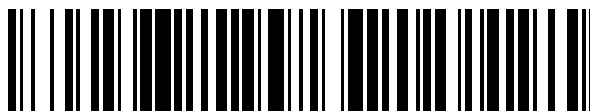


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 384 712**

51 Int. Cl.:
B01D 53/14 (2006.01)
B01D 53/62 (2006.01)
B01D 53/86 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **04749606 .2**
96 Fecha de presentación: **01.04.2004**
97 Número de publicación de la solicitud: **1615712**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **18.01.2006**

54 Título: **Mezclas de sal alcalina/poliamina para la extracción del dióxido de carbono en corrientes de gas**

30 Prioridad:
04.04.2003 US 460532 P

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
11.07.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
11.07.2012

73 Titular/es:
**BOARD OF REGENTS, THE UNIVERSITY OF TEXAS SYSTEM
201 WEST SEVENTH STREET
AUSTIN, TX 78701, US**

72 Inventor/es:
**ROCHELLE, Gary y
CULLINANE, John**

74 Agente/Representante:
Curell Aguilá, Mireia

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).

ES 2 384 712 T3

DESCRIPCIÓN

Mezclas de sal alcalina/poliamina para la extracción del dióxido de carbono en corrientes de gas.

Antecedentes de la invención

5 La presente solicitud reivindica prioridad de la solicitud de patente provisional US nº de serie 60/460.532, presentada el 4 de abril de 2003, y la incorpora como referencia. Más particularmente, se refiere a una variedad de composiciones y procedimientos para su utilización en la extracción del CO₂ en corrientes gaseosas.

10 Los efectos de las emisiones de CO₂ sobre el clima del planeta están impulsando la necesidad de desarrollar tecnologías rentables para la captura del CO₂ en la combustión de combustibles fósiles y otras fuentes puntuales. Los amplios programas que ya se han puesto en marcha están empezando a demostrar la viabilidad técnica y económica de confinar el CO₂ mediante estrategias como la inyección en depósitos subterráneos (Bergman, P. D., E. M. Winter y Z-Y. Chen, "Disposal of Power Plant CO₂ in Depleted Oil and Gas Reservoirs in Texas", presentado en la Third International Conference on Carbon Dioxide Renoval, Cambridge, Massachusetts, Estados Unidos, 9 a 11 de septiembre de 1996) y su almacenamiento en las profundidades oceánicas (Fujioka, Y. y otros, "Cost Comparison of Various CO₂ Ocean Disposal Options", presentado en la Third International Conference on Carbon Dioxide Renoval, Cambridge, Massachusetts, Estados Unidos, 9 a 11 de septiembre de 1996).

20 El CO₂ se emite en grandes cantidades durante la combustión de combustibles en fuentes móviles y fijas. La captura/secuestro de CO₂ será más eficaz si se aplica a grandes fuentes fijas. Las mayores fuentes individuales de CO₂ son las centrales térmicas convencionales de carbón, responsables de entre el 30 y el 40% de las emisiones de CO₂ en los Estados Unidos. La tecnología desarrollada para estas fuentes debería ser aplicable a la captura de CO₂ en calderas de gas y de petróleo, en centrales de ciclo combinado, en la gasificación del carbón y en las plantas de hidrógeno. La absorción/separación es adecuada para las calderas nuevas y para las existentes. En concreto, se puede utilizar en las calderas de carbón existentes, especialmente si ya disponen de lavadores para la reducción del SO₂. Sin embargo, este proceso puede resultar costoso, lo que puede hacer aumentar el coste de la electricidad en un 50%. Por consiguiente, resultan deseables las mejoras tecnológicas que reduzcan los costes de operación.

25 Es bien conocida la utilización de disolventes orgánicos o soluciones acuosas de disolventes orgánicos para el proceso de absorción/separación. La absorción/separación con alcanolaminas es una tecnología probada y eficaz para la captura de CO₂ en un gas. La primera generación de esta tecnología utiliza soluciones acuosas de monoetanolamina (MEA). El consumo de energía de este sistema es elevado, habitualmente de entre el 15 y el 30% de la producción de la central eléctrica (Herzog, H., E. Drake y E. Adams, "CO₂ Capture, Reuse, and Storage Technologies for Mitigating Global Climate Change", estudio final, nº de orden del DOE DEAF22- 96PC01257, 1997). Los avances en esta tecnología han dado a conocer otros disolventes alcanolamínicos para el tratamiento del CO₂ en diversas industrias. La monoetanolamina (MEA), la dietanolamina (DEA) y la amina impedida AMP se utilizan individualmente en una solución acuosa. Entre las mezclas habituales de disolventes se incluyen una solución de metildietanolamina (MDEA) promovida por piperazina u otras aminas secundarias.

35 Habitualmente, el carbonato de potasio y otros disolventes son promovidos por DEA u otras aminas reactivas. Estas aminas se proporcionan en cantidades catalíticas y se utilizan para mejorar las características de absorción del disolvente. Entre las patentes que describen estos disolventes y procedimientos se incluyen las patentes US nº 4.094.957, nº 4.112.050, nº 4.217.237, nº 4.336.233, nº 4.581.209, nº 5.853.680, nº 6.036.931, nº 6.337.059 y nº 6.416.568.

40 En la patente US nº 4.336.233, que da a conocer un sistema disolvente que combina MDEA y piperazina como acelerador de la absorción, se indica que la piperazina puede utilizarse sola en un sistema acuoso. De modo similar, la patente US nº 6.337.059 da a conocer un sistema disolvente con una concentración mayor de 1 M de piperazina y MDEA, en el que una mayor concentración de piperazina mejora el rendimiento de la absorción del disolvente. Sin embargo, no se pueden utilizar concentraciones de piperazina mayores de aproximadamente 1,3 M debido a que la piperazina precipita en la solución. Además, la piperazina es muy volátil, lo que limita el uso práctico de este disolvente.

50 La patente US nº 6.436.174 da a conocer un sistema disolvente en el que se pueden utilizar determinadas concentraciones de un heterociclo de nitrógeno, tal como la piperazina, en combinación con un alcohol monohídrico o polihídrico. Dicha patente pone de manifiesto que, habitualmente, la solubilidad del heterociclo de nitrógeno en presencia de un alcohol monohídrico o polihídrico es significativamente superior a la solubilidad del heterociclo de nitrógeno solo. Sin embargo, la patente US nº 6.436.174 no describe que un sistema disolvente con una concentración elevada de una sal alcalina aumenta la solubilidad de una poliamina, y no indica intervalos adecuados de los componentes disolventes que resulten eficaces para obtener un disolvente que pueda extraer eficazmente el CO₂ en una corriente de gas.

