

- 2 OCT. 1975

P. - 61.297 40
W.E. Case No. 45.294

MEMORIA DESCRIPTIVA

Int. Cl. C22B; B01D

para solicitar PATENTE DE INVENCION

a nombre de WYOMING MINERAL CORPORATION

entidad norteamericana

establecida en 55 West 5th Avenue, Denver, Colorado 80204,
Estados Unidos de América.

por: "PROCEDIMIENTO PARA LIXIVIAR IN SITU URANIO DE DEPOSITOS DE MENA DE URANIO"

La presente invención se refiere a la recuperación de uranio de depósitos o masas de mena subterráneos por lixiviación in situ, y al subsiguiente tratamiento de la solución de lixiviación enriquecida, para recuperar de dicha mena compuestos de uranio relativamente puros.

Se han hecho esfuerzos en el pasado para recuperar las cantidades valiosas de mineral de depósitos de mena subterráneos introduciendo diversas soluciones de lixiviación, para evitar los costes y problemas de la minería, tales como los implicados en hacer túneles, voladuras y extracción de mena a la superficie, y tratamiento posterior de la mena por medios diversos, tales como por molienda, molienda con bolas y flotación, seguidos por disolución química o pirometalurgia para recuperar de ellos los minerales deseados. La aplicación de soluciones de lixiviación de diversos tipos a depósitos de mena subterráneos se ha intentado con resultados que han variado mucho, y solo unos pocos han tenido un éxito concreto, tal como, por ejemplo, en la recuperación de azufre y sal. Uno de los problemas que conducen a la falta de éxito para extraer otros minerales por lixiviación ha sido el hecho de que tales otros minerales, cuya recuperación por lixiviación in situ se desea, constituyen a menudo solo una pequeña proporción del volumen total de

minerales solubles y ganga insoluble en la masa de me
na subterránea. En consecuencia, las soluciones de li
xivación han de penetrar profundamente en masas de
ganga, para una pequeña recuperación de las cantidades
5 valiosas de mineral deseado. Además, las soluciones
de lixiviación, muy a menudo, han reaccionado con o
han sido contaminadas por otros numeros minerales dis
tintos de los particularmente deseados, así como por
arcillas y sales. Esto se origina debido a que los con
10 taminantes también han sido disueltos demasiado bien
por la solución de lixiviación. Las soluciones de lixi
viación así contaminadas han necesitado mucho tratamient
to subsiguiente de refinó para separar eficazmente el
mineral deseado de los materiales indeseados. Un tercer
15 factor es que se emplean necesariamente cantidades exce
sivas de materiales de lixiviación caros, debido a que
grandes proporciones de ellos se disipan, tal como por
reacción de los ácidos de lixiviación con caliza o cal
cita, o bien unos volúmenes sustanciales de las costo-
20 sas soluciones de lixiviación escapan o son atrapados y
perdidos en las grietas del depósito de mena, y nunca
se recuperan.

Estos problemas de la lixiviación in si-

tu son particularmente críticos en el procedimiento de recuperación de uranio, que está presente en pequeños tantos por ciento en la mayoría de los depósitos de mena que son razonablemente susceptibles de lixiviación in situ.

5

La patente de los EE.UU. 2.738.253, expedida el 13 de marzo de 1956, describe una aplicación inicial de una solución acuosa de clorato sódico a una masa de mena que lleva uranio, seguido por una solución de lixivación ácida, pudiendo esta última tener o no tener clorato sódico adicional presente en ella, para recuperar las cantidades valiosas de uranio. Los inventores de esa patente indican el hecho de que esas masas de mena están a menudo asociadas con hierro ferroso, junto con uranio tetravalente. El uranio tetravalente es relativamente insoluble en la solución de lixivación. Empleando clorato sódico, la patente enseña que se efectúa la oxidación del hierro ferroso a hierro férrico, y del uranio tetravalente a uranio hexavalente, de manera que la solución de lixivación ácida disolverá fácilmente al uranio, y le hará quedar disponible.

10

15

20

Se conocen otras soluciones de lixivación ácidas, tal como en la patente de los EE.UU. 3.309.141, expedida el 14 de marzo de 1967, que expone la combinación de ácido sulfúrico y clorato sódico en una solución

25

de lixiviación para extraer uranio de mena que lleva ura-
nio. La patente nº 3.309.140, expedida el 14 de marzo de
1967, enseña el uso de una solución de lixiviación que
5 comprende de 5 a 25 gramos por litro de ácido nítrico y
de 0,5 a 2 gramos por litro de clorato sódico. Se enseña
que el clorato sódico se emplea para oxidar el uranio te-
travalente al ión uranio hexavalente más soluble. Los clo-
ratos y el ácido nítrico son ambos relativamente caros,
y tienen otros inconvenientes debidos a sus efectos muy
10 corrosivos sobre válvulas metálicas, tubería, etc.

Un cierto número de patentes han expuesto
el empleo de soluciones de carbonato sódico para extraer
uranio de depósitos subterráneos por una operación de li-
xivación. La patente de los EE.UU. 2.964.380, expedida
15 el 13 de diciembre de 1960, expone el concepto general de
un lixivador que comprende una solución de carbonato só-
dico al 3% en agua, la cual, cuando se aplica a mena de
uranio machacada, lixivía de ella al uranio.

La patente de los EE.UU. 2.896.930, expedi-
20 da el 28 de julio de 1959, indica en general que una so-
lución acuosa que contiene "menos de 50 gramos por litro
de carbonatos disueltos" es adecuada para lixiviación sub-
terránea de mena de uranio. Se menciona un "carbonato de
metal alcalino" como adecuado para tal servicio de lixi-
25 viación. Esta patente indica en general que "es ventajoso

incorporar un agente oxidante, tal como peróxido de hidrógeno, en la solución de lixiviación". En esa patente no se dan datos específicos ni ninguna proporción específica de composiciones adecuadas, aparte del límite superior antes citado para carbonatos no especificados. En la parte inferior de la columna 3 de esa patente se sugiere que la recuperación del uranio, ya sea de la solución de lixiviación o de un disolvente inorgánico en el que se haya incorporado por extracción con disolvente, se puede efectuar usando una resina de intercambio de iones.

Otra patente que expone el uso de carbonatos es la 2.818.240, expedida el 31 de diciembre de 1957. Esa patente expone que las soluciones de carbonato que comprenden 5 a 14% de carbonato sódico, 2% de bicarbonato sódico y 5% de cloruro sódico forman soluciones acuosas que tendrían un pH de 9,9 a 9,6, pero que el cloruro sódico reduce el pH a 9,3. Esa patente enseña también que las soluciones acuosas de un pH de 9,6 o ligeramente mayor son eficaces para separar por lixiviación más de los diversos materiales carbonosos del depósito de mena. La patente enseña también que el bicarbonato sódico deprime el pH, y luego indica: "lo que es indeseable" para asegurar una lixiviación máxima de material carbonoso, como se desea. La patente 3.708.206, expedida el 2 de ene

ro de 1973, enseña el bombeo de un gas que lleva oxígeno, tal como aire, en una masa de mena de uranio, para oxidar el uranio al estado hexavalente, y tras muchas horas o días de exposición al gas oxidante se
5 bombea una solución de lixiviación, de carbonato sódico o carbonato amónico, a la masa de mena oxidada. La patente enseña, como soluciones de lixiviación deseables, aquellas que contienen de 23 a 26 gramos por litro de carbonato amónico.

10 Una patente recientemente expedida, la 3.792.903, enseña la recuperación de uranio de masas de mena subterráneas, introduciendo lixivadores que comprenden carbonato sódico y un oxidante, que más tarde puede comprender aire, oxígeno o peróxido de hidrógeno.
15 No se dan composiciones específicas de la solución, excepto en que la patente indica que la relación entre la solución lixivadora de carbonato sódico y la solución oxidante puede ser 1:1 a 1:10 en volumen.

La patente 3.130.960, expedida el 28 de abril
20 de 1964, enseña el uso, como solución de lixiviación, de agua impregnada de dióxido de carbono gaseoso aplicada a depósitos de mena de uranio y vanadio. Se indica que tales soluciones de lixiviación deben comprender al menos 20% de la máxima carbonatación posible, donde 100% es
25 igual a 30 volúmenes de dióxido de carbono por volumen

de agua. Esas soluciones son evidentemente ácidas. Treinta volúmenes de dióxido de carbono en un volumen de agua proporcionan aproximadamente 59 gramos por litro de dióxido de carbono, mientras que un 20% de carbonatación introduce aproximadamente 12 gramos de dióxido de carbono por litro. Esa última patente enseña también que la solución de lixiviación, tras haber pasado a través de la masa de mena y volver a la superficie, se trata con cal para precipitar las cantidades valiosas de uranio y vanadio.

Por lo que antecede será evidente que las soluciones de lixiviación han sido en general relativamente concentradas, y han comprendido ácidos o carbonatos de metal alcalino. La patente 2.618.240 es la única patente que emplea un bicarbonato, concretamente bicarbonato sódico, en una solución de lixiviación.

Los siguientes artículos, que comprenden trabajos presentados en Ginebra, Suiza, del 1 de setiembre al 13 de setiembre de 1958, como parte de las "Reuniones de la segunda conferencia internacional de las Naciones Unidas sobre usos pacíficos de la energía atómica", publicados en el Volumen 3, "Processing of Raw materials", son de interés respecto a la presente invención.

1. "The Role of Process Development in Western United States Procurement" por J.W. Barnes, páginas 183 a 190;

2. "Some Variations of Uranium-Are Treatment Procedures" por E.A. Brown y otros, páginas 195 a 200;
- 5 3. "Kinetics of the Dissolution of Uranium Dioxide in Carbonate-Bicarbonate solutions", por W.E Schortmann y M.A. DeSesa, páginas 333 a 344; y
- 10 4. "Extraction of Uranium from Solutions of Sodium Carbonate by Means of Anionic Exchange with Dowex Resin", por Urgell y otros; páginas 444 a 464.

15 Sin embargo, ninguno de los métodos para recuperar uranio de depósitos de mena de uranio por lixiviación ha resultado ser adecuado para operaciones comerciales de recuperación.

Por tanto, el objeto principal de la presente invención es proporcionar un método perfeccionado para recuperar uranio de depósitos de mena subterráneos, utilizando lixiviación in situ, que es comercialmente adecuado, relativamente barato y proporciona grandes índices de recuperación.

