisis de fluorescencia de rayos X del mineral confirmó 15 los resultados del DPP. El análisis para el calcio se llevó a cabo por medio de un procedimiento de absorción atómica que involucra el uso de patrones sintéticos y diluciones apropiadas de las muestras. 20

Los resultados de los diferentes experimentos de lixivación están contenidos en la tabla que sigue. Mientras 25 examinan estos datos, es importante observar tanto el contenido de uranio como el contenido de calcio como una función de la composición de lixiviado. Los análisis del calcio se llevaron a cabo varios días después de que se llevaron a cabo los experimentos de lixivación. La importancia de este punto será obvia al discutir el resultado de la lixivaciones 30 de uranio por medio de soluciones que contienen peróxido.

1 El pH de las soluciones medido dentro de una media
hora después de la filtración del mineral, fué consistente-
mente al rededor de 6,5. Después de varias horas, los pH
de las diferentes soluciones elevaron sus valores entre
5 7,2 y 7,8. Este comportamiento es similar a los datos comu-
nicados en las pruebas en el campo de las soluciones de ex-
tracciones de las minas y puede ser atribuido a la pérdida
de CO_2 de las soluciones.

10 Se prepararon soluciones de lixiviación que conte-
nían Ca^{+2} añadiendo 2,222 g de CaCl_2 a un litro de agua.
Esto daría una solución de 0,02 M en CaCl_2 o de aproxima-
damente 800 ppm de Ca^{+2} . El análisis real de la solución
indicó que contenían 775 ppm de Ca^{+2} . La solución de lixi-
viación utilizada en el experimento #6 se preparó añadiendo
15 0.5 ml de $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ al 10%, a 500 ml de H_2O conteniendo 775
ppm de Ca^{+2} y 0,1%, de H_2O_2 . Se formó inmediatamente un pre-
cipitado de CaCO_3 , eliminando de esta manera parte del
 Ca^{+2} de la solución. Se determinó la concentración resultan-
te de Ca^{+2} como 445 ppm de Ca^{+2} .

20 Los datos en la tabla que sigue indican la relación,
o la falta de la misma, entre las solubilidad de la calcita
y el lixiviado de uranio.

25 Los experimentos #1 y #2 se llevaron a cabo simul-
taneamente y se hicieron con el fin de demostrar el efecto
del alto contenido de Ca^{+2} en el lixiviado de uranio. Des-
afortunadamente el recipiente de reacción no cerró adecuada-
mente en #2, y el CO_2 gradualmente se fugó durante el expe-
rimento. Sin embargo, es interesante observar que la solu-
ción que contenía 775 ppm de Ca^{+2} lixivió aproximadamente
30 67% de la cantidad que se lixivió en la solución que mantu-

1 vo presión de CO_2 , y que no contenía originalmente Ca^{+2} .
Adicionalmente, es muy significativo que el contenido de
5 Ca^{+2} en el experimento #2 no cambió aún cuando quedaron en
solución 247 ppm de uranio. Puesto que dichos altos niveles
de uranio se recuperaron en estos experimentos en 16 horas,
se llevaron a cabo muchos experimentos subsiguientes duran-
te solo 70 minutos a fin de obtener datos con períodos de
tiempo mas cortos.

10 Los experimentos No. #3 y No. #4 fueron idénticos
a los experimentos No. #1 y No. #2, con excepción de que el
tiempo de contacto se redujo de 16 horas a 70 minutos. Nue-
vamente, la solución que no contenía originalmente Ca^{+2} li-
xivió más uranio que la que contenía originalmente 775 ppm
de Ca^{+2} . Esta vez, sin embargo, la solución que contenía
15 Ca^{+2} lixivió más del 85% del uranio que lixivió la solución
que no contenía Ca^{+2} . Así mismo, debe observarse, que la
concentración de Ca^{+2} en realidad declinó ligeramente hasta
750 ppm en el Experimento No. #4.

20 También es interesante comparar el experimento No.
3 con el Experimento No. #1. El experimento de 16 horas
lixivió 216 ppm más de uranio que el experimento de 70 mi-
nutos, pero solo lixivió 18 ppm más de calcio.

25 A fin de determinar por qué la presencia de 775
ppm de Ca^{+2} retarda aparentemente, aún cuando solo ligera-
mente, la lixiviación del uranio si la extracción del ura-
nio no depende de la disolución de la calcita, se ideó otro
experimento (No. #13) para demostrar el efecto de la presen-
cia de una sal diferente en la lixiviación del uranio. El
30 experimento se ideó de tal manera que la fuerza iónica dada
para una solución 0,02M de la Cl_2 coincidiera con una solu-

1 ción de NaCl. A fin de obtener una solución de NaCl cuya
fuerza iónica fuera equivalente a la de la solución 0.02M
de CaCl_2 , la solución de NaCl debe ser de 0.06M. Los resul-
tados del experimento #13 demuestran una cantidad aún más
5 pequeña de uranio lixiviado (113 ppm contra 129) por la so-
lución 0.06M de NaCl que la lixiviada por la solución 0.02M
de CaCl_2 . Adicionalmente, la solución de NaCl provocó la
disolución de 175 ppm Ca^{+2} contra 118 ppm lixiviada en el
experimento #3 en el que no se añadió sal. Este último re-
10 sultado no es sorprendente, puesto que es bien conocido que
la calcita es soluble muchas veces más en agua de mar que
en agua dulce. Esto habla mal de las operaciones en el pro-
grama de extracción de mineral en solución que introduce
cloro en la solución de lixiviación.

