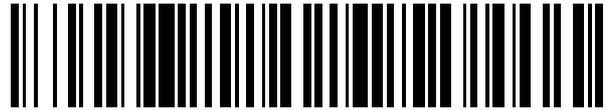


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 442 004**

51 Int. Cl.:

C22B 3/18 (2006.01)

C22B 3/08 (2006.01)

C22B 15/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.10.2008 E 08844411 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.12.2013 EP 2215276**

54 Título: **Procedimiento de lixiviación a alta temperatura**

30 Prioridad:

31.10.2007 ZA 200709458

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

07.02.2014

73 Titular/es:

**BHP BILLITON SA LIMITED (100.0%)
6 HOLLARD STREET
JOHANNESBURG, 2001, ZA**

72 Inventor/es:

**DEW, DAVID;
STEYN, JACO, WILLEM y
MINNAAR, SUSANNA, HELENA**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 442 004 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de lixiviación a alta temperatura

La presente invención se refiere a un procedimiento de biolixiviación en montones que se opera a temperaturas elevadas para conseguir una alta tasa de oxidación de minerales.

5 La invención se describe en lo sucesivo con referencia a la lixiviación de mineral de calcopirita para la recuperación de cobre.

Un montón que contiene mineral de calcopirita se puede lixiviar eficazmente si la temperatura del montón está en la zona termófila es decir, por encima de 60°C y preferiblemente de 65°C a 70°C.

10 Cuando se inicia un proceso de lixiviación biológica en un montón la temperatura del montón está inicialmente a temperatura ambiente. La energía generada por la actividad de los microorganismos adecuados que se introducen en el montón o que se producen de forma natural aumenta gradualmente la temperatura del montón. Sin embargo, la actividad de lixiviación de los microorganismos va en disminución radicalmente en el intervalo de temperatura de 50°C a 60°C y la temperatura del montón no puede aumentar fácilmente por encima de 60°C, un nivel de temperatura a la que se activan los cultivos termófilos. Este fenómeno reduce rigurosamente la eficacia de un
15 proceso de lixiviación biológica llevado a cabo en la calcopirita.

La figura 1 de los dibujos adjuntos ilustra sobre un fondo de temperatura frente al tiempo grupos de microorganismos que son operativos en diferentes zonas de temperatura. En condiciones mesófilas normales la disolución de calcopirita es muy escasa. Los microorganismos específicos crecen en la zona de temperatura más alta y estos microorganismos son esenciales para mantener un medio de Eh alta a temperaturas elevadas para la lixiviación de
20 calcopirita.

La figura 2 incluye curvas, marcadas AT, AC, AF y SM para designar *Acidithiobacillus thiooxidans*, *Acidithiobacillus caldus*, *Acidithiobacillus ferrooxidans* y *Sulfolobus metallicus*, respectivamente, que representan tasas de crecimiento o actividad para estos microorganismos en función de la temperatura. Los microorganismos que pueden crecer en la zona mesófila (hasta 40°C) mueren cuando las temperaturas se aumentan hasta temperaturas termófilas moderadas (50°C a 60°C). Asimismo los microbios termófilos moderados no pueden sobrevivir a temperaturas termófilas (superiores a 60°C) y sólo los microbios termófilos son capaces de crecer en esta zona de temperatura. Por
25 consiguiente es importante que tenga lugar una transición desde mesófilos activos a termófilos moderados activos y después a termófilos activos en un medio de lixiviación en montones al aumentar la temperatura en el interior del montón. Si falta uno de los grupos microbianos la sucesión microbiana no puede tener lugar con éxito y no se puede alcanzar las condiciones termófilas.

La figura 3 ilustra una serie de curvas de variación de calor o temperatura, en función del tiempo, obtenidas en un medio de lixiviación del montón simulado. Una corriente de aire AS se dirige al interior de un montón para suministrar oxígeno y dióxido de carbono a los microorganismos. Aunque se requiere corriente de aire ésta hace que presente un efecto de enfriamiento en el montón y, para conservar el calor, el caudal de aire debe reducirse.

35 Una corriente líquida LS de refinado se drena del montón. La extracción de calor a través del refinado aumenta con el caudal de refinado y, de nuevo, para conservar el calor a una velocidad de reacción alta, el caudal de refinado se debe reducir.

El calor generado (HG) por los microorganismos oxidantes aumenta a medida que la velocidad de reacción aumenta.

40 Una curva AH refleja el calor acumulado en el montón, mientras que la temperatura media en el montón viene reflejada en una curva marcada AT.

En la figura 3 están marcadas cuatro zonas de tiempo de 1 a 4. En la zona 2 la temperatura del montón tiene una bajada significativa. La temperatura aumenta a partir de entonces (zona 3), aunque, en la zona 4, de nuevo la temperatura disminuye significativamente. En la zona 1, en donde la generación de calor HG supera las pérdidas de calor AH, la temperatura del montón aumenta rápidamente. Esto se traduce en un aumento en la temperatura del
45 montón a medida que aumenta la oxidación de la pirita.

Es evidente a partir de lo anterior que existe un problema significativo en la biolixiviación de un montón de mineral de calcopirita por que el intervalo de temperatura de 50°C a 60°C en el montón debe ser abarcado minuciosamente para asegurar que la temperatura del montón alcanza la zona termófila a la que la calcopirita que es susceptible de biolixiviación eficaz.

50 Un objeto de la presente invención es proporcionar un método de operar un procedimiento de biolixiviación del montón que aborda, al menos en parte, los aspectos anteriormente mencionados.

En la publicación WO, WO 00/36168 se describe un procedimiento de biolixiviación a alta temperatura, en el que un montón de calcopirita o mineral se calienta y a continuación se inocula con un cultivo termófilo por lo menos.

En la publicación de Petersen *et al.* "Thermophilic heap leaching of a chalcopyrite concentrate" (Minerals Engineering, Pergamon Press, Oxford, Gran Bretaña, vol. 15, nº 11, 1º de noviembre de 2002, páginas 777-785) se describe que un montón de calcopirita se inocula sucesivamente con diferentes microorganismos.

5 Según el documento WO 2004/081241 un montón está en el primer inoculado con mesófilos y después con termófilos.

Compendio de la invención

La invención proporciona un método de llevar a cabo un procedimiento de biolixiviación según la reivindicación 1.

Los microorganismos cultivados pueden añadirse al montón principal de cualquier forma apropiada. En una forma preferida de la invención el microorganismo se añade por medio de riego.