25 Con este objeto a la vista, la presente invención estriba en un procedimiento para lixiviar in situ uranio de depósitos de mena de uranio, donde una solución acuosa de lixiviación se hace pasar a través del depósito

de mena para disolver el uranio de los depósitos, enri-
queciendo así la solución acuosa de lixiviación, que
luego se extrae del depósito de mena, tras lo cual el
uranio se desplaza de la solución acuosa de lixiviación
5 enriquecida, caracterizado porque dicha solución acuosa
de lixiviación se ajusta a un pH de 7,4 a 9, y compren-
de esencialmente 0,5 a 5 gramos por litro de bicarbona-
to amónico y 0,1 a 3 gramos por litro de H_2O_2 , añadién-
dose el peróxido a la solución de lixiviación en un pun-
10 to justamente antes de que entre en contacto con la me-
na. Las soluciones acuosas diluídas, ligeramente alcali-
nas, de bicarbonato amónico (aproximadamente 0,5 a 5 gra-
mos por litro), que contienen pequeñas cantidades de pe-
róxido de hidrógeno (aproximadamente 0,1 a 3 gramos por
15 litro de H_2O_2) convierten primero al uranio tetravalen-
te del depósito de mena al estado hexavalente, y en se-
gundo lugar disuelven preferentemente al uranio hexava-
lente, de manera que en general, en la solución de lixi-
viación está presente una proporción mucho menor de va-
20 nadio, molibdeno, arsénico, selencio y otros metales o ele-
mentos que puedan estar asociados con el uranio en el de-
pósito de mena. Después, la solución de lixiviación enri-
quecida en uranio y relativamente pobre en otros contami-
nantes minerales, se lleva a la superficie y se extrae de

25

ella el uranio. Preferiblemente, la extracción del ura-
nio se efectúa poniendo en contacto la solución de li-
xivación enriquecida con un material de intercambio de
aniones básico fuerte, tal como una resina de intercam-
5 bio de iones en partículas, y eluyendo luego el uranio
de la resina de intercambio de iones con una solución
adecuada, y finalmente tratando el eluato fecundo por
ejemplo, primero con un ácido y luego con amoníaco, pa-
ra precipitar de él diuranato amónico relativamente pu-
10 ro.

Las soluciones de lixiviación empleadas no
causan deterioro material ni contaminación de los depósi-
tos subterráneos, ni de ningún acuífero asociado con el
depósito de mena. Además, el procedimiento produce por en-
15 cima de la superficie del terreno un volumen muy bajo de
impurezas y de solución de desecho que requiera elimina-
ción.

Las cantidades valiosas de uranio soluble
residual, así como las trazas de elementos tales como se-
20 lenio, vanadio y molibdeno presentes en la masa de la me-
na tras haber efectuado la lixiviación hasta un nivel eco-
nómico, se estabiliza introduciendo en una etapa final una
solución reductora en el depósito de mena. Una solución
acuosa con una pequeña concentración de sulfuro de hidró-
25 geno o tiosulfato amónico, por ejemplo, se inyecta en el

pozo y de allí a la masa de mena, de manera que se precipiten y se hagan insolubles todos aquellos elementos de la masa de mena que se hacen solubles al ser oxidados. Esto asegura que al completarse el procedimiento se reduzcan sustancialmente mucho o incluso se eliminen, los inconvenientes ambientales.

El procedimiento ha resultado ser muy eficaz, de manera que se puede recuperar con coste económico 80 a 85%, y en algunos casos tanto como 90 a 95% o incluso más, del uranio de un depósito de mena. Es igualmente importante el hecho de que el procedimiento cause un mínimo de perturbaciones ecológicas.

La invención se hará más fácilmente evidente por la siguiente descripción detallada de realizaciones preferidas de la misma, dadas a título de ejemplo solo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La Figura 1 es una sección transversal de un depósito de frente rodante que contiene uranio y elementos asociados, en una interfase redox;

La Figura 2 comprende dos gráficos separados verticalmente, representando el nivel, en partes por millón, de un cierto número de elementos comúnmente asociados, incluyendo uranio, en los depósitos de frente rodante, en relación a la distancia a cada lado de la interfase redox;

La Figura 3 es un diagrama de flujo de lixiviación in situ de la presente invención; y

5 La Figura 4 es una vista en planta del aparato que manipula y distribuye diversas soluciones y el equipo asociado, junto con una disposición de pozo, aplicado a un ejemplo de depósito de mena subterráneo ilustrativo, que comprende un sistema de lixiviación in situ y recuperación de uranio.

10 La presente invención se adapta a la recuperación de uranio de depósitos de mena subterráneos en los que el uranio está generalmente en estado tetravalente, y está asociado con hierro y otros minerales o cantidades valiosas de metales. Son representativos de tales depósitos de mena aquellos que se denominan depósitos de
15 frente rodante, en y adyacente a una interfase redox.

En breve, los estudios geológicos han establecido el hecho de que el uranio que ha sido llevado a la superficie de la tierra por acción volcánica o similar se disolverá en cierto grado en las aguas superficiales que
20 contienen agentes oxidantes junto con ácido carbónico. Las corrientes que contienen el uranio disuelto, junto con otras cantidades valiosas de metal, pueden fluir a depósitos de arena fluvial o en algunos casos areniscas porosas, que muy frecuentemente tienen por encima y por debajo capas
25 de sedimento arcilloso de baja permeabilidad. Tales depó-

sitos de arena o arenisca pueden comprender arenas de cuarzo o sílice, feldespatos y a menudo comprenden minerales de carbonato tales como calcita, y tienen grados variables de porosidad y/o permeabilidad. En los depósitos de arena o arenisca pueden estar incluidas cantidades variables de materia carbonosa, tal como residuos de madera o plantas y sulfuro de hierro. Algunas veces hay depósitos de petróleo o gas hidrocarbónico por debajo de esa arenisca, y el petróleo o gas puede percolar lentamente a través de ella. En ciertas áreas, el sulfuro de hidrógeno que puede estar presente en posición más subterránea se puede difundir o fugar a los depósitos de arenisca, produciendo un estado reductor, mientras que la calcita y el feldespato tienden a producir un estado básico en la arenisca. Cuando las aguas en circulación que contienen uranio y otros minerales disueltos entran en tales depósitos de arenisca en los que hay presentes condiciones reductoras y no ácidas, el uranio se reduce al estado tetravalente e inmediatamente precipita dentro de los intersticios de la formación de arena o arenisca. El vanadio, molibdeno y selenio, así como otros elementos, se reducen al mismo tiempo y también se depositan, ya sea concurrentemente con el uranio o cerca.

25 Haciendo referencia a la Figura 1 de los

dibujos, se ilustra un ejemplo de sección transversal a través de un depósito rodante de mena que muestra una interfase redox en forma de bala, que tiene una interfase redox tangencial vertical en la cabeza de la zona oxidada, en el centro de la figura. En el área de la interfase redox existente entre una zona oxidante, a través de la cual entran desde la izquierda las aguas que contienen uranio y otros minerales disueltos, y una zona reductora en la que las aguas entran en contacto con los materiales reductores de la arena o arenisca, el uranio precipita durante un periodo de tiempo, produciendo una zona de mena relativamente concentrada en los intersticios de la arena o arenisca. También precipitan otros minerales de la corriente de agua, ya sea justamente antes o después de que se deposite el uranio. Las aguas agotadas en mineral atraviesan luego por la derecha, a lo largo del gradiente hidrológico a través de la zona reducida, y luego desaparecen del área. En la zona oxidada de la izquierda de la Figura 1, la arenisca tiene color marrón o rojo, lo que indica la presencia de óxido férrico (Fe_2O_3 o $\text{FeO}(\text{OH})$) precipitado. Existe una interfase relativamente acusada entre la zona oxidada y la zona reductora, lo que se pone en evidencia por el cambio abrupto de color a un color gris claro o gris amarillento característico de los minerales reducidos.

El espesor usual de la arenisca que contiene estos mi
nerales es del orden de 3 a 15 m en dirección verti-
cal. La magnitud lateral de un depósito de mena pue-
de ser decenas o incluso centenares de metros. Las
5 distancias horizontales respecto a la interfase redox
tangencial vertical se indican típicamente en la Figu
ra 1. Esta arenisca que contiene mineral está usual-
mente confinada entre sedimentos arcillosos o pizarras
relativamente impermeables.

10 Es importante conocer el orden general
de deposición de algunos de los elementos más importan
tes, respecto a la interfase redox, y estos se muestran
en la Figura 2 para un depósito típico de frente rodan-
te que se halla en Tejas. Se observará que el uranio pre
15 cipita empezando casi exactamente en la interfase redox,
habiendo poco presente en la zona oxidada, y en la zona
reducida la concentración de uranio disminuye constante-
mente, de manera que la deposición de uranio está practi
camente toda concentrada dentro de aproximadamente los
20 primeros 150 m desde la entrada en la zona reducida a
partir de la interfase redox. En un depósito en Tejas,
en la formación Catahoula, la concentración máxima de
uranio es aproximadamente 2000 ppm en la interfase re-
dox, y la concentración disminuye según una línea casi
25 recta hasta un valor de 10-20 ppm en el punto de 120-140 m.

Como es evidente en la Fig. 2, el vanadio es
tá más ampliamente distribuido en una distancia conside
rable de la zona oxidada antes de la interfase redox,
alcanzando concentraciones de aproximadamente 800 ppm en
5 la interfase redox, y disminuyendo luego lentamente has-
ta una concentración menor, que se extiende durante al-
guna distancia en el área reducida. El selenio precipi-
ta prácticamente todo en la zona oxidada, en unos 60 m
justo inmediatamente antes de la interfase redox. Por
10 otra parte, el molibdeno no parece precipitar hasta que
la corriente de agua que lo lleva ha pasado varias dece-
nas de metros desde la interfase redox, a áreas de condi-
ciones fuertemente reductoras. También es significativo
que la mayoría del molibdeno está presente como disulfu-
15 ro de molibdeno. Ambos, selenio y molibdeno, alcanzan con
centraciones máximas de aproximadamente 200 pp. El hierro
ferroso está presente en proporciones muy variables por
todo el área de la zona reducida, donde las areniscas son
generalmente de naturaleza alcalina, teniendo un valor de
20 pH tamponizado de aproximadamente 8.