15 Habiendo llevado a cabo los experimentos #1, #2,
#3, y #4, se deseó determinar la efectividad de los reacti-
vos que en la actualidad se usan en este campo y comparar
estos resultados con los experimentos #3 y #4. Las solucio-
nes de lixiviación en los experimentos #5 y #6 son idénticas
20 a las de los experimentos #3 y #4, con excepción de que con-
tienen 0,1% de $(\text{NH}_4)_2 \text{CO}_3$ y 0.1% de H_2O_2 . Los resultados de
los experimentos #5 y #6 fueron, durante un tiempo, muy sor-
prendentes. El contenido de uranio de estas soluciones cuan-
do se midió primero fué menos de 70 ppm en el experimento
25 #5 y menos de 40 ppm en el experimento #6. Estos analisis se
citaron como "menos que" debido a que el exceso de H_2O_2 dió
una enorme onda de reducción polarográfica que interfeeria
con la medición de pico de uranio (VI). El uranio obviamente
estaba presente, pero su concentración declinó después de
30 varias horas y declinó adicionalmente después de varios días

1 hasta que solo quedaron unas cuantas ppm de uranio en la so-
lución. En la actualidad, la apariencia de lodo verde amari-
llo se observa en el fondo del recipiente que contiene la
muestra. Un líquido transparente decantado de este lodo co-
5 menzaria a precipitar más material después de reposar duran-
te unas cuantas horas. Después de filtrar estas soluciones,
el residuo que permaneció en un filtro Millipore 0,45, tenía
una apariencia amarillo brillante. La caracterización par-
cial de este depósito se describe en cierto detalle en lo
10 que sigue, pero es suficiente decir que se encontró que el
residuo contenía cantidades mayores de uranio y calcio. Ob-
servese que la solución que no tenía calcio añadida fué muy
baja en calcio y que la solución que originalmente contenía
445 ppm de Ca^{+2} aumentó su contenido de calcio solo en 40
15 ppm.

Tan pronto como se descubrió que el uranio había
precipitado de las soluciones de los experimentos #5 y #6, se
comenzó otro experimento #9) utilizando la misma solución de
lixiviación pero con un tiempo de contacto de 4 horas. El
20 contenido de uranio de esta solución demostró ser menor que
la cantidad que se encontró en el experimento #5. A primera
vista existe la tentación de desechar esta información como
totalmente predecible, puesto que el tiempo de contacto de
cuatro horas es suficiente para que se separe más uranio de
25 la solución por precipitación. Esta observación es cierta,
aún cuando también significa que la precipitación tubo lugar
en las condiciones simuladas de subsuelo y no fué el resul-
tado de hacer llegar la solución a presión atmosférica con
una pérdida concurrente de CO_2 y una elevación en el pH.
30 Esto implica que el uranio, aún cuando se oxidó en el subsue

1 lo también puede precipitarse como una sal de calcio inso-
luble en el subsuelo. El nivel de calcio en esta solución
del experimento #9 fué muy bajo, como lo sería si se hubie-
ra precipitado junto con el uranio. Fué evidente la aparición
5 de precipitado amarillo en el fondo del recipiente que con-
tenía la muestra.

Sobre este punto, no se observó precipitado en nin-
guno de los experimentos, con excepción de los que conte-
nían $(\text{NH}_4)_2 \text{CO}_3$ y H_2O_2 . Ya habían sido planeados los experi-
10 mentos #7 y #8 que ayudarían a encontrar las condiciones ne-
cesarias para formar el precipitado. Si la presión parcial
de CO_2 o la concentración del HCO_3^- fueran factores para pro-
ducir el precipitado, sería entonces posible producir el
precipitado con el $(\text{NH}_4)_2 \text{CO}_3$ (Experimento #8) o aumentando
15 la presión parcial del CO_2 (Experimento #7) que tendrían el
efecto de elevar la concentración del HCO_3^- y también mejo-
rarián la solubilidad de la calcita.

Como se mostrará en la tabla que sigue, el conteni-
do de uranio de la solución del experimento #7 queda dentro
20 del 10% que se obtuvo del experimento #3, el contenido de
calcio tiene un factor de aproximadamente el doble, y no se
observó precipitación aún después de varios días. La solu-
ción del experimento #8, contenía esencialmente el mismo
nivel de uranio que el del experimento #3 y el contenido de
25 calcio fué de 25 ppm más bajo que el del experimento #3.
Nuevamente, no se observó precipitado, aún después de varios
días.

Al completar estos experimentos, era obvio que el
único momento en que ocurrió la precipitación de uranio fué
30 cuando estaba presente en la solución el H_2O_2 .

1

Parecen deseables dos experimentos más a fin de contestar dos preguntas persistentes. En "¿Continuaría aumentando el contenido de uranio en las soluciones al prolongar el tiempo de contacto?", y "¿podrán el agua y el aire solos lixiviar de manera efectiva el uranio del mineral?".

5

Se diseñaron los experimentos #10 y #11 para aproximar aún más los tiempos de contacto a los que se utilizan en el campo, aún cuando 66 horas pueden ser considerablemente menor que las condiciones en el campo. El experimento #11 que se llevó a cabo con 0,1% de $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ extrajo 580 ppm, que es aproximadamente 10% más de uranio y aproximadamente 60 ppm menos de calcio que lo que se extrajo con la solución en el experimento #10, que contenía solo CO_2 , aire y H_2O .