10 Los microorganismos pueden cultivarse en uno o más reactores de acumulación. Preferiblemente se hace uso de un gran número de reactores, cada uno de los cuales se utiliza para la acumulación de inóculos de un microorganismo respectivo que es activo en un intervalo de temperatura determinado. Con respecto a la biolixiviación de calcopirita los intervalos de temperatura mencionados anteriormente se seleccionan de entre las temperaturas centradas en los siguientes valores de temperatura 25°C, 35°C, 50°C, 55°C y 65°C o que abarcan los mismos.

15 Una única cepa puede inocularse en el montón principal o una mezcla de cepas específicas puede inocularse en el montón.

La inoculación puede tener lugar en un lote, es decir, en discontinuo, o en continuo.

Cuando la inoculación tiene lugar en continuo el inoculador puede que tenga un recuento celular de 10^7 células/ml a 10^{10} células/ml. Por lo general la concentración de células es del orden de 10^8 células/ml a 10^9 células/ml.

20 Los reactores de acumulación pueden operarse en un lugar que está cerca del montón. Puede pulverizarse aire en cada reactor y el aire puede enriquecerse con dióxido de carbono. El enriquecimiento con dióxido de carbono puede estar comprendido en el intervalo de 0,1% a 5% v/v.

La inoculación puede llevarse a cabo para mantener el recuento de células en el montón principal en un valor de 10^6 a 10^{12} células/tonelada de mineral.

25 En una variante de la invención, un inóculo de cada reactor, en lugar de ir directamente desde el reactor al montón, se dirige a una balsa que está aireado y en el que el inóculo se almacena y se mantiene. El inóculo de la balsa se añade a continuación al montón principal según se necesite.

30 En una segunda variante de la invención el inóculo, por ejemplo, de uno o más reactores de acumulación, se añade a mineral triturado, junto con ácido según sea necesario, y el mineral inoculado se añade al montón principal para introducir el inóculo al montón principal.

35 En otra forma de la invención, un montón auxiliar que es relativamente pequeño en comparación con el montón principal se opera en una configuración en circuito cerrado. El inóculo de uno o más de los reactores de acumulación o de la balsa de inóculos mencionado, se utiliza para regar el montón auxiliar. La solución de lixiviación que drena procedente del montón auxiliar se recircula al montón auxiliar. El montón auxiliar actúa por lo tanto como un generador de inóculo y el mineral de este montón, sobre el que los microorganismos activos se han unido, se añade al montón principal para introducir los microorganismos activos al montón principal.

El montón principal puede rociarse con aire enriquecido con dióxido de carbono p. ej., 0,1% de CO₂ v/v.

Breve descripción de los dibujos

La invención se describe con más detalle a modo de ejemplo con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

40 Las figuras 1, 2 y 3 se han mencionado anteriormente en esta memoria y por lo tanto no se describen con más detalle;

La figura 4 muestra curvas de temperatura frente al tiempo, que ilustran el efecto de la reinoculación de un montón;

la figura 5 representa la cantidad acumulada de microorganismos activos, en función del tiempo, añadido a un montón en un ejercicio continuo de inoculación;

45 las figuras 6 y 7 ilustran los resultados de las pruebas de actividad microbiana en matraz en agitación de microorganismos en mineral recién inoculado y aglomerado, y en mineral que después de la inoculación, se ha aglomerado y, posteriormente, ha estado en reposo durante aproximadamente 90 días, respectivamente, a 25°C, 35°C, 50°C, 55°C y 65°C;

la figura 8 es un gráfico de barras de los niveles de concentración celular en muestras de mineral, medidos por

técnicas de RT PCR, a una inoculación inicial, el día 0 después de la adición de 2 kg de ácido por tonelada de mineral, y a los 90 días de la inoculación inicial, para mesófilas de baja temperatura, mesófilas de alta temperatura, bacterias termófilas moderadas, arqueas termófilas moderadas y termófilos respectivamente;

- 5 La figura 9 muestra los niveles comparativos de concentración de células o las muestras tomadas a diferentes niveles en un montón, de microorganismos de muestras de la clase mencionada en relación con la figura 8, después de la reinoculación de un montón;

la figura 10 es una curva que es similar a la mostrada en la figura 1 de la temperatura media del montón en función del tiempo que indica, también, las zonas de temperatura en las que son activos diferentes grupos de microorganismos;

- 10 la figura 11 ilustra el efecto beneficioso a la temperatura del montón, después del inicio, de la adición de CO₂ al montón; y

la figura 12 es una representación en diagrama de bloques de un proceso de biolixiviación del montón a alta temperatura con posibles variaciones de los mismos, llevada a cabo de conformidad con los principios de la invención.

15 **Descripción de realizaciones preferidas**

En un proceso de biolixiviación típico un montón se forma por aglomeración de mineral que se inocula de antemano con microorganismos oxidantes adecuados. La invención se basa en el descubrimiento de que los microorganismos termófilos no sobreviven al proceso de aglomeración y el periodo de reposo que sigue posteriormente, durante la construcción de un montón.

- 20 Las figuras 6 y 7 representan los resultados de las pruebas de la actividad microbiana en matraz agitado llevadas a cabo en muestras de mineral recién inoculado y aglomerado, y de mineral inoculado y aglomerado que ha estado en reposo durante 90 días, respectivamente, e incubado a 25°C, 35°C, 50°C y 65°C.

- 25 La figura 6 demuestra que se observó actividad microbiana a cada una de las temperaturas antes mencionadas. Sin embargo, en el material en reposo 90 días no se observó actividad microbiana a 65°C, aunque presentó actividad a temperaturas más bajas de 25°C, 35°C y 50°C (véase la figura 7).

Las pruebas en matraz agitado se han confirmado por análisis RT PCR que demuestran que los termófilos no sobreviven al periodo de reposo de 90 días - véase la figura 8. Los microorganismos que son activos a temperaturas más bajas no obstante sobreviven al periodo de reposo a pesar de que las concentraciones celulares disminuyen con el tiempo.

- 30 La figura 9 ilustra el efecto de la reinoculación de un montón tras un periodo de reposo de 90 días. Las concentraciones celulares de todos los microorganismos, para cada una de las muestras que se tomaron a profundidades que van aumentando desde la parte superior del montón, se llevaron de este modo a un nivel relativamente alto. De manera significativa, el recuento de células para los microorganismos termófilos se restableció a partir del valor sustancialmente cero prevaleciendo después del periodo de 90 días de reposo mostrado en la figura 8. También, las termófilas migraron a lo largo del montón y estaban presentes en las muestras tomadas a diferentes profundidades.