Debido a la presencia de cantidades sustan-
ciales de calcita y otros carbonatos alcalinotérreos en
frentes rodantes, el uso de soluciones de lixiviación áci
das no es a menudo económicamente factible. En muchas de
25 tales areniscas, los ácidos reaccionarán con los diversos

carbonatos de metal alcalinotérreo, tal como carbonatos de magnesio y calcio, antes de que puedan empezar a disolver uranio. En consecuencia, se perderá mucho ácido en depósitos de mena que tienen cantidades sustanciales de dolomita y caliza.

Según la presente invención, se ha descubierto que los depósitos de mena que tienen características tales como las ilustradas en las Figuras 1 y 2 de los dibujos se pueden lixiviar rápida y económicamente para recuperar una proporción grande del uranio, en estado relativamente puro y solo escasamente contaminado con otros elementos. En particular, se ha descubierto que las soluciones de lixiviación relativamente diluídas que contienen de aproximadamente 0,5 a 5 gramos, siendo el óptimo 1 a 2 gramos, por litro de bicarbonato amónico $(\text{NH}_4)\text{HCO}_3$, pequeñas proporciones de 0,1 a 3 gramos por litro de peróxido de hidrógeno (H_2O_2), que preferiblemente se añade como peróxido de hidrógeno acuoso en concentración de al menos 20%, y preferiblemente en concentración de 30% a 40%, con el amoníaco suficiente para llevarlas a pH de 7,4 a 9, y preferiblemente 7,5 a 8,5, disolverán preferentemente al uranio y solubilizarán una menor proporción del hierro, vanadio, molibdeno, arsénico, selenio y otros elementos que puedan estar presentes en el depósito de mena. En la solución de lixiviación está presente una proporción muy mejo

rada de uranio al total de los otros contenidos de ele
mentos, en comparación con las proporciones de uranio
a esos otros elementos en el depósito de mena. Algunos
elementos se disuelven en cantidad extremadamente peque
5 ña, en comparación con la proporción de esos elementos,
respecto al uranio, en el depósito de mena. En consecuencia
cia, hay un beneficio inmediato en lo que respecta al
uranio recuperado.

Las soluciones de lixiviación fecundas de
10 bicarbonato amónico, que se retiran del depósito están
moderadamente enriquecidas en uranio, hasta una magnitud
de 100 a 1000 ppm de uranio. Se han obtenido soluciones
de lixiviación con de 200 a 245 ppm de uranio, calculado
como U_3O_8 , bajo condiciones de lixiviación en estado es
15 tacionario.

Las soluciones de lixiviación se retiran
del depósito de mena subterráneo tras haber sido intro-
ducidas en él mediante uno o más pozos de inyección es-
paciados respecto a uno o más pozos de extracción, por
20 los cuales pozos de extracción se recupera la solución
de lixiviación enriquecida.

Haciendo referencia a la Figura 3 de los
dibujos, hay un diagrama de flujo que ilustra la prácti-
ca general global de la presente invención. La solución
25 de inyección para lixiviación comprende de 0,5 a 5 gra-

mos por litro de bicarbonato amónico y de aproximada-
mente 0,1 a 3 gramos por litro de peróxido de hidróge-
no, añadido ordinariamente como peróxido de hidrógeno
acuoso, y se añade el amoníaco suficiente para llevar
5 el pH de la solución a aproximadamente 7,4 a 9. El pe-
róxido de hidrógeno se añade preferiblemente a la so-
lución de lixiviación inmediatamente antes de que se
suministre al pozo de inyección que conduce al depósi-
to de mena subterráneo, de manera que el peróxido de
10 hidrógeno no se descomponga prematuramente. El peróxi-
do de hidrógeno se podría añadir incluso a la solución
de lixiviación en el entubado del pozo, asegurando que
esté bien mezclado con ella antes de que la solución de
lixiviación entre en la masa de mena. La solución de li-
15 xiviación en el pozo de inyección está usualmente bajo
una presión de 3,5 a 17,6 kg/cm². La presión depende en
parte de la permeabilidad de la arenisca, y en parte de
la distancia del pozo de inyección desde uno o más pozos
de extracción. Se debe entender que la inyección de la
20 solución de lixiviación se puede efectuar en uno o más
pozos de inyección, ya sea simultáneamente o en serie.

Se ha hallado que se obtienen buenos re-
sultados cuando los pozos de inyección se disponen alre-
dedor de uno o más pozos de extracción situados central-
25 mente, que se pueden espaciar para que proporcionen una

distancia de aproximadamente 7 a 30 m entre un pozo de inyección y el pozo de extracción más próximo. En algunos casos el pozo de inyección se puede localizar ventajosamente en el lado superior del gradiente hidráulico natural respecto a los pozos de extracción. En el entubado del pozo se disponen perforaciones cuidadosamente localizadas, para permitir que la solución de lixiviación fluya directamente solo a la zona de mena. La solución de lixiviación, al pasar a través de la masa de mena, oxidará al hierro ferroso a hierro férrico, y el uranio tetravalente presente se convierte al estado hexavalente. El bicarbonato amónico de la solución de lixiviación reacciona con y disuelve fácilmente al uranio hexavalente, en forma de complejo de bicarbonato de uranilo. Se disuelve muy poco hierro en la solución de lixiviación. A medida que la solución de lixiviación entra en contacto con el uranio de la arenisca, y oxida y luego disuelve al uranio hexavalente resultante, deja expuesto cualquier uranio tetravalente antes oculto o subyacente, que a su vez es oxidado y luego disuelto. Tras pasar a través de la arenisca u otra formación, la solución de lixiviación enriquecida pasa a través de perforaciones en el pozo o pozos de recuperación o extracción. Usualmente se pondrá una bomba en el fondo del pozo de recuperación, y la carga de agua

en el pozo de recuperación se mantiene a bajo nivel en el pozo, de manera que haya una carga hidrostática baja en la formación adyacente al pozo de extracción. En consecuencia, se extiende un gradiente hidráulico desde el pozo de inyección al pozo de extracción, haciendo así que la solución de lixiviación fluya o percole a través de la formación de arenisca, hacia el pozo de extracción. Si se desea, se puede tapar el pozo de extracción, y hacer funcionar en el fondo una bomba para crear un vacío respecto al depósito de mena que le rodea, de manera que la solución de lixiviación sea arrastrada más fuertemente hacia el pozo de extracción.

Los ensayos han indicado que la solución diluída de bicarbonato amónico disuelve al uranio hexavalente con sustancial preferencia frente a otras cantidades valiosas de minerales que también sean solubles en esta solución de lixiviación. Así, suponiendo una proporción arbitraria entre uranio y los otros elementos del depósito de mena igual a 1000 a 100, la proporción de uranio a los otros elementos en la solución de lixiviación enriquecida puede ser del orden de 1000 a 5-10. Así, por uso de la solución de lixiviación de bicarbonato amónico alcalina diluída, se obtiene una mejora de aproximadamente 10 a 20 veces en la proporción

de uranio recuperado, respecto a los otros elementos.

Así, en un caso, cuando la masa de mena tenía 1269 ppm de U (calculado como U_3O_8), 106 ppm de vanadio, 12 ppm de arsénico, 8 ppm de molibdeno y 3 ppm de selenio, la proporción de uranio a arsénico era 106, la proporción de uranio a selenio era 403, y la de uranio a molibdeno era 159. Tras pasar una solución acuosa de lixiviación que contenía 0,95 gr por litro de bicarbonato amónico y 2,2 gramos por litro de peróxido de hidrógeno, la solución presentó una proporción de uranio a molibdeno de 6800, una proporción de uranio a arsénico de 5667, una proporción de uranio a selenio de 531, y una proporción de uranio y molibdeno de 59. Un ensayo posterior de la solución de lixiviación de este pozo mostró que tenía ahora una proporción de uranio a molibdeno de 259, mientras que la proporción de uranio a selenio era 15.436. Se halla muy poco hierro en la solución de lixiviación. En consecuencia, la selectividad de las soluciones de lixiviación de la presente invención para el uranio, en comparación con los otros elementos, es excelente.

Como se muestra en la Fig. 3, la solución de lixiviación enriquecida bombeada desde el pozo de extracción se pasa luego a una columna de intercambio de iones que comprende un material aniónico básico fuerte, tal como un material de intercambio de iones resinoso y granu-

lar. En la columna de intercambio de iones el uranio es
extraído preferentemente de la solución de lixiviación
enriquecida, extrayéndose solo una pequeña proporción
de los otros elementos. Se hace que el material de in-
5 intercambio de iones avance en contracorriente respecto
al flujo de la solución de lixiviación, de manera que
la solución que sale directamente del pozo de extrac-
ción entra en contacto con el material intercambiador
de iones que ha captado uranio de un flujo anterior de
10 solución de lixiviación, y a medida que la solución de
lixiviación atraviesa la columna de material intercambia-
dor de iones encuentra al material intercambiador de io-
nes que ha absorbido cada vez menos uranio, y por tanto
extraerá cada vez más del uranio de la misma, hasta que
15 la solución de lixiviación casi agotada entra en contac-
to con material intercambiador de iones relativamente
nuevo, efectuando así la recuperación máxima de uranio.

El material intercambiador de aniones básico,
por ejemplo una resina intercambiadora de iones de 1000
20 a 841 micras, tal como una resina de clorometil-estireno-
divinil-benceno a la que se ha hecho reaccionar con amina
terciaria (según se describe en Chemical Engineering del
18 de marzo de 1963, en las páginas 166 y 167), cuando ha
captado casi su máxima cantidad de uranio, se retira en
25 incrementos del fondo de la columna intercambiadora de

iones, y se trata con una solución de elución. Se aplica un eluyente acuoso al material intercambiador de aniones básico, cargado de uranio, así retirado, para separar de él el uranio como dicarbonato de amonio-urano, y la resina intercambiadora de iones separada y regenerada se devuelve luego a la parte superior de la columna intercambiadora de iones, para recuperar uranio adicional. La concentración de uranio en el eluato producido por tratamiento del material intercambiador de aniones básico puede ser de 5 a 18 gramos por litro de uranio, calculado como U_3O_8 . Se puede emplear un cierto número de diferentes sistemas para poner en contacto con intercambiadores de iones, continuos y en contracorriente, y para recuperación de eluyente. Se enseñan ejemplos de sistemas adecuados en el número de enero de 1969 de "British Chemical Engineering", páginas 41 a 46, en un artículo de M.J. Slater titulado "A Review of Continuous Counter-Current Contactors for Liquids and Particulate Solids".