10

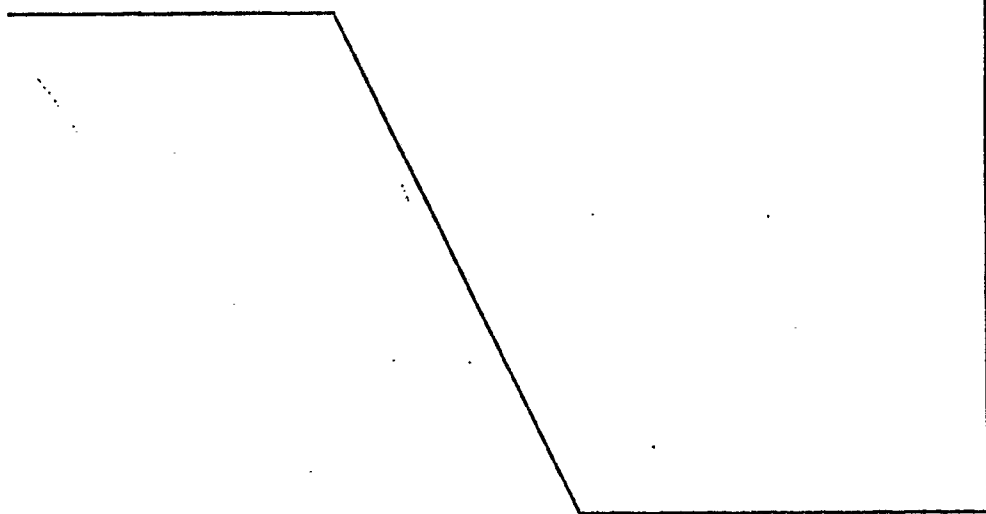
15

A fin de contestar la segunda pregunta anterior, se llevó a cabo el experimento #12 utilizando solo agua y aire. Las concentraciones tanto de uranio como de calcio en este experimento fueron muy bajas, sugiriendo que el dióxido de carbono es en realidad necesario para lixiviar en forma efectiva el uranio.

20

25

30



Experimento #	Peso del Mineral (s)	Tiempo de Contacto	H ₂ O ₂	(NH ₂) ₂ CO ₃	CO ₂ (atm)	Aire (atm)	Otro	Analysis U	(ppm) Ca+2	Precipitado?
1	50,28	16 hr.	0	0	2	1	Ninguno	367	136	no
2	50,40	16 hor.	0	0	2	1	CaCl ₂ 0,02M	247	775	no
3	50,26	70 min.	0	0	2	1	Nada	151	118	no
4	50,33	70 min.	0	0	2	1	CaCl ₂ 0,02M	129	750	no
5	45,09	70 min.	0,1%	0,1%	2	1	Nada	70 ↓	15,5	si
6	45,19	70 min.	0,1%	0,1%	2	1	CaCl ₂ 0,02M (CaCO ₃ precipita)	40 ↓	485	si
7	50,78	70 min.	0	0	4	1	Nada	138	255	no
8	50,09	70 min.	0	0,1%	2	1	Nada	149	93	no
9	51,46	4 hr.	0,1%	0,1%	2	1	Nada	60 ↓	35	si
10	50,75	66 hr.	0	0	2	1	Nada	524	313	no
11	49,95	66 hr.	0	0,1%	2	1	Nada	580	253	no
12	50,24	70 min.	0	0	0	1	Nada	26,2	49	no
13	49,83	70 min.	0	0	2	1	NaCl 0,06M 113 (3500 p.p.m. NaCl)		175	no
Solución de lixiviación 0,02M de CaCl ₂										
Solución de lixiviación (CaCO ₃ precipitado) 0,1% (NH ₄) ₂ CO ₃ + 0,02M de CaCl ₂										

Solución de lixiviación 0,02M de CaCl₂

Solución de lixiviación (CaCO₃ precipitado) 0,1% (NH₄)₂ CO₃ + 0,02M de CaCl₂

	Experimento #	Peso del Mineral (g)	Tiempo de Contacto	H ₂ O ₂	(NH ₂) ₂ CO ₃	CO ₂ (atm)
1	1	50,28	16 hr.	0	0	2
	2	50,40	16 hor.	0	0	2
5	3	50,26	70 min.	0	0	2
	4	50,33	70 min.	0	0	2
	5	45,09	70 min.	0,1%	0,1%	2
	6	45,19	70 min.	0,1%	0,1%	2
10	7	50,78	70 min.	0	0	4
	8	50,07	70 min.	0	0,1%	2
	9	51,46	4 hr.	0,1%	0,1%	2
	10	50,75	66 hr.	0	0	2
	11	49,95	66 hr.	0	0,1%	2
15	12	50,24	70 min.	0	0	0
	13	49,83	70 min.	0	0	2

Solución de lixiviación 0,02M de CaCl₂

Solución de lixiviación (CaCO₃ precipitado) 0,1% (NH₄)₂ CO₃ +

20

25

30

de to	H ₂ O ₂	(NH ₂) ₂ CO ₃	CO ₂ (atm)	Aire (atm)	Otro	Analisis U	(ppm) Ca ⁺²	Precipitado ?
r.	0	0	2	1	Ninguno	367	136	no
or.	0	0	2	1	CaCl ₂ 0,02M	247	775	no
in.	0	0	2	1	Nada	151	118	no
in.	0	0	2	1	CaCl ₂ 0,02M	129	750	no
in.	0,1%	0,1%	2	1	Nada	<70 ↓	15,5	si
in.	0,1%	0,1%	2	1	CaCl ₂ 0,02M (CaCO ₃ precipita)	<40 ↓	485	si
in.	0	0	4	1	Nada	138	255	no
in.	0	0,1%	2	1	Nada	149	93	no
r.	0,1%	0,1%	2	1	Nada	<60 ↓	35	si
r.	0	0	2	1	Nada	524	313	no
r.	0	0,1%	2	1	Nada	580	253	no
in.	0	0	0	1	Nada	26,2	49	no
in.	0	0	2	1	NaCl 0,06M 113 (3500 p.p.m. NaCl)		175	no
CaCl ₂							775	
recipitado)	0,1%	(NH ₄) ₂ CO ₃	+ 0.02M de CaCl ₂				445	



1 Después de examinar cuidadosamente los datos en
la tabla anterior se puede llegar a las siguientes conclu-
siones:

5 (1) Las recuperaciones de uranio de las soluciones
de lixiviación que contienen H_2O_2 son malas debido a la pre-
cipitación de una sal insoluble de calcio-uranio.