La figura 4 tiene una primera curva marcada A de temperatura en un montón en función del tiempo, donde el montón se inocula durante la aglomeración y no a partir de entonces, y una segunda curva marcada B de la temperatura del montón en función del tiempo, donde la reinoculación del montón tiene lugar con frecuencia o de forma continua.

- 40 La curva A confirma los resultados mostrados en las figuras 7 y 9 FRL en que la temperatura máxima del montón resultante de la actividad biológica está sólo ligeramente por encima de 50°C debido a la ausencia de microorganismos termófilos. La curva B por otra parte muestra la mejora que se obtiene cuando el inóculo se añadía con frecuencia al montón a prueba, ya sea en forma discontinua o en forma continua. Como resultado de la adición de inóculo las poblaciones microbianas se mantuvieron a un nivel activo en todo momento. Los microorganismos añadidos durante las etapas posteriores a altas temperaturas eran cultivos termófilos moderados y termófilos a altas temperaturas, que repusieron los organismos perdidos durante la aglomeración y el posterior periodo de reposo, y ayudaron a aumentar la actividad microbiana a las altas temperaturas de lixiviación de calcopirita. Sin la adición de un inóculo después de la aglomeración sólo hay una pequeña población termófila, y por lo tanto la actividad termofílica es baja, a medida que la temperatura del montón comienza a aumentar. Un avance exitoso en las condiciones de operación termófilas, por tanto, no es posible.

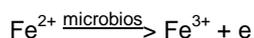
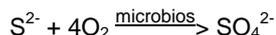
La figura 5 ilustra el recuento de células acumulativo que resulta de la adición de un inóculo mixto de mesófilos, termófilos moderados y termófilos, durante un periodo inicial después del inicio del montón, y el posterior uso de un inóculo mixto de termófilos moderados y termófilos.

La reinoculación de un montón usando termófilos moderados y termófilos, para reponer organismos perdidos

durante la aglomeración y la espera, es por lo tanto necesaria para alcanzar altas temperaturas de operación.

Es importante, sin embargo, aumentar la actividad bacteriana a bajas temperaturas a fin de disminuir el tiempo de retardo del inicio. La figura 11 tiene una curva marcada C de temperatura en función del tiempo en un montón asperjado con aire solo, y una curva similar marcada D de un montón asperjado con aire enriquecido con 0,1% a 0,5% de CO₂ v/v. La temperatura del montón se eleva a una velocidad significativamente más rápida cuando se añade CO₂ al aire en el montón de puesta en marcha, y a partir de entonces.

Es evidente a partir de lo anterior que sin la adición de cultivos termófilos moderados y termófilos buenos oxidantes del hierro y del azufre la temperatura del montón no alcanzará valores termófilos y se estancará a aproximadamente 55°C. Este aspecto se muestra gráficamente en la figura 10 que, como se indica, es similar a la figura 1. El efecto de la adición de cultivos oxidantes de hierro y azufre se ilustra mediante las siguientes relaciones:



$$\Delta H^0 = 400 \text{ MJ/kmol/O}_2$$

$$2,0 \text{ kg O}_2/\text{kg S}^{2-}$$

La figura 12 es un diagrama de representación de bloques de un proceso de biolixiviación a alta temperatura, para la recuperación de cobre, llevado a cabo en un montón de mineral de calcopirita, utilizando los principios de la invención.

Un objetivo es maximizar la generación de calor en el montón para aumentar la cantidad de cobre recuperado del mineral. En la zona mesófila se añade CO₂ para maximizar el crecimiento microbiano como se muestra en la figura 10. Sin la adición de CO₂ las zonas superiores en el montón se agotarán de CO₂ poco después del inicio y esto repercute negativamente en el crecimiento microbiano y la generación de calor.

Aparte de adición de CO₂ los termófilos se inoculan en el montón después de la aglomeración para asegurar que los microbios termófilos correctos están presentes cuando el montón alcanza temperaturas termófilas.

Haciendo referencia a la figura 12, se construye un montón 10 a partir de mineral aglomerado que se puede inocular previamente al menos con bacterias mesófilas y termófilas moderadas. El montón se construye en las almohadillas 12 y 14 utilizando técnicas convencionales. El aire de un depósito de suministro 16 se asperge en una zona inferior del montón, por un colector 18. El dióxido de carbono procedente de un depósito de suministro 20 se añade a una velocidad controlada, por lo general 0, 1% de CO₂ v/v, a la corriente de aire.

Una solución intermedia de lixiviado 21 recogida en la almohadilla 12 se recircula opcionalmente a un sistema de riego 22 situado por encima del montón.

La solución saturada de lixiviado 23 recogida en la almohadilla 14 se somete a un proceso de extracción/extracción electrolítica 24 en disolvente para recuperar el contenido de cobre de la solución saturada de lixiviado en cátodos 26.

El refinado de la etapa 24 se recoge en una balsa o recipiente 28 y se enriquece, según sea necesario, con ácido sulfúrico procedente de un depósito de suministro 30. El refinado, que tiene un recuento de células de 10⁶ a 10⁸ células/ml, se recicla (31) al sistema de riego 22.

Para asegurar que los microbios termófilos apropiados están presentes cuando el montón alcanza temperaturas termófilas se puede hacer uso de diferentes técnicas. Una primera posibilidad es hacer uso de al menos un reactor de acumulación en el que se cultiva un inóculo. Una parte de la figura 12 dentro de un bloque 36 de línea de puntos ilustra un proceso de acumulación de inóculo en el que un concentrado 38 se introduce a un gran número de reactores de acumulación de inóculo 40A a 40E, en el que el cultivo de microorganismos adecuados se lleva a cabo, activo a las temperaturas de 25°C, 35°C, 50°C, 55°C y 65°C, respectivamente. Cada reactor se agita por medio de un respectivo agitador de paletas 42A a 42E y aire 44 se dirige en una zona inferior de cada reactor. El dióxido de carbono 46 se añade al aire para maximizar y controlar la acumulación de inóculo en cada reactor. El dióxido de carbono está presente en el intervalo de 0,1% a 5% v/v.

El inóculo 48 se extrae de cada reactor, según se requiera, para maximizar la acumulación de calor en el montón 10. Por ejemplo, haciendo referencia a la figura 5, un inóculo mixto que contiene microorganismos mesófilos, termófilos moderados y termófilos, se añade al sistema de riego durante un período de puesta en marcha inicial del montón y a partir de entonces, a medida que se eleva la temperatura del montón, se añade al montón un inóculo mixto de microorganismos termófilos moderados y termófilos. El inóculo 48 se puede añadir a intervalos regulares por lotes pero preferiblemente se añade a una velocidad controlada y continua. El recuento de células del inóculo depende del funcionamiento de cada reactor y en cualquier dilución que puede tener lugar, pero por lo general se encuentra en el intervalo de 10⁷ a 10¹⁰ células/ml siendo un valor preferido en el intervalo de 10⁸ a 10⁹ células/ml. Un

objetivo a este respecto es mantener el recuento de células en el montón en el intervalo de 10^6 a 10^{12} células/tonelada de mineral.