55 Sería ventajoso dar a conocer un disolvente orgánico para extraer el CO₂ en corrientes gaseosas que tenga velocidades de reacción más elevadas, una volatilidad aceptable y un calor de absorción bajo, lo que permitiría reducir el coste del proceso de absorción/separación. También sería ventajoso dar a conocer un disolvente que se aproxime más a una absorción y separación reversibles, lo que resultaría particularmente ventajoso en los procesos

con elevadas concentraciones de CO₂.

Las formas de realización de la presente invención se refieren a un procedimiento de extracción del CO₂ en una corriente gaseosa, que incluye: poner en contacto una corriente gaseosa con una solución, formándose dicha solución por combinación, por lo menos, de: piperazina con una concentración de amina de por lo menos 3,0 equivalentes/kg de agua, una sal alcalina con una concentración de por lo menos 3,0 equivalentes/kg de agua, en el que la relación de equivalentes de sal alcalina con respecto a equivalentes de piperazina es de 0,8 - 1,3; y agua, por el que el contacto elimina el CO₂ de la corriente gaseosa; y la regeneración de la solución.

En otra forma de realización, se da a conocer una composición, formándose la misma por combinación de: piperazina con una concentración de amina de por lo menos 3,0 equivalentes/kg de agua; y una sal de potasio con una concentración de por lo menos 3,0 equivalentes/kg de agua, y agua,

en el que la relación de equivalentes de sal alcalina con respecto a equivalentes del derivado de piperazina es de 0,8 - 1,3. La sal de potasio puede ser una sal alcalina de potasio, tal como carbonato de potasio, bicarbonato de potasio, bisulfuro de potasio o hidróxido de potasio. La relación de equivalentes de sal alcalina con respecto a equivalentes del derivado de piperazina es de 0,8 - 1,3, preferentemente de 0,9 - 1,1. Las concentraciones de derivado de piperazina y sal alcalina están comprendidas preferentemente entre 3,0 y 8,0 equivalentes/kg de H₂O, o entre 4,0 y 6,0 equivalentes/kg de H₂O. En una forma de realización, la concentración del derivado de piperazina es de aproximadamente 5,0 equivalentes/kg de H₂O y la concentración de sal alcalina es de aproximadamente 5,0 equivalentes/kg de H₂O. La composición puede comprender además un antioxidante, un inhibidor de la corrosión, un adyuvante de floculación o una mezcla de los mismos.

En una forma de realización de la presente invención, la piperazina tiene una concentración de amina de por lo menos 5,1 equivalentes/kg de agua, y la sal alcalina tiene una concentración de por lo menos 5,1 equivalentes/kg de agua. La concentración de poliamina y la concentración de sal alcalina son de por lo menos 3,0, preferentemente de por lo menos 3,5, 4,0, 4,5, 5,0, 5,5, 6,0, 6,5, 7,0, 7,5 u 8,0 equivalentes/kg de agua. Preferentemente, las concentraciones son de por lo menos 5,5, 6,0 o 6,5 equivalentes/kg de agua. Preferentemente, la concentración de poliamina y la concentración de sal alcalina son aproximadamente iguales; las concentraciones pueden ser de aproximadamente 5,1, 5,5, 6,0, 6,5, 7,0, 7,5, 8 o más equivalentes/kg de H₂O, tanto para la poliamina como para la sal alcalina. Las concentraciones estarán limitadas por la solubilidad de los componentes a la temperatura aplicada.

En una forma de realización de la presente invención, la solución contiene menos del 1% de un alcohol monohídrico o polihídrico. En una forma de realización, se añade menos del 1 por ciento en peso de alcohol a la solución. En otra forma de realización, no se añade alcohol.

La poliamina es la piperazina. La sal alcalina puede ser carbonato de potasio, un carbonato de sodio, un carbonato de litio, una sal de bicarbonato, una sal de bisulfuro o una sal de hidróxido.

La temperatura de la solución cuando se pone en contacto con la corriente gaseosa puede estar comprendida entre aproximadamente 25°C y 120°C, o más preferentemente entre aproximadamente 40°C y 80°C. La constante de velocidad para la reacción del CO₂ con el derivado de piperazina (k_{PZ}) puede ser, por lo menos, de 25 m³/mol·s a 25°C, o por lo menos de 50 m³/mol·s a 25°C.

La regeneración puede incluir calentar la solución rica en CO₂, lo que puede tener lugar a una temperatura de aproximadamente 50°C - 150°C, aproximadamente 60°C - 130°C, o aproximadamente 100°C - 130°C. Se puede incluir como parte de la solución un aditivo, tal como un agente antiespumante, un antioxidante, un inhibidor de la corrosión (por ejemplo, óxido de vanadio o un cromato), un adyuvante de floculación, o una mezcla de dos o más aditivos.

La relación de equivalentes de sal alcalina con respecto a equivalentes de amina de piperazina es de 0,8 - 1,3, más preferentemente de 0,9 - 1,1. Las concentraciones de piperazina y sal alcalina están comprendidas preferentemente entre 3,0 y 8,0 equivalentes/kg de H₂O, o entre 4,0 y 6,0 equivalentes/kg de H₂O. La concentración de piperazina y la concentración de sal alcalina pueden ser, por lo menos, de 2,3 m. En una forma de realización, la concentración de amina de la piperazina es de aproximadamente 5,0 equivalentes/kg de H₂O, y la concentración de sal alcalina es de aproximadamente 5,0 equivalentes/kg de H₂O.

En otra forma de realización, el procedimiento de eliminación del CO₂ en una corriente gaseosa puede incluir además la aplicación de un sistema de lavado con agua, en el que dicho sistema de lavado con agua recoge la poliamina de la corriente gaseosa tratada. La regeneración de la solución puede tener lugar en una columna extractora al vacío, y la solución se puede retornar para ponerse en contacto con la corriente gaseosa tras la regeneración.

En una forma de realización, la velocidad de la eliminación mediada por disolvente del CO₂ en la corriente gaseosa es, por lo menos, 1,5 veces la velocidad de eliminación del CO₂ en un método que utiliza una solución acuosa de monoetanolamina 5,0-M.

Otros componentes de una corriente gaseosa, tales como H₂S o COS, también se pueden eliminar mediante el

procedimiento según la presente invención. La corriente gaseosa puede proceder de una central térmica de carbón o puede ser un gas de combustión, gas natural, hidrógeno gaseoso, un gas de síntesis o una corriente de gases residuales.