 (2) El dióxido de carbono, el aire y el agua lixi-
vian de manera efectiva el uranio del mineral, pero el agua
y el aire no lo hacen.

10 (3) Las soluciones de $(NH_4)_2 CO_3$ pueden proporcio-
nar una ligera ventaja con respecto al CO_2 , aire y agua,
pero esto no ha sido demostrado de manera concluyente, y
adicionalmente la precipitación de calcita se introduce en
los pozos de inyección cuando se utiliza $(NH_4)_2 CO_3$.

15 (4) La cantidad de uranio en las diferentes solu-
ciones de lixiviación no parece tener ninguna relación con
la cantidad de calcita que se ha solubilizado y solo es
afectada ligeramente por la cantidad de calcio en la solu-
ción de lixiviación, aún cuando debe haber presente cierta
20 cantidad de calcio.

Caracterización del precipitado de calcio y uranio

 Cuando se observó primeramente el precipitado, el
papel de filtro que contenía una capa delgada del residuo
se disolvió en HNO_3 y H_2SO_4 y la solución se analizó para
25 ver el contenido de uranio. Se encontró un equivalente de
3.5 mg de uranio. Aún cuando esto solo era una verificación
cualitativa de uranio, era obvio que el uranio era el cons-
tituyente mayor del residuo.

30 Se llevó a cabo un analisis de difracción de ra-
yos x del residuo y mostró fuertes patrones sugiriendo que

1 habia CaCO_3 y otros compuestos que obviamente eran debidos
a cierto compuesto de uranio, pero no pudieron ser identi-
ficados de manera positiva.

5 Se llevó a cabo un analisis espectrográfico de
emisión del residuo y demostró que los constituyentes prin-
cipales eran Ca y uranio con cantidades menores de silicio,
aluminio, magnesio y titanio.

El uso de NH_4HCO_3

10 El valor de concentración de equilibrio para HCO_3^-
en equilibrio con el CaCO_3 bajo una atmosfera de CO_2 , es
 $[\text{HCO}_3^-] = 1,41 \times 10^{-2} \text{M}$. Se llega a esta conclusión utili-
zando primeramente la constante de disociación de ácido pa-
ra el ácido carbónico, suponiendo una presión parcial de
 $\text{CO}_2 = 1 \text{ atm}$ un pH de 6 y substituyendo estos valores en la
15 a expresión de equilibrio apropiada, que es

$$\frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]} = K_{a_1} = 4,4 \times 10^{-7}$$

20 La solubilidad molar del CO_2 bajo 1 atm de CO_2
es de $3,4 \times 10^{-2}$ moles/litro. Substituyendo todos estos va-
lores en la expresión anterior tenemos:

$$[\text{HCO}_3^-] = 1,41 \times 10^{-2} \text{M}$$

25 Si se añade un gramo/litro de NH_4HCO_3 a la solu-
ción de lixiviación, la concentración del bicarbonato seria
de aproximadamente $1,3 \times 10^{-2} \text{M}$ de bicarbonato. Este es
esencialmente el mismo valor que se obtendría permitiendo
que el agua llegara al equilibrio con la calcita bajo 1 atm
de CO_2 . Si la presión parcial del CO_2 es mayor de 1 atm,
30 entonces la concentración del ión de bicarbonato sería aún
más elevada que $1,41 \times 10^{-2} \text{M}$.

1 Lo que debe enfatizarse aquí es que el mineral en
particular probado es esencialmente una fuente infinita de
bicarbonato y no es necesario añadir este a la mena. Adicio-
nalmente, el NH_4^+ puede ser intercambiado por Mg^{+2} y
5 Ca^{+2} en ciertas arcillas de "intercambio iónico" en el mi-
neral, elevando de esta manera, sus niveles en solución y
creando un problema más serio de precipitación de calcita.

El Uso de H_2O_2

10 Los experimentos demuestran que el uranio se pre-
cipita muy lentamente de soluciones de lixiviación que con-
tienen exceso de peróxido. Aún cuando este precipitado no
ha sido caracterizado cuantitativamente, se sabe que con-
tiene altas cantidades de uranio. El uso de peróxido de hi-
15 drógeno puede muy bien provocar la oxidación del uranio en
el cuerpo del mineral, pero seguido por la precipitación
del uranio en el cuerpo del mineral. Parte de los precipi-
tados por arriba de la tierra que ocurren en los tanques
de depósito y que se asientan en las columnas de intercam-
20 bio iónico, también pueden ser compuestos que llevan uranio.
Se dice en forma popular que el H_2O_2 se descompondrá al con-
tacto con el mineral y que por lo tanto, la precipitación
subterránea del uranio no es un factor. Sin embargo, los
experimentos demostraron que después de 4 horas de contacto
25 con el mineral, el nivel de peróxido aún era muy alto. La
precipitación cuantitativa del uranio puede también ocurrir
en soluciones con un pH 3,5 en presencia de H_2O_2 , de tal
manera que una precipitación subterránea incompleta del
uranio a un pH entre 5,5 y 6,0, no sería sorprendente.

Precipitación de la Calcita.