En el montón inoculado y reinoculado en la forma mencionada anteriormente la curva de la temperatura media en el montón sigue estrechamente la curva marcada B en la figura 4.

- 5 El proceso descrito en relación con el bloque 36 en la figura 12 es una forma preferida de elevar la temperatura de operación del montón. pueden utilizarse otras técnicas sin embargo en lugar del mismo o en combinación con el mismo.

- 10 Un bloque 50 ilustra una variación en la que el inóculo 52 de uno o más de los reactores 40 se dirige a una balsa de inóculos 54. El estanque, que se airea (53), se utiliza como balsa de almacenamiento y mantenimiento y, según se requiera, de inóculos 56, por lo general con un recuento celular de 10^5 a 10^8 células/ml, se dirige al sistema de riego 22.

- 15 En otra purificación (57) el inóculo 58, ya sea desde la balsa 54 o desde cualquiera de los reactores 40, se dirige a un pequeño montón 60 separado que es operado en condiciones de circuito cerrado. La solución que drena procedente del montón se recoge en una balsa 62 y, o bien se recircula directamente al montón o se almacena y mantiene en la balsa de inóculos 54.

El mineral 64 que contiene microorganismos deseables se separa del montón 60 y se aglomera a continuación con el mineral en el montón 10 para ayudar a mantener la población de microorganismos deseables en el montón en niveles apropiados.

- 20 Un planteamiento similar (65) es usar los inóculos 66 de uno o más de los reactores 40 e inocular mineral triturado 68 que se aglomera en un proceso 70. Se añade ácido sulfúrico 72 al montón de aglomerado y el mineral inoculado y aglomerado 74 se introduce en el montón 10 según se requiera.

También es posible extraer refinado 31 de la balsa 28 y solución de lixiviado intermedia 21 de la almohadilla 12 y dirigir uno de los líquidos o una mezcla 74 de ambos líquidos al sistema de riego para mantener el recuento de células en el montón.

- 25 Las diversas técnicas que se han descrito tienen el efecto de añadir termófilos al montón para asegurar que los microbios termófilos correctos están presentes cuando el montón alcanza temperaturas termófilas. Esta técnica, preferiblemente realizada junto con la adición de CO_2 poco después de la puesta en marcha del montón, permite el intervalo de temperaturas de 50°C a 60°C en el montón que debe atravesarse con éxito.

REIVINDICACIONES

1. Un método para llevar a cabo procedimiento de biolixiviación para recuperar el contenido de cobre de un mineral que contiene cobre, incluyendo el método las etapas siguientes
- (a) formar un montón principal a partir del mineral,
 - 5 (b) inocular el montón al menos con microorganismos mesófilos y termófilos moderados que oxidan el azufre, cuando la temperatura en el montón es mesófila,
 - (c) cultivar al menos un inóculo mezclado de microorganismos termófilos moderados y termófilos,
 - (d) añadir dióxido de carbono al montón principal al menos mientras que la temperatura del montón principal está en la zona mesófila,
 - 10 (e) reinocular el montón principal al menos con el inóculo mezclado al menos antes de que la temperatura del montón alcance el intervalo de temperatura termófila para mantener el recuento celular en el montón en un valor desde 10^8 a 10^{12} células/tonelada de mineral y
 - (f) recircular una solución de lixiviado intermedia y el refinado producido haciendo pasar una solución saturada de lixiviado, purgando desde el montón principal, mediante un procedimiento de recuperación de metales, al
15 montón principal para aumentar el recuento de células activas en el montón principal.
2. Un procedimiento según la reivindicación 1 para la recuperación de cobre de la calcopirita que comprende las etapas de utilización de un gran número de reactores para la acumulación de inóculos mezclados, utilizándose cada reactor para un microorganismo respectivo que es activo en un intervalo de temperaturas específico y en el que los intervalos de temperatura se seleccionan de las temperaturas que abarcan los siguientes valores de temperatura
20 25°C, 35°C, 50°C, 55°C y 65°C, y añadiendo inóculos mezclados procedente de al menos un reactor al montón principal.
3. Un procedimiento según la reivindicación 2 en el que el inóculo de cada reactor se dirige a una balsa que se airea y en la que el inóculo se almacena y se mantiene y un inóculo mezclado de la balsa se añade al montón cuando sea necesario.
- 25 4. Un procedimiento según la reivindicación 2 en el que el inóculo de al menos uno de los reactores se añade al mineral triturado, junto con ácido según se requiera, y el mineral inoculado se añade al montón principal para introducir el inóculo mezclado en el montón principal.
- 30 5. Un procedimiento según la reivindicación 2 en el que el inóculo de al menos uno de los reactores se utiliza para regar un montón auxiliar que se opera como un generador de inóculos y el mineral del montón auxiliar, en el que los microorganismos activos se han fijado, se añade al montón principal para introducir los inóculos mezclados en el montón principal.