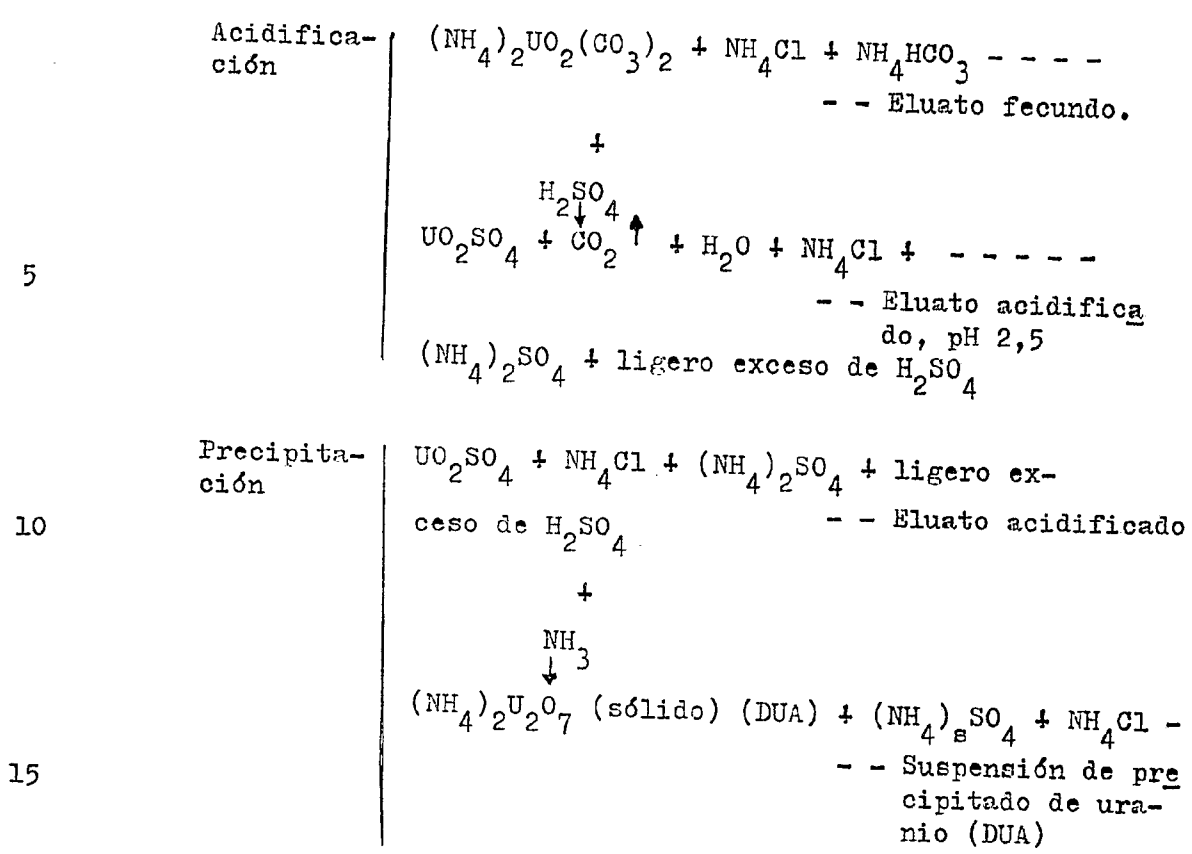
El eluato uranífero acuoso se acidifica, y luego se añade amoníaco para llevarlo a un pH de aproximadamente 7 a 8, para precipitar diuranato amónico (DUA) de gran pureza. Ordinariamente, la pureza del precipitado de DUA tras lavar es tal que las impurezas en él no excederán de aproximadamente 1%.

La solución de lixiviación estéril contiene ordinariamente sales cálcicas disueltas. Es deseable eliminar esos iones calcio antes de volver a fortalecer la solución de lixiviación. Para conseguir esto, la solución de lixiviación estéril se pasa por un intercambiador de iones en el que se sustituye el calcio por amonio. La solución de lixiviación estéril tratada se ajusta luego o se fortalece con bicarbonato amónico adicional, amoníaco y peróxido de hidrógeno, y se vuelve a inyectar en el depósito de mena, para extraer de ella uranio adicional.

El bicarbonato amónico para la solución de lixiviación se puede preparar añadiendo bicarbonato amónico a la solución acuosa de lixiviación. Sin embargo, una manera conveniente, y probablemente la menos cara, para producir la solución de lixiviación consiste en pasar simplemente amoníaco y dióxido de carbono gaseosos, en las proporciones requeridas, directamente al agua, en la que reaccionan in situ formando bicarbonato amónico. Al mismo tiempo se añade un ligero exceso de amoníaco para llevar el pH al valor deseado de aproximadamente 7,4 a 9. Se tienen resultados particularmente buenos cuando el pH de la solución de lixiviación es aproximadamente 7,7 a 8,5. La siguiente Tabla de ecuaciones comprende las reacciones básicas del procedimiento.

TABLA - QUIMICA DEL PROCEDIMIENTO

| | |
|--|---|
| Lixiviación | UO_2 (mineral) + H_2O_2 \downarrow UO_3 (mineral oxidado) + H_2O + exceso de NH_4HCO_3 \downarrow $(NH_4)_2UO_2(CO_3)_2$ + exceso de NH_4HCO_3 + H_2O - - |
| 5 | - - Solución fecunda de lixiviación. |
| Extracción de uranio por intercambio de iones con resina | $(NH_4)_2UO_2(CO_3)_2$ + exceso de NH_4HCO_3 - - - - - - - Solución fecunda de lixiviación. |
| 10 | RCl (resina forma cloruro) \downarrow $R_2UO_2(CO_3)_2 \cdot R_2CO_3 \cdot RHCO_3 \cdot RCl$ - - - - - - - Resina cargada |
| 15 | NH_4Cl + exceso de NH_4HCO_3 - - - - - - - Solución de lixiviación estéril para recirculación |
| Elución de resina | $R_2UO_2(CO_3)_2 \cdot R_2CO_3 \cdot RHCO_3 \cdot RCl$ - - - - - + - - Resina cargada |
| 20 | NH_4Cl + NH_4HCO_3 - - - - - \downarrow - - Eluyente |
| 25 | RCl - - - - - \downarrow - - Resina separada $(NH_4)_2UO_2(CO_3)_2$ + NH_4Cl + NH_4HCO_3 - - - - - - - Eluato fecundo. |



20 La solución de lixiviación enriquecida recuperada del depósito de mena puede contener pequeñas cantidades de finas partículas suspendidas de calcita y arcilla. Es deseable tratar la solución de lixiviación estéril para eliminar calcio, por filtración de la solución de lixiviación antes de volver a inyectarla en el pozo.

25 Se ha hallado que puede haber una obturación ocasional del depósito de mena en áreas adyacentes al depósito

de inyección. En consecuencia, de vez en cuando, cuando el flujo de la solución de lixiviación haya disminuido apreciablemente debido a tal obturación, cada pozo de inyección puede ser tratado haciendo pasar a través de él un ácido, por ejemplo de 38 a 379 litros de ácido acético. El ácido disuelve cualquier calcita u otros materiales obturadores reactivos, de manera que vuelve a poder haber un flujo libre de la solución de lixiviación.

10 Dado que solo se inyectan en el depósito subterráneo bicarbonato amónico y peróxido de hidrógeno, y eso en concentraciones diluidas, no se introducen en el pozo del depósito de mena impurezas iónicas indeseables significativas. El amoníaco es adsorbido fácilmente por el mineral de arcilla que está dentro de o que constituye los estratos que usualmente están debajo y encima del depósito de mena. Se entenderá que solo se introducen, en cualquier caso, pequeñas concentraciones de amoníaco en el depósito de mena. En consecuencia, solo habrá pequeñas cantidades de bicarbonato amónico o amoníaco libre presentes en cualquier volumen unitario del depósito de mena. El peróxido de hidrógeno reacciona rápidamente bajo tierra, oxidando al hierro ferroso y uranio tetravalente, de manera que no existe peróxido libre tras haber pasado las soluciones de lixiviación a través de una cierta distancia.

en el depósito de mena.

5 Aunque se dispone el peróxido de hidrógeno en soluciones concentradas de hasta 100%, tales soluciones de alta concentración son peligrosas de manipular, además de ser muy costosas. Las concentraciones comercialmente disponibles de peróxido de hidrógeno acuoso, de las que se halla que son útiles en la práctica de la presente invención, son aquellas con concentración de H_2O_2 de al menos 20%, y de preferencia de aproximadamente 10 30% a 40% de peróxido de hidrógeno.

Los siguientes ejemplos son ilustrativos de la práctica de la presente invención.

15 Se efectuó una serie de ensayos en campo que dejan clara la importancia de añadir el H_2O_2 a la solución de lixiviación en un punto lo más próximo al pozo que sea razonablemente posible, de manera que el peróxido llegue al depósito de mena en el tiempo más corto, sin descomponerse antes de que haya tenido la posibilidad de oxidar al mineral.

| Ensayo n° | Punto de inyección del peróxido | Peróxido, g/l | Proporción H_2O_2/U_3O_8 | Máx. recuperación de U_3O_8 en la solución de lixiviación recuperada, ppm. |
|-----------|---------------------------------|---------------|----------------------------|--|
| | Depósito | 0,5 | 15 | 35 |
| | Depósito | 1,0 | 11 | 89 |
| 5 | Tubería de inyección | 0,58 | 3 | 196 |
| | Tubería de inyección | 0,91 | 4 | 227 |

10 El "depósito" era un depósito de 11.000 litros que contenía agua a la que se añadió el carbonato amónico, así como el peróxido de hidrógeno, si se añadía en él, y se agitaba para producir la solución de lixiviación. La solución así preparada se inyectaba luego en el pozo, en caudales de hasta aproximadamente 18 litros por minuto.

15 La expresión "tubería de inyección" indica que el peróxido se inyectó en la solución de lixiviación, de carbonato amónico acuoso, en la tubería justamente antes de que entrase en el pozo de inyección. Es evidente, por los datos, que el uso más económico del peróxido, que permitió disol-

20 ver más uranio en la solución de lixiviación, existió cuando el peróxido se añadió a la solución de lixiviación justamente según estaba siendo bombeada al pozo. Indudablemente, había habido descomposición prematura del peróxido en el depósito, cuando se introdujo allí.