5 Los siguientes dibujos forman parte de la presente memoria y se incluyen para poner adicionalmente de manifiesto algunos aspectos de la presente invención. La invención se puede comprender mejor haciendo referencia a uno o más de estos dibujos en combinación con la descripción detallada de las formas de realización específicas presentadas en la presente memoria.

Figura 1: Comparación de la velocidad de absorción de CO₂ en disolventes amínicos a 60°C en un intervalo de presiones de vapor de CO₂.

10 Figura 2: Comparación de la velocidad de absorción para el disolvente de piperazina según la presente invención y para otros disolventes amínicos.

Figura 3: Comparación de la velocidad de absorción de CO₂ para el disolvente de piperazina según la presente invención y para otros disolventes con carbonato de potasio.

Figura 4: Calor de absorción para disolventes con diferentes concentraciones de K⁺ y PZ.

15 Figura 5: Capacidad de los disolventes K⁺/PZ en el intervalo de operación de 300 a 8.000 Pa comparada con la capacidad de la MEA.

20 Las formas de realización de la presente invención incluyen un nuevo disolvente y un procedimiento de utilización para la extracción del CO₂ de gases de combustión, gas natural, hidrógeno gaseoso, gases de síntesis y otras corrientes de gases residuales y de proceso. El disolvente contiene una sal alcalina, tal como carbonato de potasio, y piperazina (PZ), con una relación sal alcalina/poliamina comprendida entre 0,8 y 1,3, estando limitada la concentración total por la solubilidad en estado sólido de la poliamina o de la sal alcalina, y es, por lo menos, de 3,0 equivalentes/kg de H₂O PZ. No se requieren alcoholes adicionales para aumentar la solubilidad de la PZ. Este disolvente químico está diseñado para aumentar la velocidad de extracción del CO₂ a fin de mejorar la eficiencia del proceso de extracción.

25 Tal como se utiliza en la presente memoria, el término "gas de síntesis" se refiere a gases que comprenden hidrógeno gaseoso y monóxido de carbono gaseoso. La relación molar de hidrógeno con respecto a monóxido de carbono puede ser aproximadamente de uno a uno, aunque no tiene necesariamente este valor. Otros materiales, tales como nitrógeno, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno y COS están presentes a menudo en los gases de síntesis.

30 Tal como se utiliza en la presente memoria, "uno" se puede referir a uno o más. Tal como se utilizan en la reivindicación o reivindicaciones, cuando se utilizan junto con la palabra "que comprende", las palabras "uno" se refieren a uno o más de uno, a menos que se indique explícitamente lo contrario.

35 Tal como se utiliza en la presente memoria, "otro" puede significar por lo menos un segundo o más. Tal como se utiliza en la presente memoria, el término "aproximadamente" se refiere a dentro del 20% del valor indicado o, más particularmente, dentro del 10% del valor indicado.

40 Se pueden utilizar diversas sales alcalinas en la formación del disolvente de la presente invención. Se pueden utilizar metales alcalinos, que comprenden de manera no limitativa el potasio, el sodio y el litio. Éstos pueden formar parte de cualquiera de entre muy diversas sales. Comprenden de manera no limitativa sales de carbonato, bicarbonato, hidróxido y bisulfuro. Una sal preferida es el carbonato de potasio. Otras sales alcalinas son el bicarbonato de potasio, el hidróxido de potasio y el bisulfuro de potasio. Análogamente, se pueden utilizar sales de litio y sodio, tales como el carbonato de sodio y el carbonato de litio.

45 Alternativamente, se puede utilizar una mezcla de dos o más sales en lugar de una única sal alcalina en el disolvente. Por ejemplo, el carbonato de potasio se puede combinar con carbonato de sodio en una relación de 1/10, 1/5, 3/10, 2/5, 1/1, 3/5, 7/10, 4/5, 9/10, 10/9, 5/4, 10/7, 5/3, 5/2, 5/1, 10/1, o cualquier otra relación intermedia. Si se utiliza una mezcla de sales, la relación de concentración preferida de sal con respecto a poliamina se basa en la concentración total de sal alcalina.

50 Una ventaja de utilizar un disolvente de carbonato de potasio es que, dado que el sulfato y el cloruro de potasio pueden resultar útiles como fertilizantes, será más fácil eliminar el disolvente de carbonato de potasio utilizado. Por consiguiente, este disolvente es más resistente al deslizamiento de SO₂ y HCl de un sistema de desulfuración existente de gases de combustión.

La piperazina se utiliza como un componente del disolvente de la presente invención.

La piperazina se puede adquirir a través de diversas fuentes comerciales, tal como se conoce en la técnica, o se puede sintetizar mediante técnicas químicas convencionales conocidas en la técnica. La piperazina se puede obtener, por ejemplo, por reacción de monoetanolamina con amoníaco, o por reacción de óxido de etileno y NH₃, y la

ciclación posterior del subproducto de etanolamina.

En una forma de realización más preferida, el disolvente tiene una mezcla sustancialmente idéntica de los dos componentes en una concentración de por lo menos 3,0 equivalentes/kg de H₂O. Esto se puede distinguir de otros sistemas que utilizan "promotores", que son cantidades más pequeñas y catalíticas de aminas, concebidos para mejorar las características de absorción en una solución concentrada que contiene una amina menos reactiva o carbonato de potasio. Se dan a conocer ejemplos de esta tecnología de promotores en la patente US nº 4.336.233, de BASF, que propone una concentración comprendida entre 0,05 y 0,8 M de PZ acuosa, o más preferentemente entre 0,05 y 0,4 M de PZ, como promotor en un disolvente que contiene MDEA.