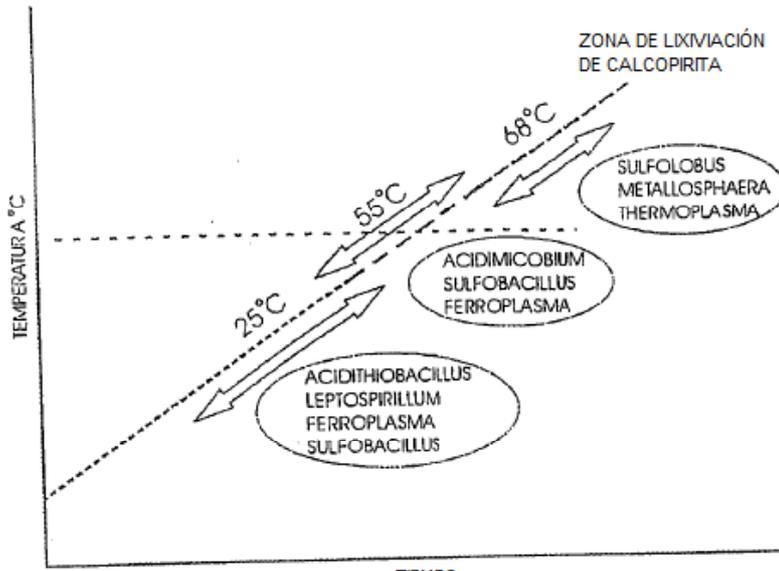


FIGURA 1

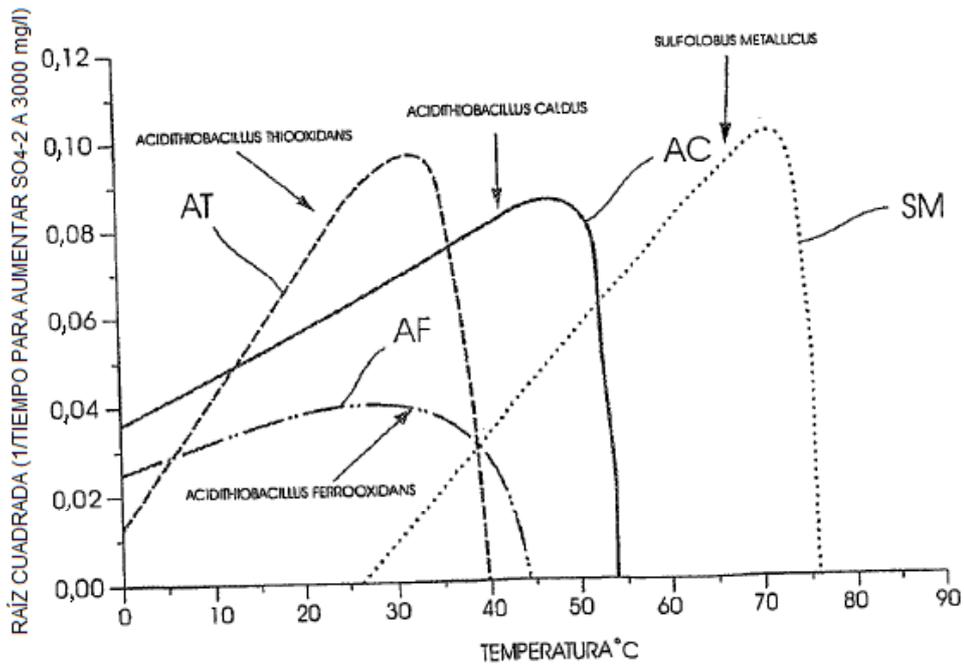


FIGURA 2

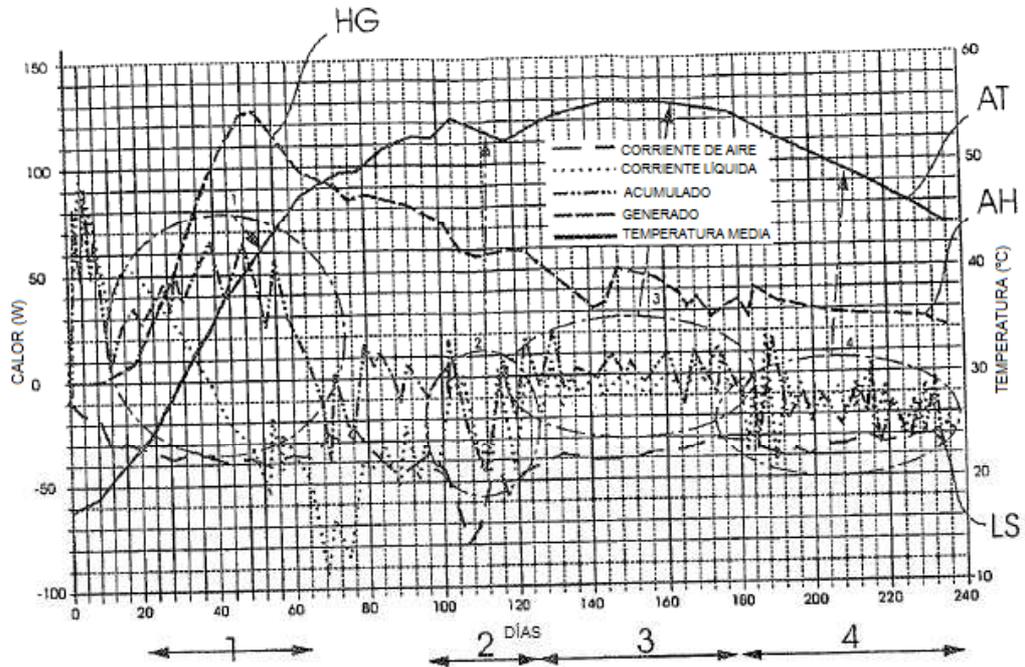


FIGURA 3