25 Se hizo una experiencia de veintiseis días usando

do una serie de pozos en una formación geológica Catahou
 la que llevaba uranio, en Bruni, Tejas. El depósito de
 mena tenía por término medio 3,4 m de espesor en el área
 que se estaba lixiviando, y el contenido de U_3O_8 en él
 5 variaba entre 0,259% y 0,026% en peso. El sistema de po-
 zos comprendía siete pozos de inyección dispuestos cir-
 cunferencialmente alrededor de los tres pozos de recupe-
 ración circundantes, todos ellos hasta una profundidad
 de aproximamente 42 a 61 m. En cada periodo de 24 horas
 10 se inyectaron de 120.000 a 166.000 litros de solución
 de lixiviación en la formación, y se sacó por bombeo apro-
 ximadamente la misma cantidad de solución de lixiviación
 enriquecida. En el periodo de 26 días se inyectó un total
 de 3.740.000 litros de solución, y se recuperaron 3.720.000
 15 litros de solución. De la solución de lixiviación recupera-
 da se recuperaron 460 kg netos de U_3O_8 durante este perío-
 do.

Durante los ocho primeros días el bicarbonato,
 amoníaco y H_2O_2 se mantuvieron a niveles muy bajos, como
 20 sigue:

| <u>HCO_3^-, gr/l</u> | <u>NH_4^+, gr/l</u> | <u>H_2O_2, gr/l</u> |
|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 0,25 a 0,42 | 0,014 a 0,104 | 1,07 y menos |

Durante ese período de 8 días, la recuperación de uranio
 25 por día estuvo entre 2,84 kg y 6,2 kg de U_3O_8 . Las concenen

traciones de bicarbonato y amoníaco eran evidentemente demasiado bajas para ser eficaces para asegurar una buena recuperación de uranio. Además, la concentración de uranio en la solución de lixiviación era baja.

5 Desde el 9º día al 13º día se aumentó sustancialmente el contenido de bicarbonato y amoníaco en la solución de lixiviación: el bicarbonato varió entre 0,60 y 0,72 gr/l, y el NH_4^+ varió entre 0,202 y 0,44 gr/l. Dado que pasa aproximadamente un día desde la fecha de
10 inyección de una solución de lixiviación cambiada hasta su recuperación, la recuperación de uranio en el 9º día fue 7,4 kg y luego aumentó a 9,8, 10,7, 16,0 y 16,5 kg de U_3O_8 en los días 10º a 13º, respectivamente. Duplicando aproximadamente la concentración de carbonato amónico en
15 la solución de lixiviación, respecto a la usada en las experiencias de los 8 primeros días, la recuperación de uranio varió entre aproximadamente 3 a 5 veces más.

Desde el día 14º hasta el final de la experiencia, la solución de lixiviación se preparó de manera que
20 llevase mayor concentración de bicarbonato, y también se añadió sustancialmente más amoníaco, de manera que el contenido de bicarbonato estaba comprendido entre 0,80 y 1,15 gr/l, y el contenido de NH_4^+ estaba comprendido entre 0,54 y 0,855 gr/l. El uranio recuperado durante cada
25 uno de los días 14º a 26º estuvo comprendido entre 20,9 kg

y 38,0 kg de U_3O_8 por día.

El contenido de H_2O_2 en la solución de lixivación, durante los 20 últimos días de la experiencia, varió entre 0,41 y 1,03 gr/l. El pH de la solución de lixivación durante toda la experiencia de 26 días estuvo comprendido entre 7,5 y 8,1.

Se apreciará que las soluciones de lixivación usadas durante la experiencia eran extremadamente diluidas en comparación con las prácticas de la técnica anterior, que normalmente usaban de aproximadamente 20 a 25 gramos por litro de carbonatos. Que se sepa, nadie había usado en esta técnica con éxito, si es que las había usado, soluciones de tal dilución con unos resultados tan sorprendentemente buenos como los aquí conseguidos.

El diuranato amónico recuperado de las soluciones de lixivación durante esta experiencia de 26 días era un producto amarillo brillante, de excelente alta pureza.

En la experiencia de 26 días se extrajo aproximadamente el 25% del uranio del depósito. Dos experiencias de prueba anteriores habían extraído aproximadamente el 15% del uranio del depósito de mena. La recuperación de 33,1 kg de U_3O_8 en el último día de la experiencia indicó que aún se estaba produciendo fuertemente, y que continuaría haciéndolo durante muchos días más.

Estas experiencias de lixivación de uranio

en este depósito de mena se terminaron tras haber recuperado aproximadamente el 75% del uranio del área dentro del ámbito eficaz de los pozos de inyección. El paso de una solución acuosa reductora a través de la formación haría insoluble al uranio, selenio, molibdeno, arsénico y vanadio, de manera que esos elementos no se disolverían en agua ni contaminarían ningún acuífero.

Otros ensayos indicaron que el exceder de aproximadamente 5 gramos por litro de bicarbonato amónico y 3 gramos por litro de peróxido no dió ningún aumento apreciable del contenido de uranio en la solución de lixiviación. Todo el peróxido se consumió sin beneficio perceptible.

Haciendo referencia a la Figura 4, se ilustra esquemáticamente un aparato y los pozos asociados con él, de los que se halla que son adecuados para la práctica de la invención. La solución de lixiviación, que comprende de aproximadamente 0,5 a 5 gramos por litro de bicarbonato amónico, está contenida en un depósito 10, desde el que fluye por una tubería 11 a una bomba 14 que la bombea a una presión de 3,5 a 17,5 kg/cm² a una tubería 12 que conduce a uno o más pozos de inyección. La solución de lixiviación a presión se transporta por la tubería 12 a un filtro 16 en el que se separa por filtración

5 cualquier arcilla fina, calcita y otras partículas sólidas, y desde allí a un inyector 18 de peróxido de hidrógeno. El peróxido de hidrógeno acuoso, por ejemplo H_2O_2 al 30%, de un depósito 20 de almacenamiento, pasa por la tubería 22 a una bomba 24 que le pone a presión en la mitad 18 inyectora, en la que unas proporciones medidas del peróxido de hidrógeno se inyectan en la solución de lixiviación, en magnitud tal que proporcionen de aproximadamente 0,1 a 3 gramos de H_2O_2 por litro de solución de lixiviación. La tubería 12 está conectada a cada uno de los pozos 26, 30, 32, 34, 36 y 38 de inyección, mediante conductos ramificados 25, 27, 29, 31, 33, 35 y 37, respectivamente, teniendo cada uno de los últimos unas válvulas en ellos, para permitir el control del flujo de la solución de lixiviación a presión a uno o más pozos, en cualquier tiempo o secuencia elegidos.

15 Como es sabido en la técnica, los pozos comprenden un entubado que penetra en o a través de al menos un estrato que lleva mena de uranio. Hay unas perforaciones y/o mallas presentes en las porciones del entubado del pozo dispuestas en el estrato que lleva uranio, para permitir que las soluciones de lixiviación a presión penetren a través de la mena que lleva uranio. Normalmente se hacen esfuerzos para minimizar el paso de la solución de lixiviación a cualquier otro estrato, empleando unos medios adecuados

de cierre hermético entre el entubado y la pared interior del pozo. El estrato de mena que lleva uranio, tal como los depósitos de frente rodante antes descritos, comprende arenisca, arena u otras formaciones permeables a través de las cuales la solución de lixiviación pasa fácilmente. La formación que lleva mena se caracteriza usualmente por la presencia de una capa subyacente de pizarras o arcilla menos permeable a los fluidos, y una capa superior de pizarra, sedimentos arcillosos o arcilla, de manera que la solución de lixiviación fluye lateralmente desde las perforaciones del tubo del pozo a la masa de mena de uranio, con muy poco de flujo vertical a formaciones que contienen poco o nada de uranio. La solución de lixiviación se extiende lateralmente desde los pozos de inyección, siguiendo el gradiente hidráulico y cualquier canal o fisura de la masa de mena. El peróxido de hidrógeno de la solución de lixiviación, al entrar en contacto con el hierro ferroso de la mena, le convertirá en hierro férrico, y cualquier uranio tetravalente se convierte también en uranio hexavalente, siendo fácilmente disuelto este último por la solución de lixiviación de bicarbonato amónico. Si el uranio está presente como masa o cuerpo modular de tamaño apreciable, el uranio se convierte progresivamente al estado hexavalente desde la superficie exterior hacia dentro, y se disuelve a medi-

da que pasan cantidades sucesivas de solución de lixiviación y entran en contacto con él. Resulta que aunque mucho del hierro se convierte al estado férrico, muy poco se disuelve en la solución de lixiviación, de manera que casi todo el hierro permanece bajo tierra. Análogamente, en la solución de lixiviación relativamente diluída solo se disuelven pequeñas cantidades de molibdeno, vanadio, arsénico y selenio. Como comparación, una proporción elevada del uranio del depósito de mena afectado se disuelve con el paso de suficiente solución de lixiviación a través de la masa de mena.

También se perforó un pozo 40 de control, para permitir la determinación de pH, presión hidrostática, temperatura, densidad de la solución, y otros factores, disponiendo instrumentos adecuados en él.

Para retirar la solución de lixiviación fecunda, rica en uranio, se dispone uno o más pozos de extracción en una configuración espaciada respecto a los pozos de inyección adyacentes. Una configuración adecuada, usada con éxito, consiste en disponer una distribución circundante de pozos de inyección alrededor de un número menor de pozos de extracción. Por ejemplo, en un caso, se espacia ron siete pozos de inyección para rodear a tres pozos de extracción.

Si hay un fuerte gradiente hidráulico y fisu-

ras alargadas o similares en una dirección, los pozos de extracción se dispondrán de manera que estén en el extremo inferior del gradiente hidráulico, para que la solución de lixiviación fluya naturalmente en su dirección, y sea interceptada.