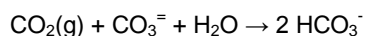
La cantidad de sal alcalina y piperazina en la solución está limitada por la solubilidad de ambos componentes. El carbonato de potasio puro y la piperazina pura son sólidos, lo que da lugar a limitaciones de solubilidad en estado sólido para las soluciones acuosas. A 25°C, la solubilidad del potasio en una solución rica en CO₂ es de 3,6 m, y la solubilidad de la PZ en agua es de aproximadamente 2 m. Con una limitación de solubilidad en estado sólido, las menores concentraciones resultantes pueden dar lugar a una velocidad de reacción reducida y a una baja capacidad de solución, lo que hace que el disolvente resulte poco atractivo. Mediante la combinación de PZ y carbonato de potasio en una solución acuosa, la solubilidad en estado sólido aumenta hasta 3,6 m de PZ, lo que permite una mayor concentración total de soluto y, potencialmente, un aumento de la velocidad de absorción y la capacidad. A temperaturas más elevadas, la solubilidad aumenta aún más y permite la utilización de soluciones más concentradas. Se ha sugerido que no se pueden utilizar concentraciones de PZ mayores de 1,3 m en un entorno rico en CO₂ (en ausencia de una sal alcalina) debido a la formación de carbamato de piperazina, que precipita en la solución. (Patente US nº 4.336.233). Sin embargo, son viables mayores concentraciones de sales alcalinas y poliaminas sin que se produzca la precipitación de los sólidos. Las concentraciones más elevadas de reactivos aumentan la capacidad del disolvente y reducen los requisitos restantes de energía asociados con el calor sensible del disolvente. Una mayor concentración de poliamina también aumenta la velocidad de absorción del CO₂.

La concentración de disolvente de K₂CO₃ sin PZ está limitada por la precipitación de KHCO₃. Los datos disponibles sugieren que una solución rica con una presión parcial de CO₂ de 0,1 atm estará limitada al 30% en peso de K₂CO₃ a 40°C y al 35% en peso a 60°C. (Bocard, J.P. y B. J. Mayland, "New Charts for Hot Carbonate Process", Hydroc. Proc. & Pet. Ref., 41(4), 128, 1962; Tosh, J.S. y otros, "Equilibrium Study of the system potassium carbonate, potassium bicarbonate, carbon dioxide, and water", USBM RI 5484, 1959). Se entiende que la operación próxima al límite de solubilidad puede requerir un control cuidadoso del proceso.

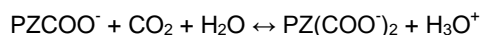
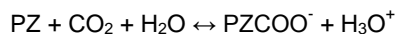
Por debajo de 40°C, el sólido estable de PZ es PZ·6H₂O, con una solubilidad de 1,8 M de PZ a 25°C. Por encima de 40°C, la fase estable es la PZ anhidra, con una solubilidad de 7,4 M a 40°C. Es posible que concentraciones salinas elevadas, tales como de K⁺CO₃⁻/HCO₃⁻, reduzcan la solubilidad de la PZ libre en un factor de hasta 2. Pero menos del 25% de la PZ total estará presente como PZ libre en el disolvente pobre. Por consiguiente, incluso si la precipitación de PZ·6H₂O por debajo de 40°C limita la composición del disolvente, se pueden utilizar concentraciones de PZ de hasta 3 M. Se puede utilizar una solución acuosa que contiene únicamente PZ como disolvente de lavado; sin embargo, la misma tendría una aplicabilidad limitada, ya que, en concentraciones superiores a aproximadamente 1,3 M, la piperazina precipita en presencia de CO₂ en forma de carbamato. La solubilidad de la piperazina en agua a 20°C es únicamente de 1,5 M. Patente US nº 4.336.233.

Por consiguiente, resulta ventajoso combinar piperazina y una sal alcalina en concentraciones relativamente elevadas. La piperazina tendrá una concentración de por lo menos 1,5 m, o de 3,0 equivalentes para una diamina, por kg de agua, y la sal alcalina tendrá una concentración de por lo menos 1,5 m, o de 3,0 equivalentes para una sal divalente, por kg de agua. En una forma de realización preferida, la relación de piperazina con respecto a sal alcalina será aproximadamente de 1 a 1, por ejemplo, de 3,6 equivalentes de PZ/kg de agua y 3,6 equivalentes de potasio/kg de agua. Análogamente, los dos componentes pueden presentar concentraciones de 5,0 equivalentes/kg de agua. Esta relación uno a uno de sal alcalina con respecto al resto amínico da lugar a una solubilidad eficaz de ambos componentes y a la solvatación del CO₂. Otras relaciones 1:1 de sal alcalina con respecto al resto amínico comprenden de manera no limitativa 3:3, 3,5:3,5, 4:4, 4,5:4,5, 5,5:5,5, 6:6, 6,5:6,5, 7:7, 7,5:7,5, 8:8, 8,5:8,5, 9:9 equivalentes/kg de agua. Las relaciones de concentración contempladas en la presente invención comprenden de manera no limitativa relaciones de equivalentes de sal/amina de aproximadamente: 1,3:1, 1,2:1, 1,1:1, 1:1, 1:1,1, 1:1,2 y 1:1,3.

En ausencia de una poliamina, el CO₂ reacciona con carbonato para dar bicarbonato. El calor de esta reacción es de aproximadamente 5 kcal/gmol:



Al combinar una poliamina como la piperazina y dióxido de carbono, la piperazina se ve sometida a reacciones de equilibrio, como se muestra en las siguientes reacciones.

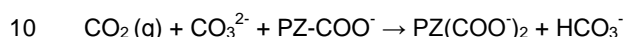
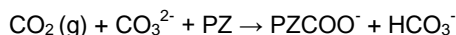


En esta reacción, la PZ (C₄N₂H₁₀) reacciona con el CO₂ para dar PZ-carbamato (PZCOO⁻) y PZ-dicarbamato (PZ(COO⁻)₂). En el límite de la reacción, la estequiometría sería:



5 En esta reacción, no se muestra la presencia de piperazina libre que contribuya a la volatilidad. Sin embargo, sí habrá piperazina libre en la solución, pero en menores cantidades al añadirse CO₂ o CO₃²⁻ a la solución. La adición de carbonato de potasio añade CO₃²⁻ a la solución y proporciona un catión disociado que se puede combinar con las especies aniónicas de la piperazina.

El carbonato resultará sometido a un equilibrio de tamponación según las reacciones generales:



15 En soluciones con concentraciones elevadas de PZ, en las que predominan estas reacciones, el calor de absorción del CO₂ alcanza las 20 kcal/gmol. Por consiguiente, el calor de absorción previsto en disolventes que contienen la sal alcalina K₂CO₃ y la poliamina PZ variará entre aproximadamente 10 y 20 kcal/gmol, en función de la concentración de PZ. Una ventaja del sistema de disolvente que contiene una poliamina y una sal alcalina es su capacidad de modular el calor de absorción modificando la relación sal/poliamina. A efectos comparativos, el calor de absorción del CO₂ en disolventes MEA es de aproximadamente 22 kcal/gmol.

Aunque las reacciones anteriores son específicas para la PZ, otras poliaminas reaccionan de manera similar, reaccionando cada grupo amina con el CO₂ para dar carbamato, dicarbamato, tricarbamato, etc.