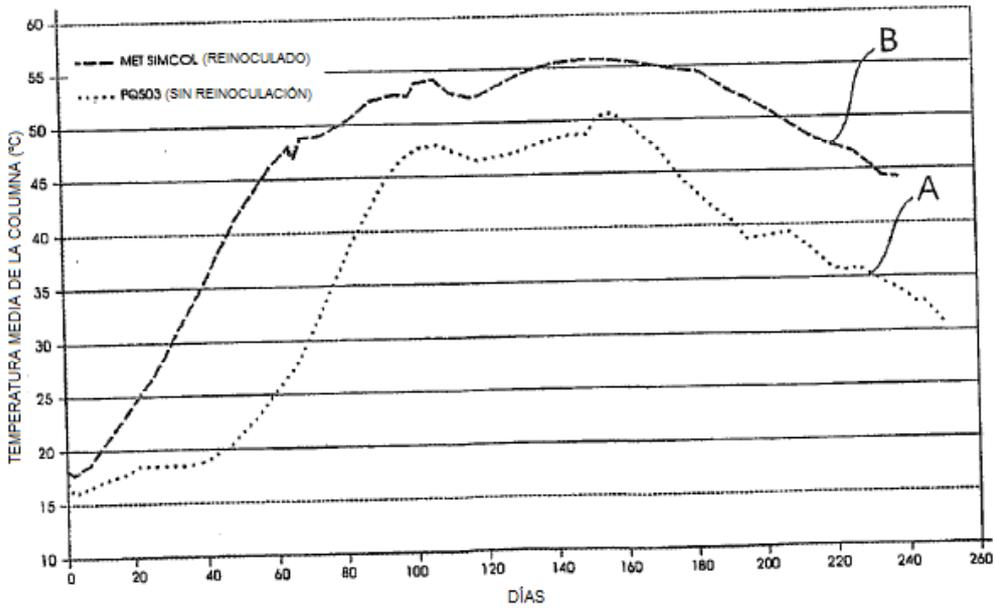


FIGURA 4

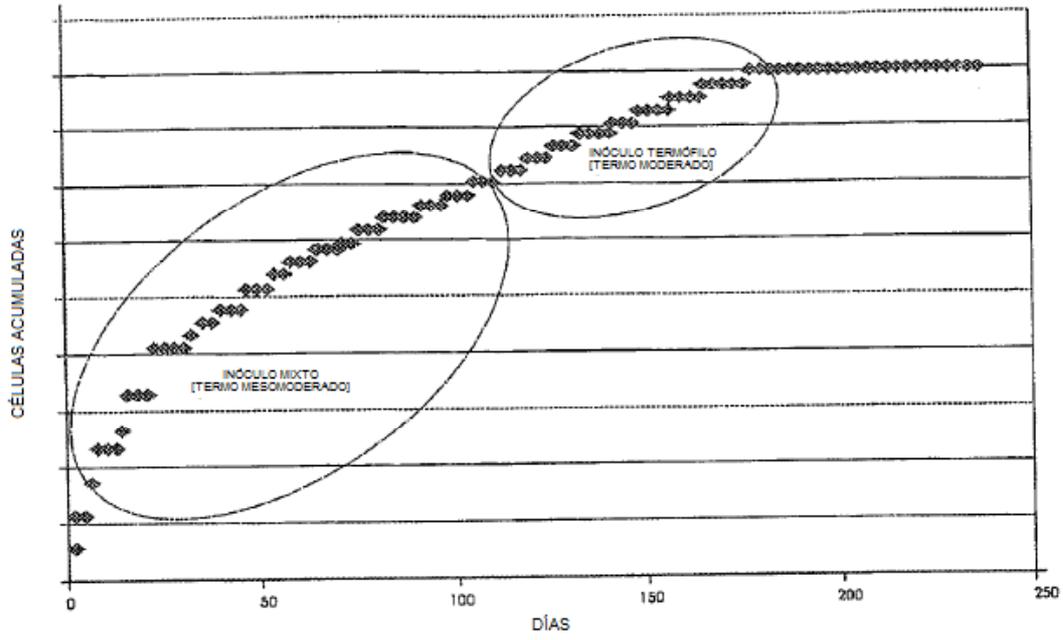


FIGURA 5

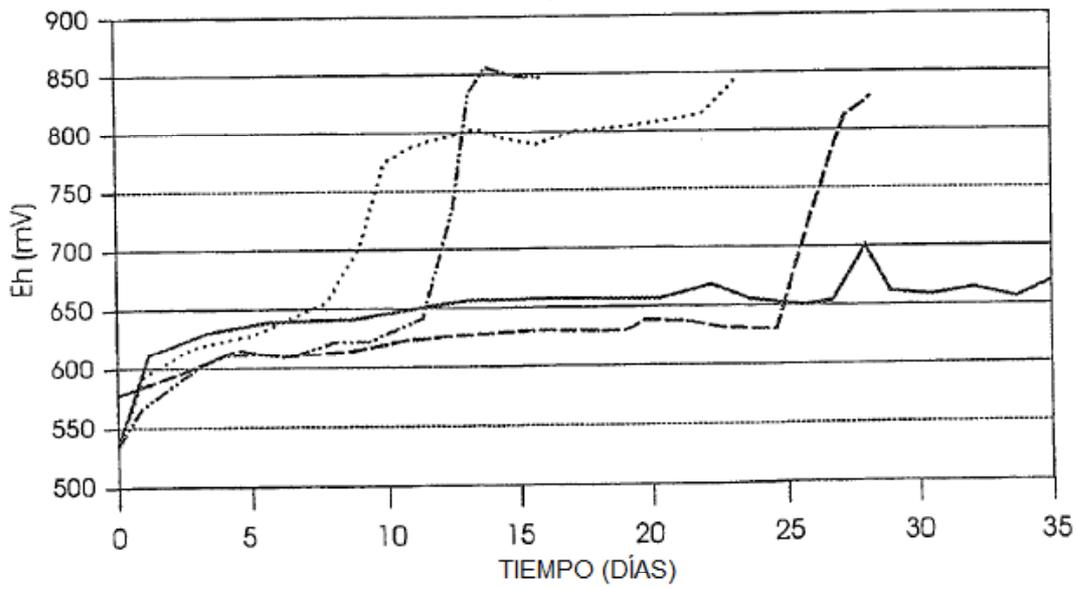


FIGURA 6