5
10
15
20
25

Dispuestas dentro de los pozos 50, 52 y 54 de extracción están respectivamente los conductos 51, 53 y 55 de conexión, con válvulas, conectados mediante una bomba 56 a una tubería 58, para llevar la solución fecunda a un sistema de recuperación de uranio. Aunque la bomba 56 se muestra como exterior a los pozos, se ha usado en cada pozo con buenos resultados una bomba sumergida separada dispuesta en cada pozo. Ordinariamente, un extremo de cada conducto 51, 53 y 55 está dispuesto en el extremo inferior del pozo con el que está asociado. El pozo de extracción comprende un entubado con una porción perforada con pantallas adecuadas para permitir que la solución de lixiviación fluya al mismo sin permitir que las atraviesen la arena y otros sólidos. La bomba 56 se puede hacer funcionar de manera que mantenga la solución de lixiviación a cualquier nivel seleccionado en el pozo, de manera que se mantenga una carga hidráulica deseada en el mismo, para que se establezca y controle el flujo de solución de lixiviación en él. Se puede tapar cada pozo y aplicar un vacío por funcionamiento de la bomba 56, de

manera que la solución de lixiviación sea atraída más fuertemente al pozo de extracción. En el funcionamiento del sistema de pozos de la presente invención, como se observará en el ejemplo anterior, solo se dejaron de recuperar unos 19.000 litros de un total de 3.900.000 litros. Algo de esta diferencia de 19.000 litros pudiera ser debida a inexactitud de las medidas de flujo, así como a pérdidas bajo tierra y por encima del suelo.

10 La solución de lixiviación fecunda se transporta por la tubería 58 a una columna 60 de extracción, en la que se introduce por el fondo de un lecho de resina intercambiadora de iones básica fuerte, que separa de ella el uranio con muy poco de impurezas disueltas tales como, por ejemplo, molibdeno, vanadio, selenio e hierro.

15 La solución de lixiviación agotada o estéril se hace pasar desde la parte superior de la columna 60, por una tubería 62, a un depósito 64 de aportación. También se puede introducir agua en el depósito 64, para reemplazar a la solución no recuperada. El bicarbonato amónico concentrado de un depósito 66 se trata con el amoníaco (NH_3) suficiente, procedente de un depósito 70 a través de una tubería 68 con válvula, y el bicarbonato amónico tratado con amoníaco se añade por una tubería 72

a la solución de lixiviación del depósito 64, a caudal controlado, por funcionamiento de una bomba 73, para llevar el bicarbonato amónico de la solución de lixiviación a las proporciones de aproximadamente 0,5 a 5 gramos por litro. La solución de lixiviación ajustada se transporta por una tubería 75 a un depósito 74 de reserva, desde donde se transporta por una tubería 76 al depósito 10 original. Se entenderá que se pueden llenar alternativamente dos o más depósitos 64 de aportación, con solución de lixiviación estéril, y añadir luego el amoníaco y bicarbonato amónico suficientes para llevar la solución a la concentración total de lixiviación, y verterla luego en el depósito 10, mientras el otro depósito de aportación se está llenando por la tubería 62.

La resina intercambiadora de iones básica, cargada de uranio, en la columna 10, se hace preferiblemente que se retire, ya sea continuamente o en incrementos, del fondo de la columna 10, y se transfiere por una tubería 82 a una columna 80 de elución, en la que se trata con solución acuosa concentrada de cloruro amónico, por ejemplo 1,5 molar, y una pequeña cantidad de bicarbonato amónico, aproximadamente 0,1 molar, que entra por la tubería 86. Así se extrae el uranio de la resina intercambiadora de iones, proporcionando un eluato rico en uranio.

La resina intercambiadora de iones separada y regenerada se devuelve por la tubería 84 a la parte superior de la columna 60, donde desciende y separa progresivamente uranio de la solución de lixiviación que asciende.

5

El eluato con alto contenido de uranio, por ejemplo de 10 a 20 gramos por litro, se lleva por la tubería 88 desde la columna 80 a uno cualquiera de dos depósitos 90 y 94 de precipitación de diuranato amónico (DUA). Cuando uno de los depósitos 90 o 94 se llena con el eluato, el eluato se transporta entonces al otro depósito. En el depósito 90 o 94 lleno de eluato se añade al eluato una cantidad medida de ácido, desde un depósito 91 de suministro que contiene HCl, por ejemplo, con agitación y movimiento adecuados. Luego se añade amoníaco desde un depósito 70 de suministro, por la tubería 95, para hacer que la solución alcance un pH de aproximadamente 7, con lo que precipita el DUA. Tras dejar que sedimente el precipitado de DUA, el líquido que sobrenada se vuelve a transportar por el conducto 99 a la torre 80 eluyente, mientras que la suspensión de DUA del fondo se bombea a un depósito 98 de almacenamiento de DUA por el conducto 96. El DUA producto final solo contiene pequeñas cantidades de impurezas residuales.

10

15

20

25

Aunque el procedimiento de lixiviación aquí

5 descrito ha probado que da buenos resultados cuando se
aplica a depósitos de mena de frente rodante que contie
nen uranio, y particularmente cuando hay una interfase
redox presente, el procedimiento se puede aplicar a otros
tipos de depósitos de mena de uranio en los que la masa
de mena sea lo suficientemente permeable para permitir un
flujo adecuado de la solución de lixiviación hasta contac
to con uranio al que pueda convertir al estado hexavalen
te y disolver luego, y se pueda recuperar la solución de
10 lixiviación enriquecida en uranio.

La presente solicitud que corresponde a la pre-
sentada en Estados Unidos de América, el 9 de Octubre de
1974, bajo el número 513.445 se acoge a los beneficios del
Artículo 51 del vigente Estatuto sobre Propiedad Industrial.

REIVINDICACIONES

5 1ª.- Procedimiento para lixiviar in situ
uranio de depósitos de mena de uranio, donde se hace
pasar a través del depósito de mena una solución acuosa
de lixiviación para disolver el uranio de los depósitos,
enriqueciendo así la solución acuosa de lixiviación,
que luego se retira del depósito de mena, tras lo
10 cual el uranio se desplaza de la solución acuosa de lixiviación
enriquecida, caracterizado porque dicha solución acuosa de lixiviación
se ajusta a un pH de 7,4 a 9, y comprende esencialmente 0,5 a 5 gramos
por litro de bicarbonato amónico y 0,1 a 3 gramos por litro de
15 H_2O_2 , añadiéndose el peróxido a la solución de lixiviación en un punto
justamente antes de que entre en contacto con la mena.

20 2ª.- Procedimiento según la reivindicación 1ª, caracterizado porque el peróxido se proporciona mediante una solución acuosa de peróxido de hidrógeno con concentración de H_2O_2 de al menos 20%, se añade amoníaco para proporcionar un pH de aproximadamente 7,5 a 8,5 en la solución de lixiviación, y el bicarbonato amónico está presente en cantidad de 1 a 2 gramos por litro.

25 3ª.- Procedimiento según la reivindicación

1ª o 2ª, caracterizado porque la solución acuosa de lixiviación enriquecida en uranio se hace pasar a través de un material intercambiador de aniones básico fuerte, que retiene al uranio, y luego se eluye el uranio del material intercambiador de aniones básico, con un eluyente acuoso, y finalmente se trata el eluato con un ácido y luego con amoníaco, para precipitar diurاناتo amónico relativamente puro.

4ª.- Procedimiento según la reivindicación 1ª, 2ª o 3ª, caracterizado porque la solución de lixiviación separada se ajusta por adición de bicarbonato amónico y peróxido suficientes, para llevarla a su estado original.

5ª.- Procedimiento según la reivindicación 4ª, caracterizado porque la solución de lixiviación separada se somete a tratamiento de intercambio de iones, para reemplazar cualquier calcio de la solución con amoníaco, antes de añadir el bicarbonato amónico.

6ª.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1ª a 5ª, donde dicha lixiviación preferente in situ del uranio se efectúa en, o adyacente a, una interfase redox de un depósito de mena de frente ondulado, que contiene hierro ferroso y otros metales y elementos, así como uranio tetravalente relativamente insoluble en agua, en ciertas proporciones, caracterizado por

que la solución acuosa de lixiviación se inyecta a presión, a través de al menos un pozo de inyección, en el depósito de mena, para hacer que la solución de lixiviación atraviese el depósito de mena, convirtiendo así al
5 hierro ferroso en hierro férrico, y al uranio en uranio hexavalente, que es soluble en la solución de lixiviación a medida que atraviesa el depósito de mena, y la solución de lixiviación se retira por al menos un pozo de extracción adyacente a un pozo de inyección, habien-
10 do, la solución de lixiviación enriquecida que ha pasado a través del depósito de mena y uranio disuelto que se ha convertido al estado hexavalente, disuelto también en ella algo de dichos otros metales y elementos, aunque en proporciones tales que el uranio está presente en
15 proporción, respecto al total de tales otros elementos, mucho mayor que en el depósito de mena.

7ª.- Procedimiento según la reivindicación 6ª, caracterizado porque el peróxido de hidrógeno añadido a la solución de lixiviación comprende de aproximadamente
20 0,3 a 2 gramos por litro de H_2O_2 , introducido como solución acuosa de peróxido de hidrógeno al 30% a 40%.

8ª.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1ª a 7ª, caracterizado porque cuando, tras inyección de la solución acuosa de lixiviación en dicho pozo durante un cierto período de tiempo, tiene lugar una re-
25

sistencia aumentada al paso de la solución de lixiviación al depósito de mena, debido a obturación del depósito, se detiene la inyección de solución de lixiviación, y se inyecta en el pozo una cierta cantidad de ácido para disolver la obturación, y luego se reanuda la inyección de la solución de lixiviación.

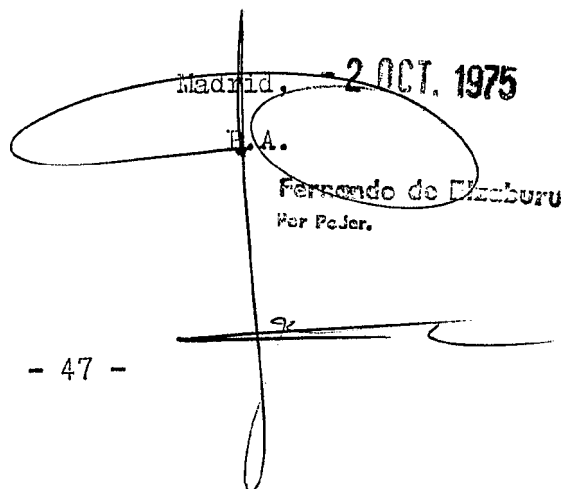
9ª.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1ª a 8ª, caracterizado porque tras haber terminado la recuperación de uranio por el procedimiento, se hace pasar al depósito de mena una solución acuosa reductora, para convertir al uranio y otros elementos a un estado menos soluble, en el que sean relativamente insolubles en las aguas subterráneas ordinarias.