20 El efecto del disolvente novedoso sobre la velocidad de absorción del CO₂ a 60°C se muestra en la figura 1. Los disolventes con relaciones de K⁺/PZ de uno a dos dan lugar a velocidades de absorción entre 1,5 y 5 veces mayores que otros disolventes comunes (MEA 5,0 M) y otros disolventes promovidos con menos piperazina.

25 Si bien el mecanismo de reacción de la piperazina es típico de otras aminas, la presencia de carbonato de potasio en la solución hace aumentar significativamente la velocidad de reacción, tal como pone de manifiesto el valor de las constantes específicas de velocidad indicadas en la tabla 1. La expresión de la velocidad para los cálculos de la tabla 1 viene dada por:

$$r = (k_{\text{PZ-OH}} [\text{PZ}][\text{OH}^-] + k_{\text{PZ}} [\text{PZ}] + k_{\text{PZCOO}^-} [\text{PZCOO}^-]) [\text{CO}_2]$$

30 También se pone de manifiesto un comportamiento de aceleración de la velocidad en presencia de una base, tal como un hidróxido o un carbonato. Ambas características resultan ventajosas, ya que una mayor velocidad de absorción requerirá menos energía y/o se pueden reducir los costes de equipamiento. La velocidad de absorción puede aumentar en un factor de tres en comparación con otros disolventes amínicos.

Tabla 1. Constantes específicas de velocidad para la reacción piperazina-CO₂ con y sin presencia de potasio

	k _{PZ-OH} (m ⁶ /mol ² -s)	k _{PZ} (m ³ /mol-s)	k _{PZCOO⁻} (m ³ /mol-s)
Sin K ⁺	0,0	54	47
Con K ⁺	2,6	290	47

*K_{MEA} = 7 m³/mol-s

35 Gracias a la mayor velocidad de absorción alcanzada en la presente invención en comparación con los métodos conocidos en la técnica, se dispone de diversas opciones de optimización de costes para su utilización con la presente invención. En primer lugar, la mayor velocidad permite trabajar más cerca del equilibrio. Esto permite reducir las exigencias energéticas en un factor de tres. En segundo lugar, se puede reducir la altura de la torre, con lo que se disminuye la cantidad de material de empaquetamiento necesario para rellenar la columna. Esto reduce asimismo la caída de presión a lo largo de la columna y, en consecuencia, reduce los costes energéticos. Por último,

40 se puede considerar una combinación óptima de los dos casos anteriores a fin de reducir los costes tanto de equipamiento como operativos.

45 A pesar de la formación de especies iónicas en el disolvente, siempre existirá cierta cantidad de piperazina libre. Si no se hace nada al respecto, la volatilidad puede constituir un problema. Dicho problema se puede reducir o eliminar por completo utilizando un sistema de lavado con agua. La mayoría de procesos con aminas ya contienen bandejas de lavado con agua a fin de recoger las aminas del gas tratado en el absorbedor y el extractor.

Se cree que la degradación de la piperazina en solución también es significativa. Se espera que la polimerización de carbamatos, un mecanismo de degradación, tenga lugar a menor velocidad que en MEA y otros disolventes amínicos. También existe la posibilidad de una degradación oxidativa, que puede ser más lenta que en MEA o no.

5 La técnica actual de captura de CO₂ en gases de combustión es la absorción/separación con MEA acuosa al 15-30% en peso. Entre el 90 y el 99% del CO₂ se extrae en un absorbedor con entre 40 y 60 pies de empaquetamiento vertido a presión atmosférica. La caída de presión y los costes de equipamiento del absorbedor son elevados y se pueden reducir significativamente aumentando la velocidad de absorción del CO₂. La temperatura del proceso de absorción debe estar comprendida entre 25°C y 120°C, o más preferentemente entre 40°C y 80°C.

10 Los procesos de absorción/separación conocidos en la técnica, tales como los disponibles a través de Exxon y UOP, proporcionan tecnologías con una absorción/separación isotérmica a una temperatura comprendida entre 90 y 120°C. Habitualmente, el separador funciona ligeramente por encima de la presión atmosférica. Estos sistemas utilizan una regeneración por oscilación de presión isotérmica en lugar de oscilación térmica debido a que el calor de desorción del CO₂ (5 kcal/mol) es menor que el calor de vaporización del agua (10 kcal/mol). Una mayor temperatura en el extractor no aumenta la volatilidad del CO₂ con respecto a la del agua. En estos sistemas, el disolvente se regenera en un separador con entre 40 y 60 pies de empaquetamiento próximo a la presión atmosférica a una temperatura comprendida entre 110 y 130°C. La demanda de calor de nivel moderado (30-60 psi de vapor) para hacer funcionar el rehedidor es elevada, alcanzando entre el 20 y el 30% del requerimiento térmico de la central eléctrica.

20 Generalmente, el proceso de eliminación del CO₂ consta de una columna de absorción en la que una corriente gaseosa rica en CO₂ se pone en contacto con un disolvente químico de circulación a una temperatura comprendida entre aproximadamente 40 y 100°C. Tras la absorción del CO₂, el disolvente se pasa a una columna de separación, en la que el CO₂ disuelto se extrae por calentamiento a una temperatura comprendida entre aproximadamente 50°C y 150°C, o más preferentemente entre 60°C y 130°C, y todavía más preferentemente entre 100°C y 130°C. A continuación, el disolvente se devuelve al absorbedor como solución pobre en CO₂.

25 La combinación de carbonato de potasio y piperazina como disolvente para este proceso proporciona flexibilidad y ventajas sobre los disolventes según el estado de la técnica. Las mezclas de K⁺/PZ son eficaces para conseguir buenas velocidades de absorción del CO₂, que pueden ser de dos a tres veces mayores que en MEA 5,0 M. Dicha mezcla también mejora la solubilidad en estado sólido de los dos componentes y puede reducir la volatilidad de la piperazina.

30 Se pueden utilizar diversos métodos de separación, incluidos la extracción con recompresión de vapor, la separación con vapor de escape de turbina, y la separación multietapa. En una forma de realización, la captura de CO₂ en gases de combustión mediante la utilización del disolvente según la presente invención aplica una operación isotérmica con un separador de vacío. La baja presión del absorbedor (1 atm) no permite el funcionamiento a una temperatura superior a 50 o 60°C sin requerir calor adicional para evaporar grandes cantidades de agua. A esta temperatura más baja, el disolvente cataliza de forma eficaz la absorción y la desorción del CO₂.