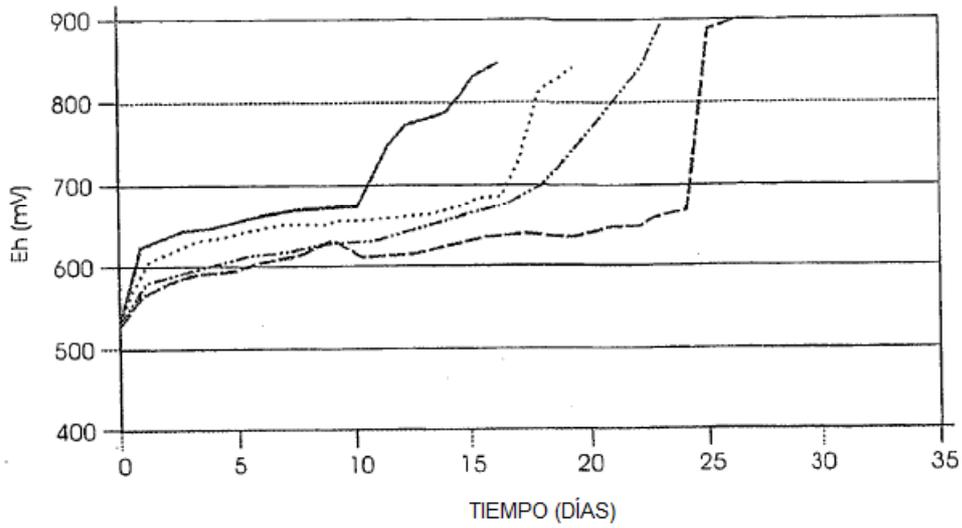


FIGURA 7

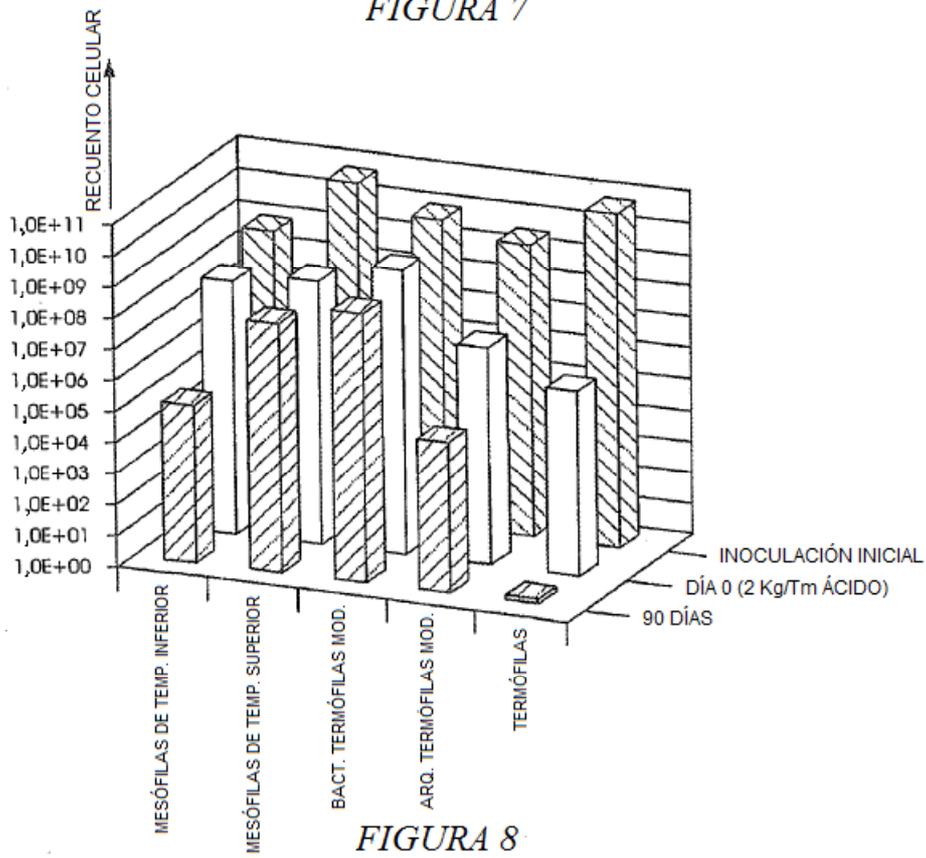
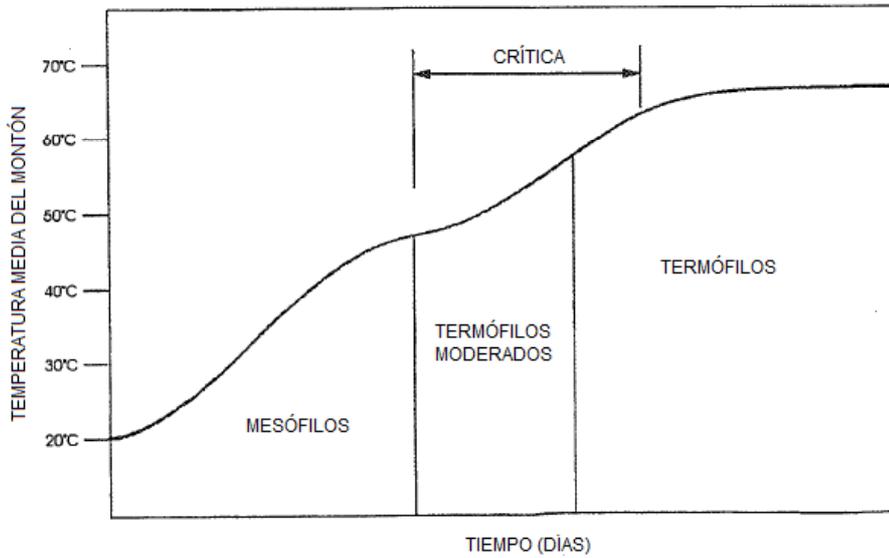
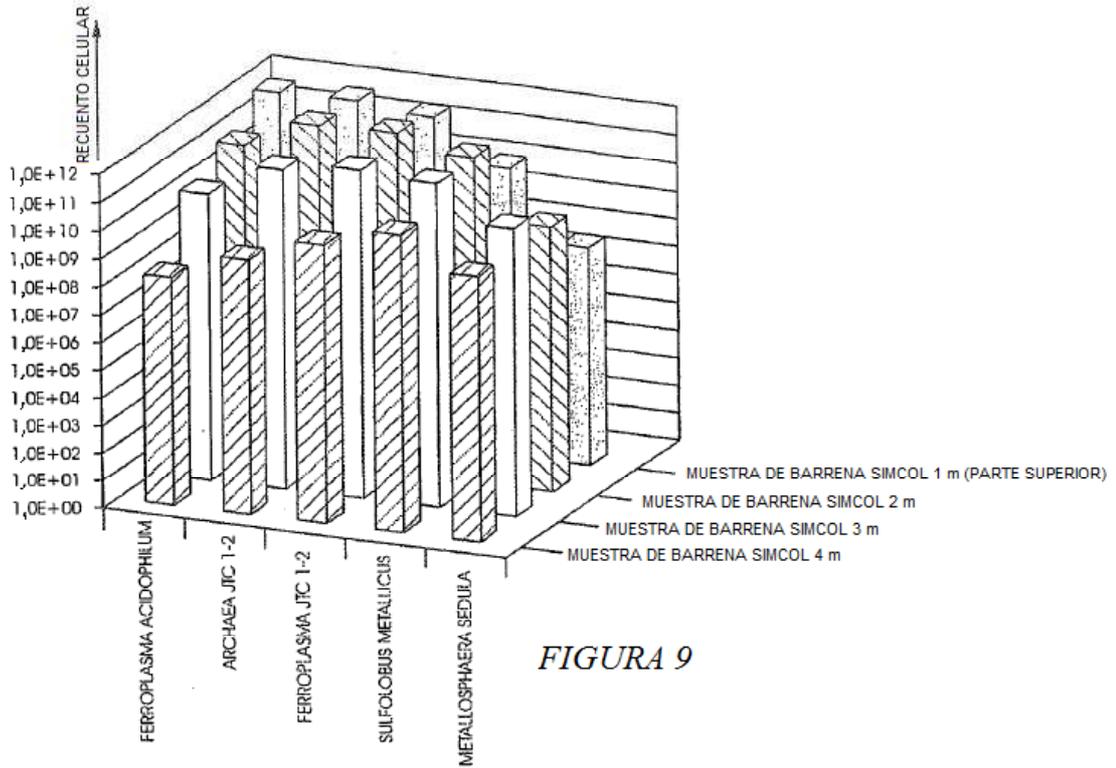