30

1 La razón de que exista un problema de precipitación
de calcita en el lado de inyección del procedimiento, es
que el pH de la solución de lixiviación se ha elevado al
añadir el NH_3 o el NH_4HCO_3 a un nivel tal que la calcita
5 solo tiene una solubilidad limitada. La elevación del pH
es un procedimiento innecesario e inútil puesto que la so-
lución eventualmente se equilibra con el mineral para pro-
ducir una solución cuyo pH está gobernado principalmente
por el equilibrio entre el $\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ - calcita.

10 Si el pH de la solución de lixiviación no se ele-
va si no que en vez de ello se baja, la precipitación de la
calcita no causará problema. Como es natural, esto implica
que la solución de lixiviación se recircularía sin eliminar
el calcio e inmediatamente se presenta la pregunta de "¿pue-
15 de el uranio ser recuperado de manera efectiva sin separar
el calcio?". Se cree que la respuesta a esta pregunta es
"si, si puede", aún cuando los experimentos que se han he-
cho hasta la fecha no prueban de manera concluyente dicho
punto. Considerense lo que los resultados de este experimen-
20 to han demostrado con respecto a la concentración de calcio
y la recuperación de uranio. El experimento con 800 ppm de
 Ca^{+2} demostró que la recuperación de uranio fué de aproxima-
damente 85%- de la cantidad recuperada sin que hubiera cal-
cio presente. Esto no es una reducción drástica y puede ha-
ber una recuperación absoluta mayor que la presentemente
25 obtenida con los procedimientos de la actualidad.

30 El sistema de separación de calcita es costoso y
provoca un aumento en los niveles Cl^- en las soluciones de
lixiviación lo que conduce a una solubilidad mayor de la cal-
cita en el mineral creando un círculo vicioso" que puede

1 evitarse eliminando el sistema de separación de calcita
(es decir, el uso de $\text{NH}_4 \text{HCO}_3$).

5 Si se añade a la solución CO_2 , aire y H_2O cuando
sale de la columna de intercambio iónico de recuperación de
uranio y se devuelve al campo, el pH de la solución bajará
de tal manera que no precipitará el calcio. Los niveles de
calcio en las soluciones de recuperación de mineral permane-
cerán bastante constantes con un ligero desplazamiento ha-
cia arriba debido al aumento gradual en la fuerza iónica
10 provocada en parte por el aumento de los niveles en Cl^- co-
mo resultado del intercambio de Cl^- por especies de manio
en las columnas de intercambio iónico. Si no fuera por el
aumento en la fuerza iónica, se esperaría que el contenido
en calcio se elevará hasta un nivel de equilibrio compren-
15 dido entre 100 ppm y 1000 ppm en el pozo de recuperación y
permanecería constante. Permanecería constante debido a que
la solución de lixiviación ya habría quedado en equilibrio
con la calcita solida en el cuerpo del mineral.

20 Puede esperarse cierta precipitación de calcita a
medida que las soluciones son llevadas hasta arriba de la
tierra debido al aumento en el pH y al escape del CO_2 . Sin
embargo, ocurrirán menos precipitaciones bajo esta inven-
ción, puesto que los niveles de calcio deben ser menores que
los que se utilizan en el procedimiento de NH_4HCO_3 que indu-
25 ce una mayor solubilidad de la calcita en el subsuelo, y
por lo tanto, una mayor cantidad de calcita precipitada por
arriba del suelo.

En resumen, la patente de invención que se solicita
deberá recaer sobre las siguientes:

REIVINDICACIONES

1

1. Un procedimiento para la extracción de uranio de sus minerales ya sea directamente en el propio depósito de mineral o después de que el mineral ha sido separado del suelo, que comprende una fase de oxidación/lixiviaci3n, en la que se utilizan soluciones de carbonato y bicarbonato de un metal alcalinot3rreo para la lixiviaci3n bajo presi3n de di3xido de carbono.

5

10

2. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicaci3n 1, donde la fase de oxidaci3n se lleva a cabo antes de la lixiviaci3n por medio de una soluci3n de agua oxigenada en presencia de di3xido de carbono.

15

3. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicaci3n 1, donde la fase de oxidaci3n se lleva a cabo antes de la lixiviaci3n por medio de una soluci3n que contiene una mezcla de 3xigeno y di3xido de carbono a presi3n.

4. Un procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 1, 2 3, donde el metal alcalinot3rreo es calcio.

20

5. Un procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 1, 2 3, donde el metal alcalinot3rreo es magnesio.

6. Un procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 1, 2 3, donde se utiliza una soluci3n formada de agua natural dura para la lixiviaci3n.

25

7. Un procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 1, 2 3, donde se utiliza para la lixiviaci3n una soluci3n de carbonato y bicarbonato que se forma a partir de los compuestos alcalinot3rreo presentes en el mineral.

30

8. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, donde despu3s de pasar el uranio a la disoluci3n, la presi3n de CO₂ por encima de esta

1 solución se reduce 24 bares por expansión si esta presión
es superior a dicho valor, mientras al mismo tiempo se re-
cicla el CO₂ liberado por la expansión y se mantiene la pre-
sión de CO₂ tal y como está si es menor que o igual a 4 ba-
5 res, separar después las sustancias insolubles de la frac-
ción acuosa conocida como licor de lixiviación en estas con-
diciones.

9. Un procedimiento de acuerdo con la reivindica-
ción 8, donde la fase de oxidación/lixiviación es seguida
10 por una fase de recuperación que comprende primero expandir
los gases que acompañan al licor de lixiviación hasta pre-
sión atmosférica seguido por expansión a vacío, y el CO₂
liberado es reciclado durante estas operaciones, luego tra-
tar el licor desgasificado con agua de cal a un pH compren-
15 dido entre 8 y 9, lo que conduce a la formación de un pre-
cipitado de carbonato de cal que se separa de la porción
líquida y se recicla, finalmente tratar esta porción líqui-
da con agua de cal a un pH comprendido entre 10 y 12, con
lo que se forma un precipitado de uranato y carbonato de
20 calcio, recuperar el precipitado por separación de sus lico-
res madres, y reciclar dichos licores.