35 La absorción y la separación se pueden llevar a cabo a presión atmosférica o superatmosférica. La presión de separación se puede ajustar a fin de minimizar las exigencias energéticas del sistema, y se puede determinar por modelización. Dicha modelización también sirve para optimizar la cantidad de empaquetamiento en el absorbedor y el separador. A medida que se reducen la temperatura y la presión del separador, la velocidad de reacción para producir CO₂ también disminuye y la capacidad de transferencia de masa del separador se reduce.

El procedimiento también puede incluir una etapa de lavado en una o dos etapas a fin de recoger la piperazina. Dicho lavado puede ser un lavado con agua y puede tener lugar en la columna de absorción o en la columna de separación.

45 La absorción y la desorción del CO₂ en los disolventes de sal alcalina y piperazina están determinadas principalmente por la difusión del CO₂ en la película de líquido, con una reacción rápida cerca de la interfase gas-líquido. La velocidad es mayoritariamente independiente de los coeficientes de transferencia de masa del gas y la película de líquido, y depende del área de contacto entre el gas y el líquido. El flujo depende de la raíz cuadrada de la cinética de reacción, en este caso, con las especies PZ y PZCOO⁻.

50 Las constantes de velocidad k_{PZ} y k_{PZCOO^-} se han determinado a partir de mediciones en agua y en MDEA al 50%. Estos valores son de 5 a 10 veces mayores que la constante de velocidad comparable para la MEA. La duplicación de la concentración de especies de PZ aumenta la velocidad de absorción del CO₂ en aproximadamente un 40%. El coeficiente efectivo de transferencia de masa gas-película depende fuertemente de la carga y disminuye en un factor de 4 desde condiciones de pobreza (0,003 atm) a condiciones de riqueza (0,06 atm).

55 Con una concentración baja de CO₂ y una concentración alta de amina libre, la velocidad de absorción del CO₂ estará controlada exclusivamente por el área de contacto gas/líquido. Para una mayor concentración de CO₂ y una concentración reducida de amina libre, la absorción de CO₂ estará controlada en mayor medida por la difusión de la película de líquido de la piperazina.

Se pueden llevar a cabo mediciones adicionales de absorción/desorción del CO₂ en una columna de pared mojada con los disolventes de sal alcalina y piperazina en una gama más amplia de condiciones. El aparato se describe en Mshewa, M.M. "CO₂ Desorption/Absorption with Aqueous Mixtures of MDEA and DEA at 40 to 120°C", exposición de tesis doctoral, 1995; Pacheco, M. y G.T. Rochelle, "Rate-based Modeling of Reactive Absorption of CO₂ and H₂S into Aqueous Methyldiethanolamine", Ind. Eng. Chem. Res., 37(10), 4107-4117, 1998; Pacheco, M., "Mass Transfer, Kinetics and Rate-based Modeling of Reactive Absorption", exposición de tesis doctoral, mayo de 1998; Pacheco, M., S. Kaganoy y G.T. Rochelle, "CO₂ Absorption into Aqueous Mixtures of Diglycolamine and Methyldiethanolamine", enviado a Chem. Eng. Sci., 5 de julio de 1999; Bishnoi, S. y G.T. Rochelle, "Absorption of Carbon Dioxide into Aqueous Piperazine: Reaction Kinetics, Mass Transfer and Solubility", presentado en la 49th Annual CSChE Conference, Saskatoon, Saskatchewan, 3 a 6 de octubre de 1999; y en Bishnoi, Sanjay, "Carbon Dioxide Absorption and Solution Equilibrium in Piperazine Activated Methyldiethanolamine", exposición de tesis doctoral, The University of Texas, Austin, 2000. Este sistema se ha utilizado para las mediciones de PZ/MDEA (Bishnoi, Sanjay. "Carbon Dioxide Absorption and Solution Equilibrium in Piperazine Activated Methyldiethanolamine", exposición de tesis doctoral, The University of Texas, Austin, 2000) y PZ/MEA (Dang, Hongyi, "CO₂ Absorption Rate and Solubility in Monoethanolamine/Piperazine/Water", tesis de máster, The University of Texas Austin, 2001). La columna de pared mojada se construyó a partir de un tubo de acero inoxidable con una superficie bien definida (38,5 cm²) y un coeficiente de transferencia de masa de película de líquido característico parecido al de una torre empaquetada. La velocidad de absorción se determina a partir del balance de materia en fase gaseosa utilizando la medición de la concentración de gas de entrada y salida. La solubilidad se mide por escalonamiento del equilibrio con las mediciones de absorción y desorción. Las condiciones de operación pueden variar entre una temperatura de 25°C y de 120°C, una presión total de entre 1 y 7 atm y una fracción molar de CO₂ de entre 0,0001 y 1.

La piperazina del disolvente experimentará cierta cantidad de degradación oxidativa. En la PZ, este proceso provoca la formación de etilendiamina, formiato, glicolato y otros fragmentos amínicos y de ácidos orgánicos. Para reducir la cantidad de degradación oxidativa del disolvente, se pueden añadir antioxidantes al sistema disolvente o se puede utilizar un extractor de vacío. En la presente invención, se puede utilizar cualquier antioxidante conocido en la técnica. Las concentraciones habituales de antioxidante están comprendidas entre aproximadamente el 0,01 y el 5% en peso.

También se pueden añadir otros agentes adicionales al disolvente de la presente invención. Dichos agentes pueden actuar, por ejemplo, como agentes antiespumantes, adyuvantes de floculación o inhibidores de la corrosión. Las concentraciones habituales de estos aditivos están comprendidas entre aproximadamente el 0,01 y el 5% en peso. Estos agentes son bien conocidos en la técnica, y entre los mismos se incluyen, por ejemplo, óxidos de vanadio (por ejemplo, V₂O₃), cromatos (por ejemplo, K₂Cr₂O₇), anhídrido arsenioso, ácido selenioso, ácido teluroso, próticos y aminoácidos.

La volatilidad de la poliamina PZ en el disolvente de la presente invención es baja, ya que menos del 20% de la misma será PZ libre en una solución pobre. Esto aumenta la seguridad del disolvente. El impacto medioambiental se puede minimizar mediante la utilización de un lavado con agua en la parte superior del absorbedor.