FIGURA 8



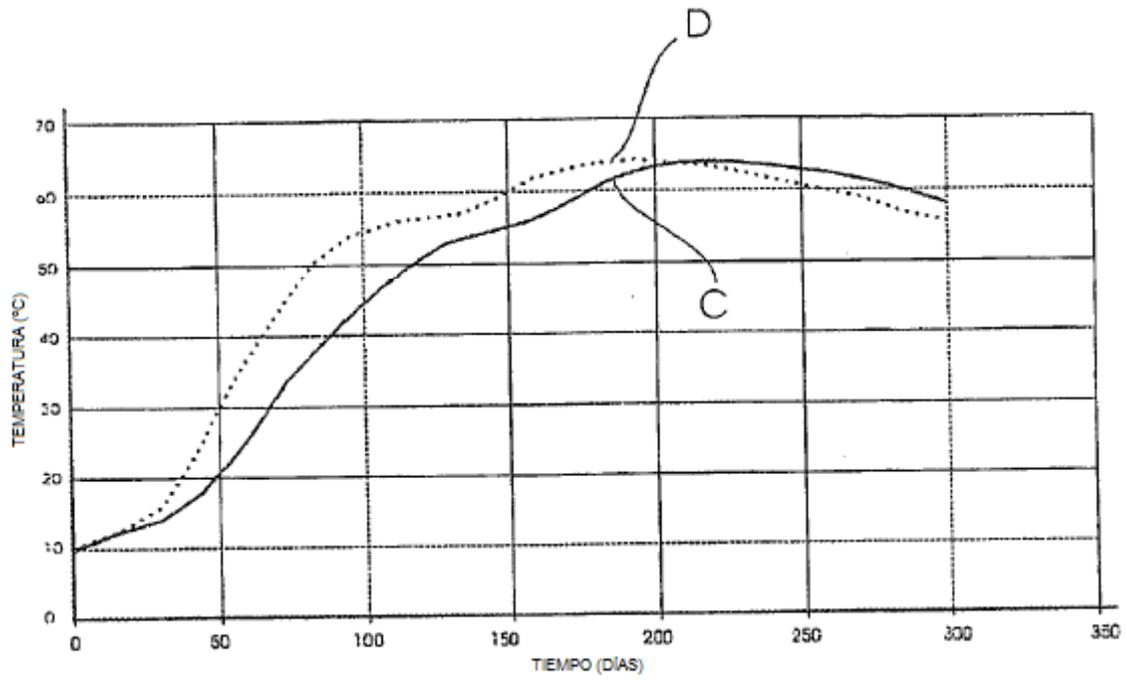


FIGURA 11

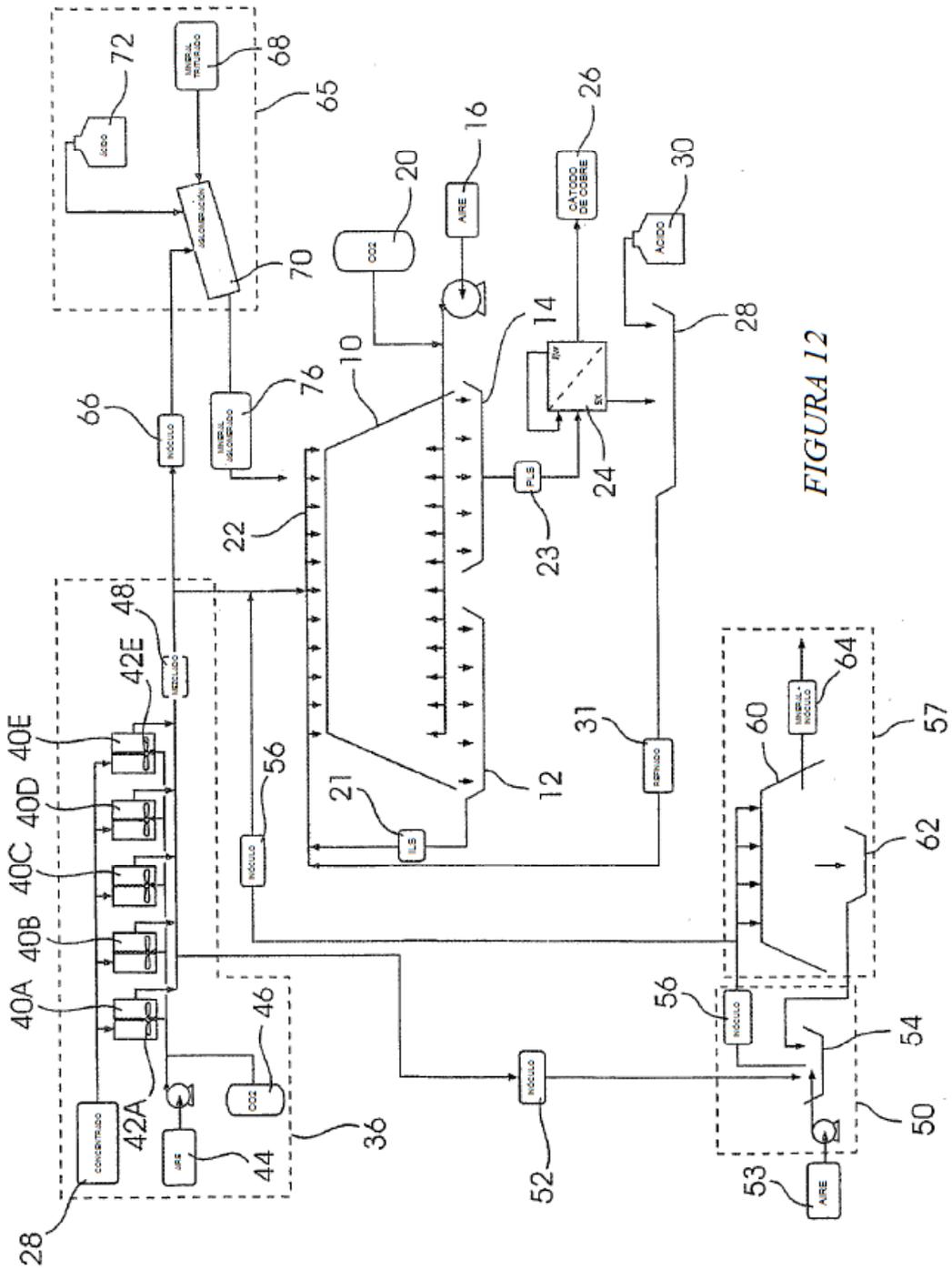


FIGURA 12