10. Un procedimiento de acuerdo con la reivindica-
ción 8, donde la fase de oxidación/lixiviación es seguida
25 por una fase de recuperación que comprende primero expandir
los gases que acompañan al licor de lixiviación hasta pre-
sión atmosférica, seguido por expansión a vacío, reciclar el
CO₂ liberado, luego separar y reciclar el carbonato de cal-
cio que ha sido precipitado del licor durante estas dos ex-
pansiones y tratar el líquido de este último licor con agua
30 de cal a un pH comprendido entre 10 y 12, con lo que se for-

1 ma un precipitado de una mezcla de carbonato de calcio y de
uranato de calcio, separar el precipitado de su licor madre
y reciclar el licor madre.

5 11. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8, donde la fase de oxidación/lixiviación es seguida
por una fase de recuperación que comprende expandir los gases
que acompañan al licor de lixiviación hasta presión
atmosférica, reciclar el CO_2 liberado durante esta operación
separar y reciclar el carbonato de calcio que ha precipitado
10 del licor durante la expansión, y tratar este último licor
con una solución de peróxido de hidrógeno para formar
peróxido de uranio reparando el peróxido de uranio de su
licor madre y reciclar el licor madre.

15 12. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8, donde la fase de oxidación/lixiviación es seguida
por una fase de recuperación que consiste en hacer pasar el
licor de lixiviación a través de un lecho de resinas de intercambio
iónico a presión.

20 13. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 12, donde la fase de recuperación incluye aumentar la
presión del dióxido de carbono de los gases que acompañan
al licor de lixiviación entre 0 y 1 bar, y hacer pasar el
licor a través de un lecho de resinas aniónicas de fórmula
 R-HCO_3 , a presión.

25 14. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de
las reivindicaciones de 1 a 13, donde cuando se aplica in situ
para recuperar el uranio del propio depósito de mineral
los depósitos acuíferos se restablecen por aumento del pH
de la solución de lixiviación a un valor comprendido entre
30 8 y 9, por medio de una solución de hidróxido de metal alcalino.

1 linotérreo.

5 15. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, donde las soluciones de carbonato y de bicarbonato de un metal alcalinotérreo utilizadas para la lixiviación están a una presión de dióxido de carbono inferior a 60 bares y a una temperatura comprendida entre 0 y 100°C.

10 16. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, donde el uranio se extrae de depósitos subterráneos formando una solución de dióxido de carbono que tiene una concentración de bicarbonato inferior a 5 gramos/litro, que está exenta de carbonatos y bicarbonatos de metal alcalino y de amonio, y que contiene oxígeno o su equivalente a una concentración equivalente cuando menos a una atmósfera de
15 aire; poner en contacto los depósitos subterráneos con la solución en presencia de iones calcio; e impulsar dicha solución hasta la superficie.

20 17. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 16, donde la solución está saturada con dióxido de carbono.

18. Un procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 16 o 17, donde se añade aire a la solución para hacerla oxidante.

25 19. Un procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 16, 17 o 18, donde en la solución los iones calcio proceden de la disolución de los depósitos subterráneos de calcita.

30 20. Un procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 16, 17 ó 18, donde se introducen iones calcio en la solución haciendo pasar la solución sobre un compuesto de

1 calcio antes de que la solución sea inyectada en el interior de la tierra.

21. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 20, donde el compuesto de calcio es CaCO_3 .

5 22. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 20, donde el compuesto de calcio es CaO .

23. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 16 a 22, donde se añade peróxido de hidrógeno a la solución.

10 24. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 23, donde la cantidad de peróxido de hidrógeno está comprendida entre 0.5 y 1 gramo por litro de la solución.

15 25. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 16 a 22, donde después de aplicar el procedimiento a un depósito de uranio subterráneo, el procedimiento se repite utilizando una solución a la cual se ha añadido peróxido de hidrógeno.

20 26. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 16 a 25, donde la fase de oxidación/lixiviación es seguida por una fase de recuperación que comprende hacer pasar la solución a través de una columna de intercambio iónico, con lo que el uranio de la solución es recogido en la columna.

25 27. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 26, donde el uranio es eluido de la columna y precipitado de la solución de elución.

30 28. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 27, donde el uranio precipitado es calcinado para producir U_3O_8 .

URANERZ U.S.A. INC. 2) WYOMING MINERAL CORPORATION
 MINATOME CORPORATION.