10ª.- Procedimiento para lixiviar in situ uranio de depósitos de mena de uranio.

Tal y como se ha descrito en la Memoria que antecede, representado en los dibujos que se acompañan y para los fines que se han especificado.

Esta Memoria consta de cuarenta y siete hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid, - 2 OCT. 1975
H.A.
Fernando de Elizburu
Por Pe.Jer.



EXPLICACION DE LAS FIGURAS 1, 2 y 3 DE LOS DIBUJOS

Figura 1

AR = Areniscas

5 ZO = Zona oxidada

ZR = Zona reducida

ZM = Zona de mena

En el eje AB se representan pies (1 pié = 30,45 cm)

Figura 2

10

En el eje vertical se representa el nivel de contenido en ppm. La parte de la izquierda representa la zona oxidada y la parte de la derecha la zona reducida. La línea divisoria entre ambas zonas representa la interfase redox.

15

En el eje AB se representan pies

Figura 3

A = Inyección de solución de lixiviación.

B = Lixiviación in situ.

20 C = Recuperación de solución de lixiviación.

D = Solución de lixiviación fecunda.

E = Extracción de uranio por intercambio cónico con resina.

F = Resina cargada.

G = Solución estéril.

25 H = Refuerzo de la solución de lixiviación.

I = Recirculación de la solución de lixiviación.

J = Aporte de eluyente.

K = Eluyente.

L = Solución de resina.

5 M = Resina separada.

N = Eluato fecundo.

O = Precipitación de uranio.

P = Recirculación del líquido sobrenadante.

Q = Torta amarilla (Suspensión).

10

FIG.1

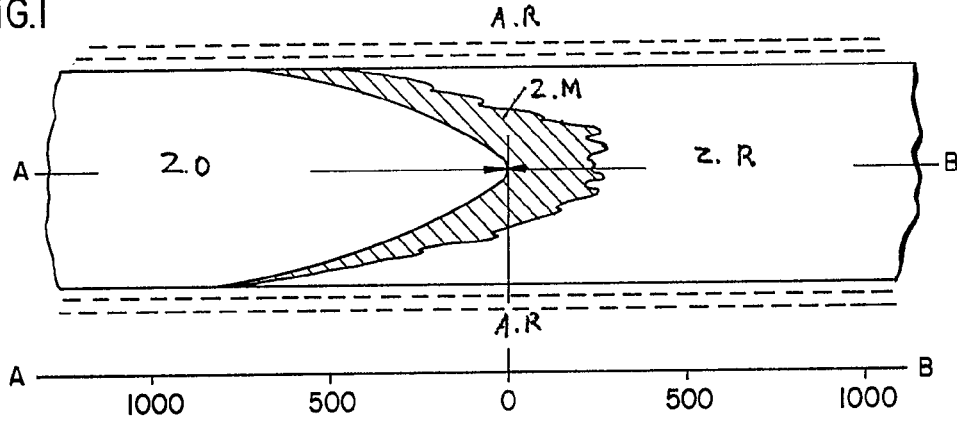
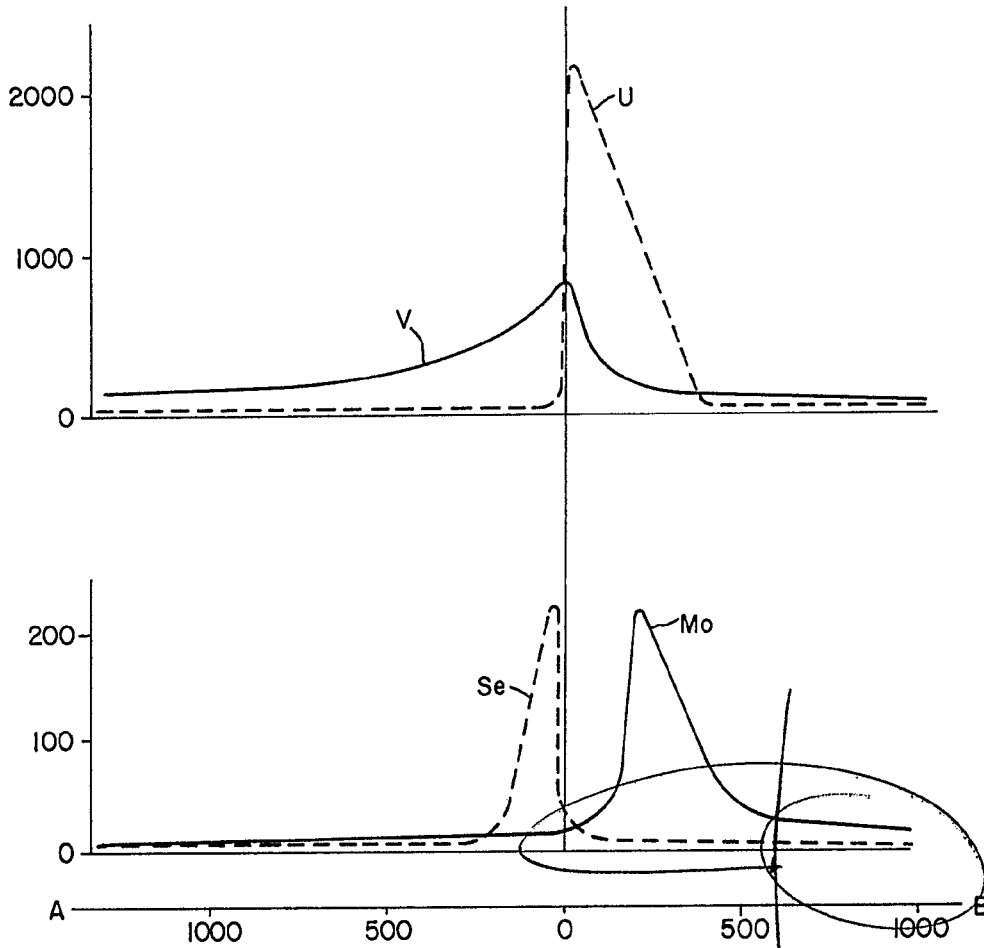


FIG.2



Fernando de Elizaburu
Por Poder.

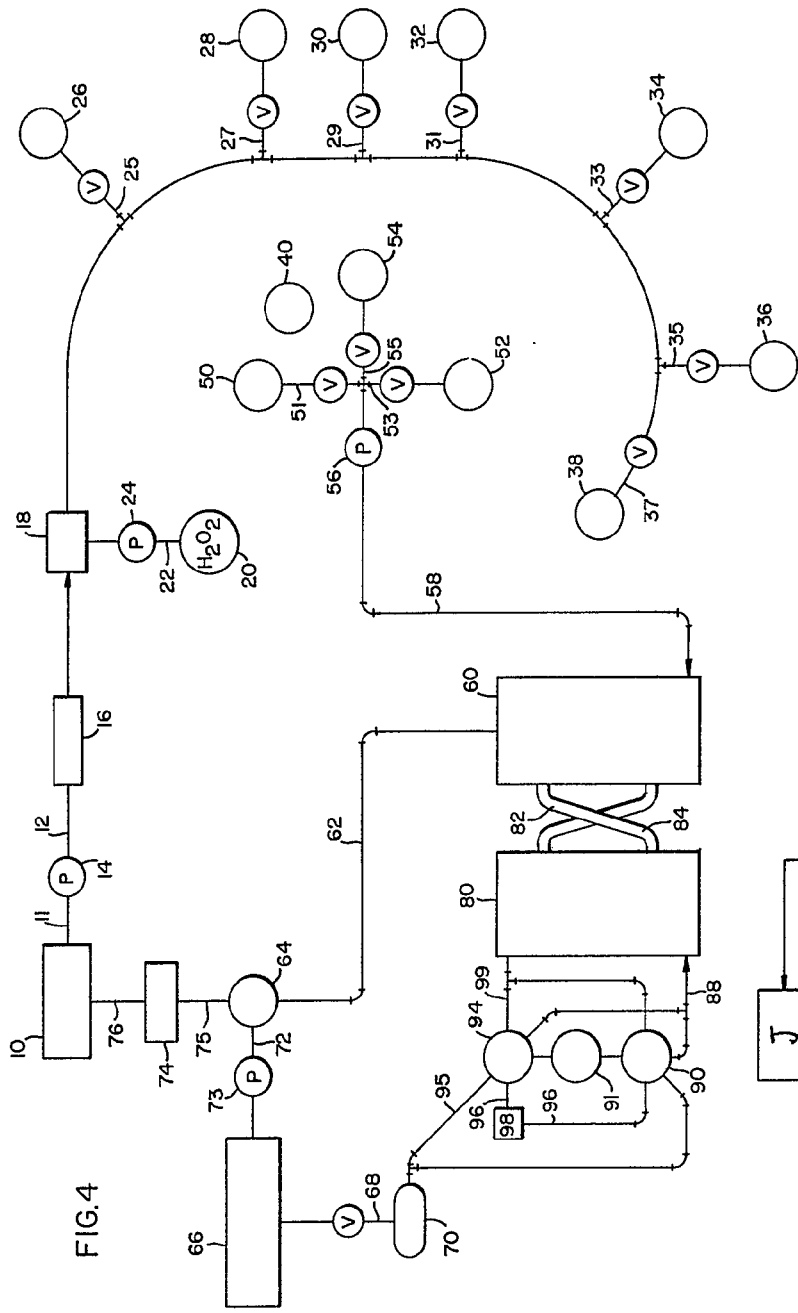


FIG. 4

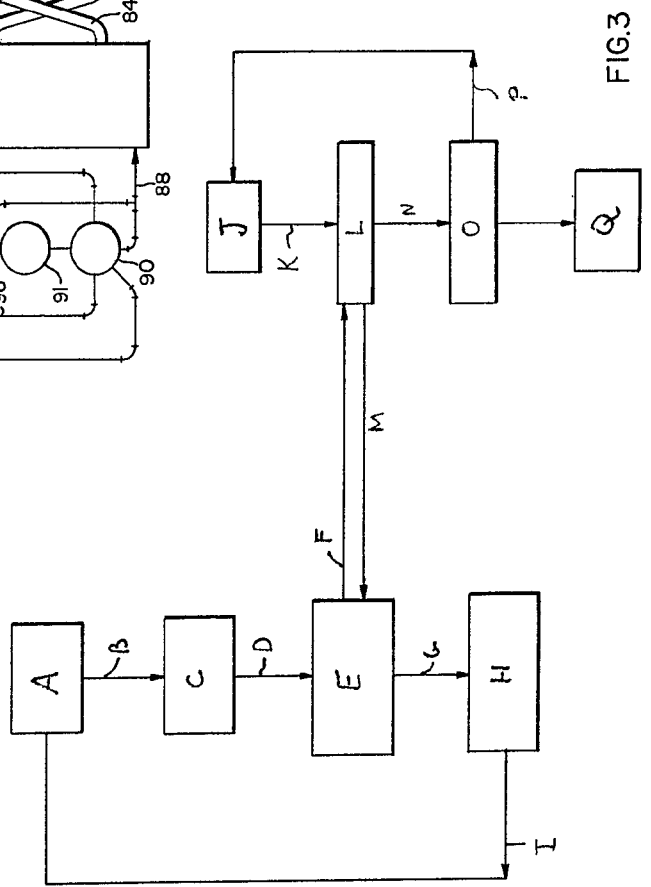
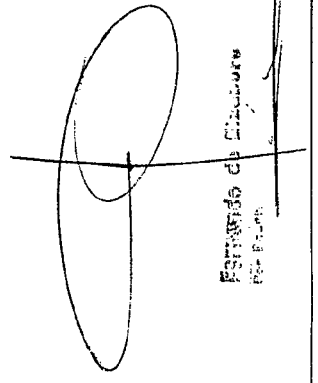