En la presente invención se utilizan diversos métodos para describir las concentraciones de las soluciones, incluidos la molaridad (moles de soluto/litro de solución, M), la molalidad (moles de soluto/kg de disolvente, m), el porcentaje en peso y los equivalentes/kg de H₂O. Para concentraciones de solución bajas, la molaridad y la molalidad serán esencialmente idénticas, como lo serán los equivalentes/kg de H₂O cuando el componente tiene un único equivalente del componente reactivo (por ejemplo, una monoamina). K₂CO₃ 1,5 m es aproximadamente K₂CO₃ al 20% en peso. Por ejemplo, una solución de K₂CO₃ 1,8 m tiene 3,6 equivalentes de K⁺/kg de H₂O, y una solución de amina trifuncional 1,8 m, por ejemplo dietilentriamina, tiene 5,4 equivalentes de amina/kg de H₂O.

Ejemplos

Los siguientes ejemplos se incluyen para ilustrar las formas de realización preferidas de la presente invención. Los expertos en la materia apreciarán que las técnicas descritas en los siguientes ejemplos representan técnicas descubiertas por el presente inventor para que funcionen bien en la aplicación de la presente invención, de modo que se puede considerar que constituyen modos preferentes para su aplicación. Sin embargo, los expertos en la materia apreciarán, a partir de la presente descripción, que se pueden llevar a cabo muchas modificaciones en las formas de realización específicas descritas y obtener un resultado igual o parecido sin apartarse del espíritu y el alcance de la presente invención.

Ejemplo 1 - Mezclas de disolventes

Existen, por lo menos, tres características que definen la utilidad y la eficacia de una mezcla de disolventes: la velocidad de absorción del CO₂, el calor de absorción del CO₂ y la capacidad. La tabla 2 resume estas características para diversos sistemas en comparación con la tecnología estándar de MEA 7 m, y resalta las ventajas de la presente invención. Los valores indicados proceden de datos experimentales y predicciones según modelo recogidos en Bishnoi, Sanjay, "Carbon Dioxide Absorption and Solution Equilibrium in Piperazine Activated Methyldiethanolamine", exposición de tesis doctoral, The University of Texas, Austin, presentada en 2000 y en J.T. Cullinane, "Carbon Dioxide Absorption in Aqueous Mixtures of Potassium Carbonate and Piperazine", tesis de

máster, The University of Texas, Austin, presentada en mayo de 2002.

Tabla 2

Disolvente	Velocidad ^a x 10 ¹⁰ (mol/Pa·cm ² ·s)	-ΔH _{abs} ^b (kcal/mol de CO ₂)	ΔCarga ^c (moles de CO ₂ /kg de H ₂ O)	Volatilidad ^d (Pa)
MEA 7 m	0,46	21,9	0,79	14,8
PZ 1,8 m	0,87	19,1	0,40	6,1
K ⁺ 3,6 m/PZ 0,6 m*	0,38	9,5	0,48	0,4
K ⁺ 5,0 m/PZ 2,5 m	0,69	15,0	0,65	1,4

* No forma parte de la presente invención

a: Velocidad a P_{CO₂}* = 3.000 Pa y 40°C

5 b: Calor de absorción de CO₂ a 80°C

c: Cambio en la carga a 40°C entre P_{CO₂}* de 300 y 3.000 Pa

d: Presión de vapor de la amina líquida a 40°C, P_{CO₂}* = 300 Pa, y coeficiente de actividad de 1

Ejemplo 2 - Ventajas de la velocidad de absorción

10 No debe subestimarse la importancia de una velocidad de absorción elevada, ya que es responsable de la determinación de las relaciones de los disolventes y la altura de la columna. El aumento de la velocidad de absorción del CO₂ permite un caudal de líquido menor, lo que reduce la energía requerida para el funcionamiento del proceso. Alternativamente, la altura de la columna se puede reducir al reducirse la caída de presión a lo largo de la columna y las exigencias energéticas asociadas a la misma.

15 La figura 1 muestra una marcada diferencia entre soluciones que utilizan cantidades catalíticas de piperazina y soluciones que utilizan grandes cantidades de la misma a 60°C. En una generalización del efecto que tiene la composición de disolvente sobre la velocidad, un incremento en un factor de entre tres y seis de la concentración de piperazina da lugar a una velocidad de absorción de dos a tres veces mayor. Además, los disolventes con relaciones de K⁺/PZ de uno a dos dan velocidades sustancialmente mejores en comparación con los disolventes con relaciones de tres a seis. En una demostración específica de estos efectos, una solución de K⁺ 5,0 m/PZ 2,5 m absorbe CO₂ 2,5 veces más rápido que una solución de K⁺ 3,6 m/PZ 0,6 m a 4.000 Pa. Los disolventes más eficaces contienen PZ >1,5 m y tienen una relación de sal alcalina/poliamina de 2 a 1.

20 En las figuras 2 y 3 se muestra una comparación de la velocidad de absorción de la presente invención y de otros disolventes conocidos por los expertos en la materia. A 60°C, los disolventes concentrados con una relación de K⁺/PZ de uno a dos dan lugar a velocidades de absorción de 1,2 a 5 veces más altas que la MEA 5,0 M. Comparando de nuevo la composición preferida según la presente invención con otros disolventes, la velocidad de absorción en K⁺ 5,0 m/PZ 2,5 m es 1,4 veces más alta que la absorción en MEA 5,0 M a 4.000 Pa. Otras relaciones de concentración dan lugar a un disolvente con velocidades comparables a la MEA 5,0 M. Análogamente, la presente invención supera (en base a la velocidad) a la MDEA promovida con PZ a 40°C. Se ha puesto de manifiesto que los disolventes que contienen K⁺ y DEA o aminas impedidas son menos eficaces incluso que
30 cantidades catalíticas de piperazina en carbonato de potasio.

Ejemplo 3 - Flexibilidad del calor de absorción

35 En la figura 4 se ilustra una ventaja adicional de la presente invención. El calor de absorción, como la velocidad de absorción, depende de la concentración de piperazina. Un calor de absorción más elevado indica que se necesita más energía para regenerar el disolvente. Un calor de absorción bajo es más ventajoso en condiciones normales de funcionamiento.

40 A partir de la figura 4 se pueden prever diversas composiciones disolventes, cada una de ellas con sus propias características. En un extremo, el disolvente puede contener grandes concentraciones de PZ y presentar velocidades elevadas y un calor de absorción elevado (~20 kcal/mol de CO₂). En estas condiciones, se obtiene una velocidad de absorción entre 1,5 y 5 veces mayor que en MEA 5,0 M y un calor de absorción comparable. En el otro extremo, el disolvente puede contener menos PZ y presentar velocidades comparables a MEA 5,0 M, pero un calor de absorción menor en un factor de dos. Esta flexibilidad de rendimiento da lugar a un disolvente que se puede "modular" según una operación y unas condiciones de funcionamiento específicas.