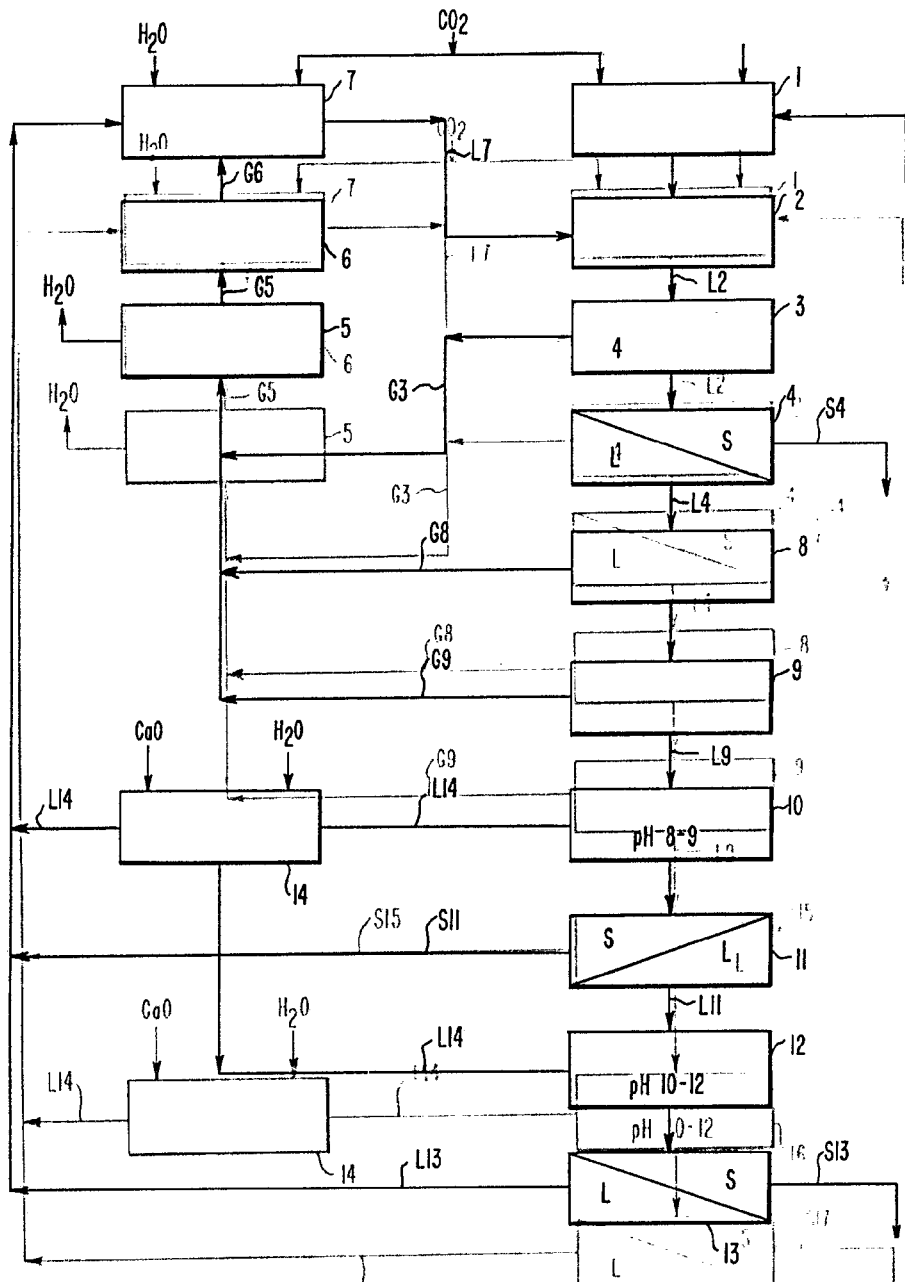


FIG. 1 117

FIG. 2

ESCALA VARIABLE
 Madrid, 28 diciembre 1.977
 BERNARDO UNGRIA
 p.p.
 Madrid

POOR
 QUALITY

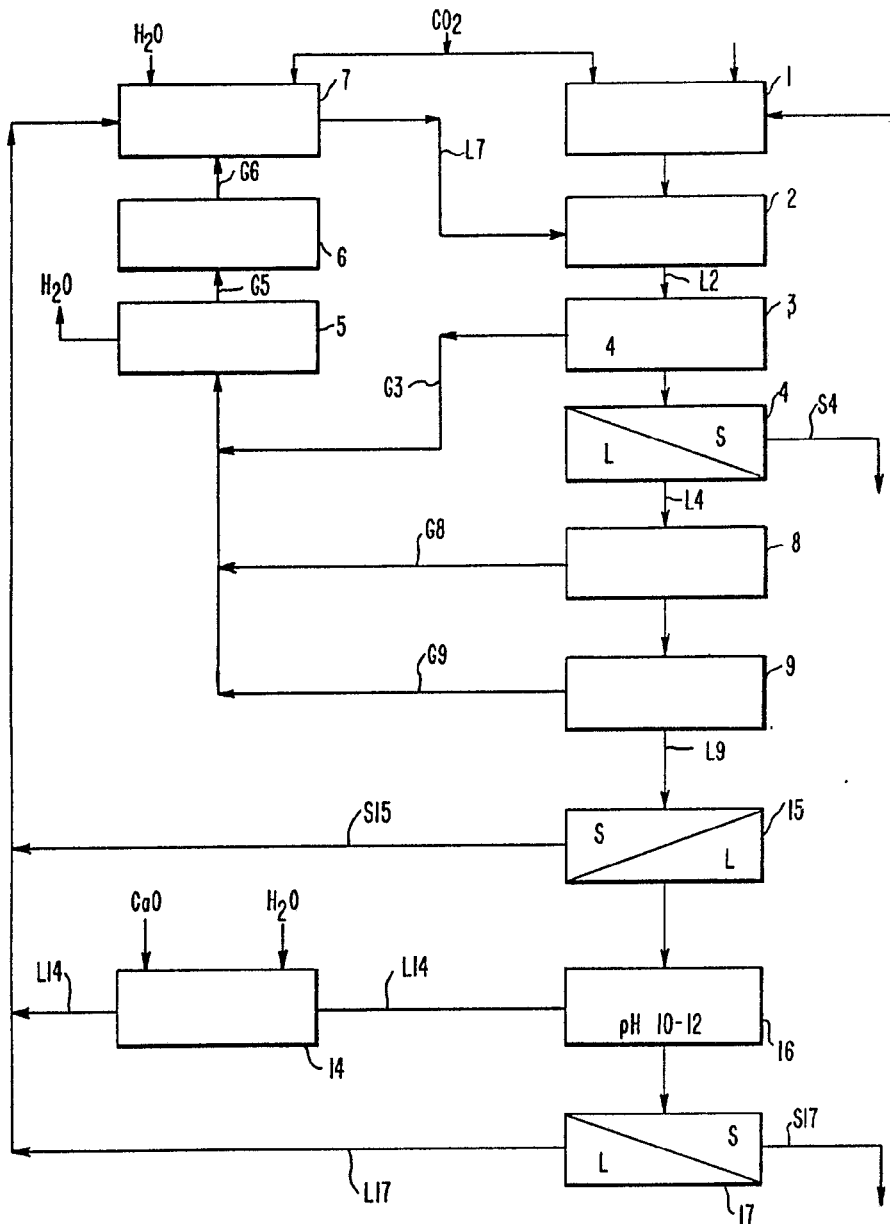


FIG. 2

ESCALA VARIABLE