FIG. 3



FORNARO DE CIBOLA
 1958

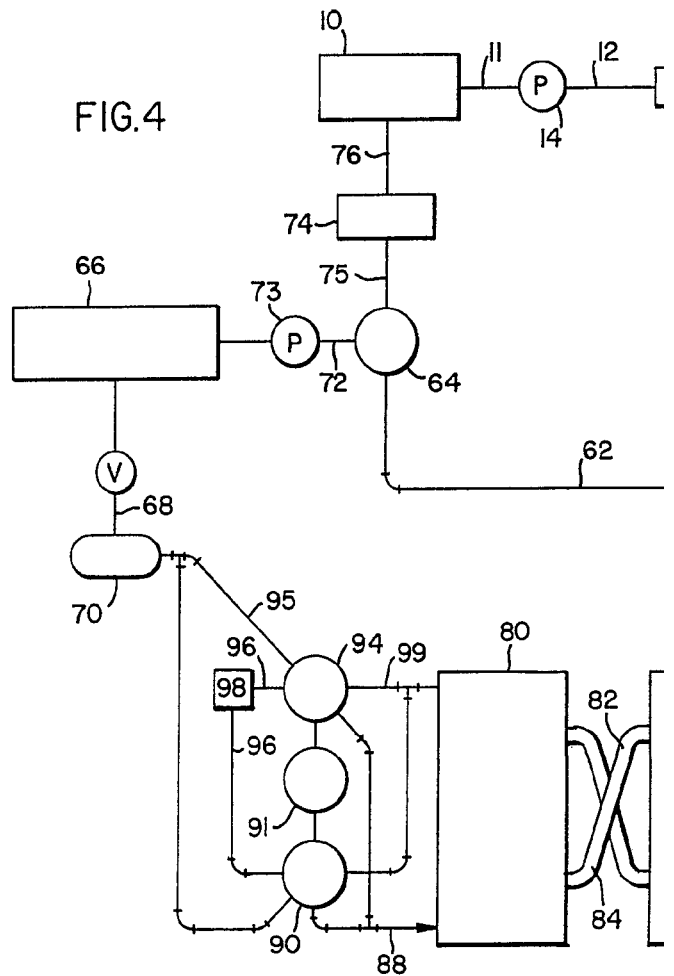
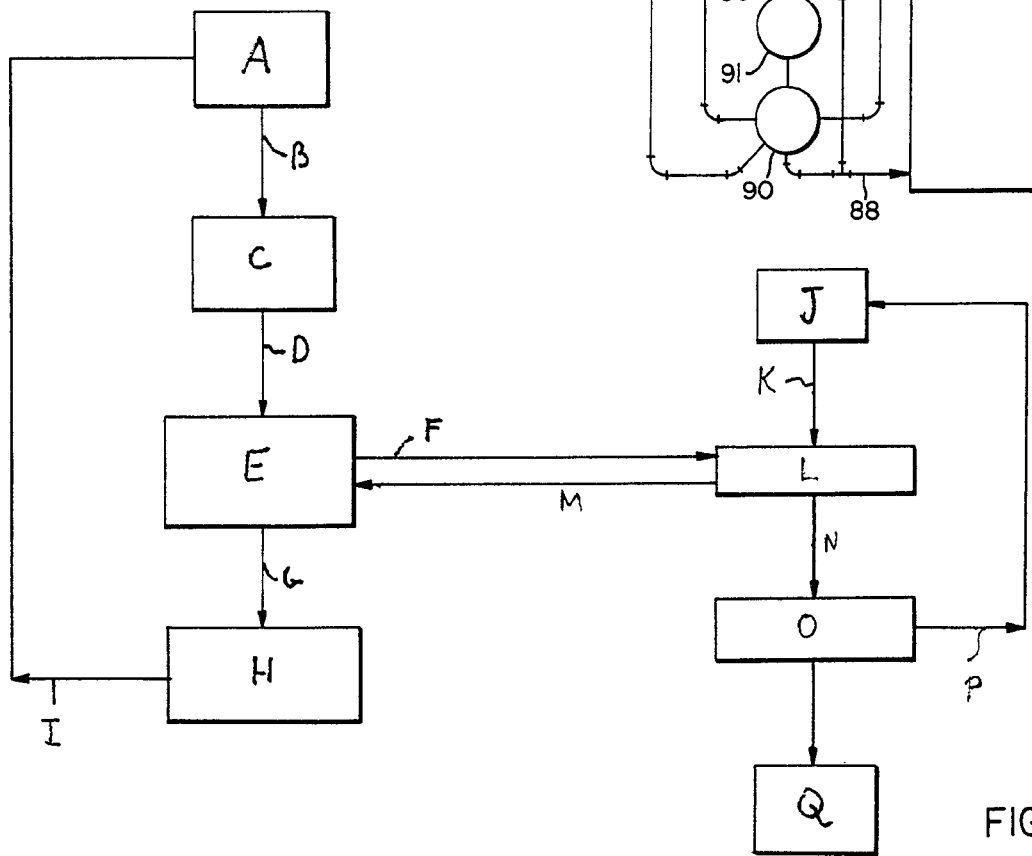
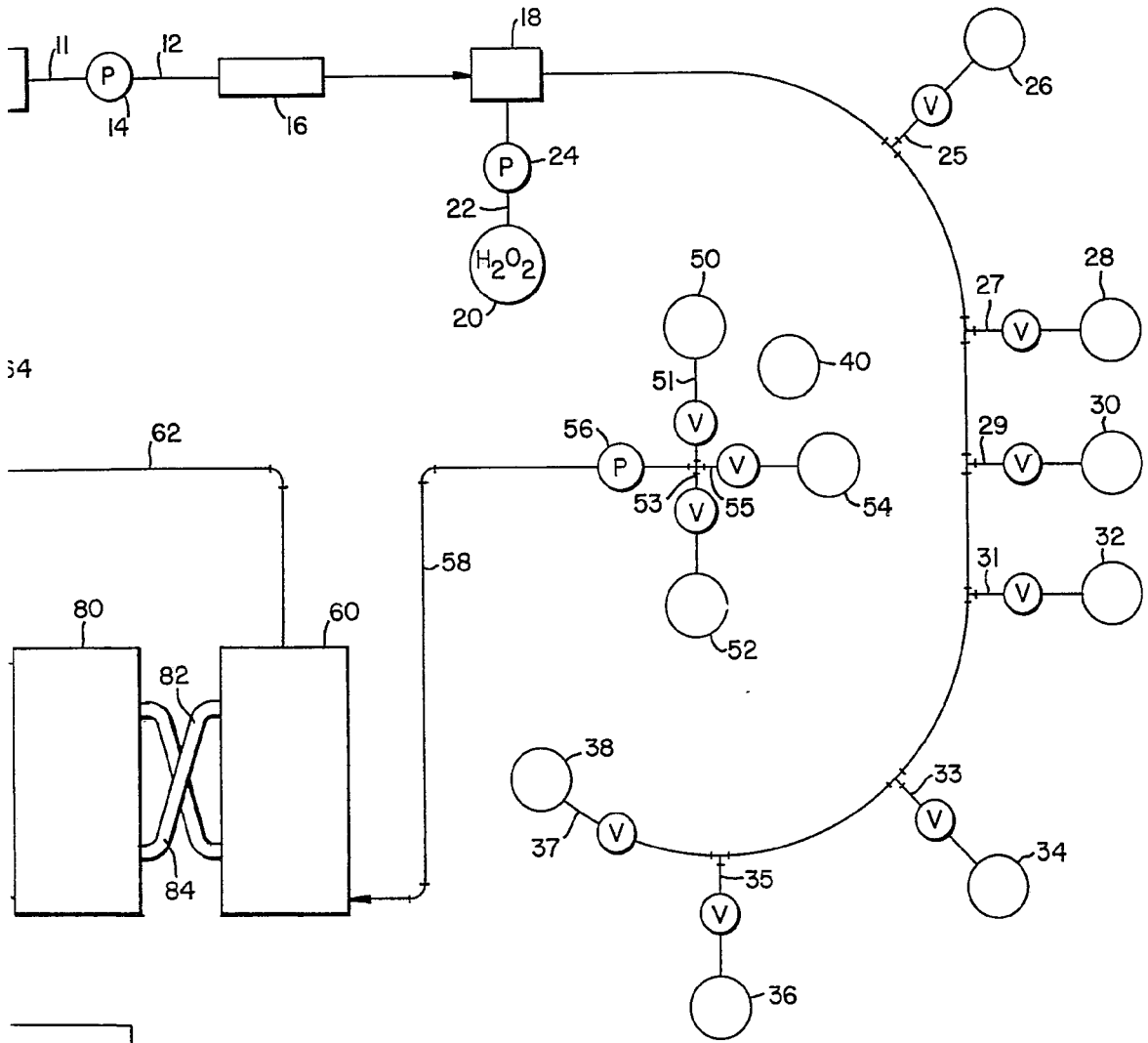


FIG. 3

FIG. 4

7/8/92



34

FIG.3

Fernando de Elizore
Per Eichen