Madrid, 28 dicembre 1.977
BERNARDO UNGRIA
P.D.

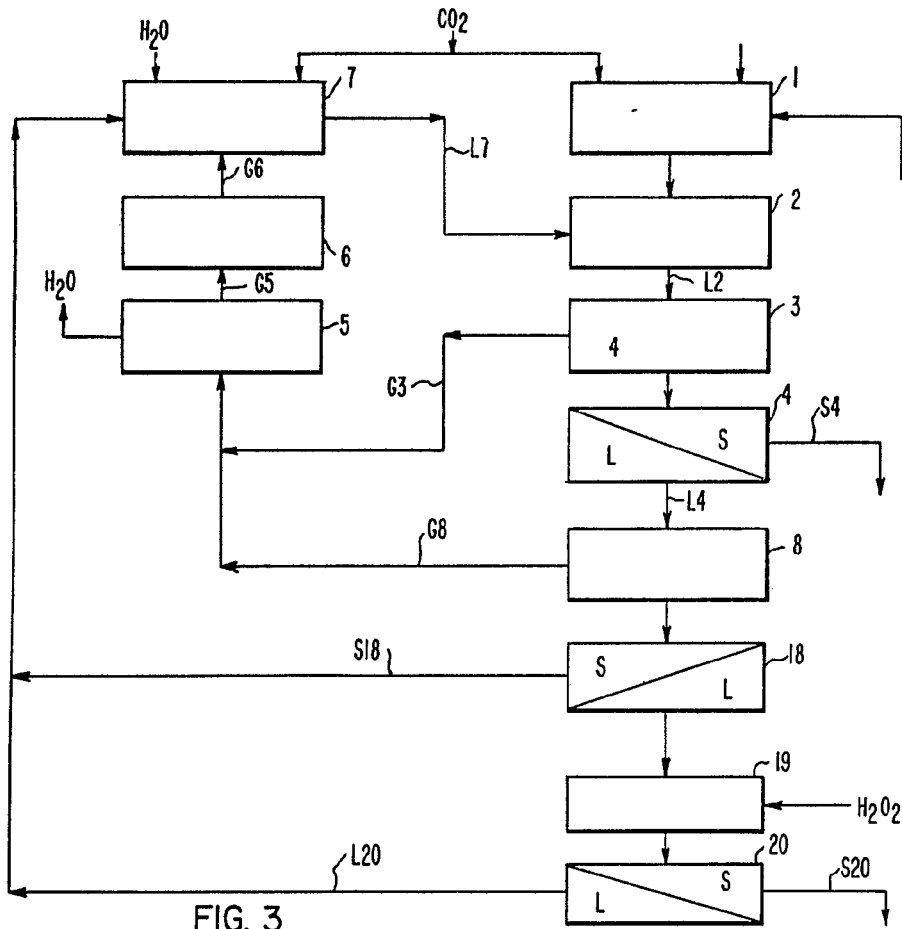


FIG. 3

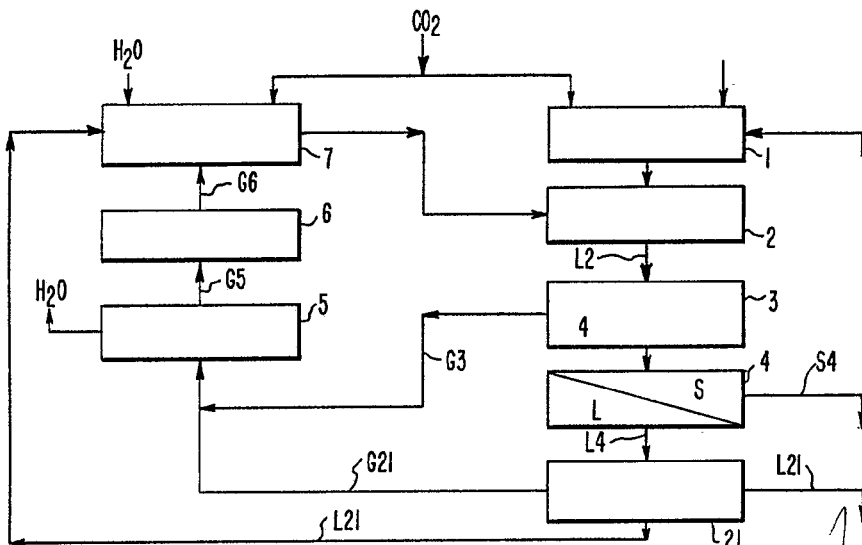


FIG. 4

ESCALA VARIABLE
 Madrid, 28 diciembre 1.977
 BERNARDO UNGER
 p.p.