Ejemplo 4 - Comparaciones de capacidad

La capacidad es la tercera característica importante que define el rendimiento de un disolvente. La capacidad se define como un cambio en la carga a lo largo de un cambio determinado de presión parcial y es una medida de la capacidad de un disolvente para absorber CO₂ en un determinado intervalo de operación.

5 En la figura 5 se pone de manifiesto que la capacidad de los disolventes K⁺/PZ en el intervalo de operación de interés, de ~300 a 8.000 Pa, es comparable con la de MEA 5,0 M. Las predicciones del modelo, indicadas por las líneas de la figura 5, ponen de manifiesto que una mayor concentración de potasio se traduce en una mayor capacidad. Específicamente, la capacidad de K⁺ 5,0 m/PZ 2,5 m es un 50% mejor que la de K⁺ 3,6 m/PZ 0,6 m, y se aproxima a la capacidad de MEA 7,0 m. Este hecho pone de manifiesto el carácter ventajoso de las composiciones de disolventes preferentes, que contienen una concentración > 3,6 m de K⁺.

10 Ejemplo 5 - Aplicaciones del procedimiento

Freguia (tesis de máster, 2002) ha calculado una aplicación de la monoetanolamina (MEA). Se trata el gas de combustión de una central térmica de carbón. El absorbedor tiene 7 m de diámetro y utiliza 15 m de empaquetamiento Cascade Mini Ring #2 (CMR #2). La caída de presión en el absorbedor es de 10 kPa. El extractor simple con rehervidor tiene 4,5 m de diámetro y 10 m de empaquetamiento CMR#2, y funciona a 1,6 atm. El gas de combustión, que contiene un 12,6 de CO₂% y un 7,8% de H₂O, se suministra al absorbedor a 55°C con una velocidad de 11.000 kmol/h. El disolvente es MEA al 30% en peso (7 g/mol/kg de H₂O) y se suministra al absorbedor a 40°C a una velocidad de 193 kg de H₂O/s, con una carga de CO₂ de 0,21 moles/mol de MEA. La carga rica es de 0,46 gmoles de CO₂/g/mol de MEA, con una presión de vapor de CO₂ de 2,5 kPa. El disolvente se precalienta por intercambio cruzado a 109°C antes de suministrarse al extractor. El 90% del CO₂ se extrae (0,34 kmol/s) en el absorbedor con una carga térmica del rehervidor de 70.000 kW.

El disolvente MEA se sustituye en el mismo sistema por un disolvente que contiene 5 gmoles de K⁺/kg de H₂O y 2,5 gmoles de piperazina/kg de H₂O. Como el CO₂ reacciona más rápidamente con el disolvente,

25 Con un disolvente que contiene 5 gmoles de K⁺ y 2,5 gmoles de piperazina por kg de H₂O, la altura del empaquetamiento en el absorbedor se reduce a 5 m. La caída de presión en el absorbedor se reduce a 3,3 kPa. Dado que el disolvente de piperazina absorbe el CO₂ 3 veces más rápido que la MEA, se alcanza un 90% de eliminación del CO₂ con una carga térmica del rehervidor de 70.000 kW. La carga pobre es de 1,3 gmoles de CO₂/g/mol de piperazina. La carga rica es de 1,85 gmoles de CO₂/g/mol de piperazina, con una presión de vapor de CO₂ de 2,5 kPa.

30 Todos los procedimientos descritos y reivindicados en la presente memoria se pueden diseñar y ejecutar sin experimentación excesiva a la luz de la presente descripción. Si bien las composiciones y procedimientos según la presente invención se han descrito a través de formas de realización preferidas, resultará evidente para los expertos en la materia que se pueden llevar a cabo variaciones en los procedimientos y en las etapas o secuencia de etapas del procedimiento descrito en la presente memoria sin apartarse del alcance de la presente invención. Más específicamente, resulta evidente que algunos agentes relacionados tanto química como fisiológicamente se pueden sustituir por los agentes descritos en el presente documento, alcanzándose resultados idénticos o parecidos. Todos estos sustitutos parecidos y modificaciones evidentes para los expertos en la materia se consideran dentro del alcance y el concepto de la presente invención tal como se definen en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de extracción de CO₂ de una corriente gaseosa, que comprende:
poner en contacto una corriente gaseosa con una solución, formándose la solución por combinación de por lo menos:
- 5 piperazina que presenta una concentración de amina de por lo menos 3,0 equivalentes/kg de agua,
una sal alcalina que presenta una concentración de por lo menos 3,0 equivalentes/kg de agua,
y agua;
en el que la relación de equivalentes de sal alcalina con respecto a equivalentes de piperazina es de 0,8 - 1,3;
extrayendo la puesta en contacto el CO₂ de la corriente gaseosa; y
- 10 regenerar la solución.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la solución contiene menos del 1% de un alcohol monohídrico o polihídrico.
3. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que no se añade ningún alcohol a la solución.
4. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, en el que la concentración de piperazina y la concentración de sal
15 alcalina son de por lo menos 2,3 m.
5. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, en el que la relación de equivalentes de sal alcalina con respecto a equivalentes de piperazina es de 0,9 - 1,1.
6. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, que comprende además aplicar un sistema de lavado con agua, en el que dicho sistema de lavado con agua recoge la poliamina de la corriente gaseosa tratada.
- 20 7. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la piperazina presenta una concentración de amina de por lo menos 5,1 equivalentes/kg de agua, y
la sal alcalina presenta una concentración de por lo menos 5,1 equivalentes/kg de agua.
8. Procedimiento según la reivindicación 7, en el que la concentración de piperazina y la concentración de sal alcalina son de por lo menos 5,5 equivalentes/kg de agua.
- 25 9. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la solución se forma por combinación de por lo menos:
piperazina que presenta una concentración de amina de 3,0 - 10,0 equivalentes/kg de agua;
una sal alcalina que presenta una concentración de 3,0 - 10,0 equivalentes/kg de agua, y agua;
en el que la concentración de la piperazina y la concentración de la sal alcalina son aproximadamente iguales.
- 30 10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la sal alcalina es carbonato de potasio, carbonato de sodio, carbonato de litio, una sal de bicarbonato, una sal de bisulfuro o una sal de hidróxido.
11. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la corriente gaseosa se pone en contacto con la solución a una temperatura de aproximadamente 25°C -120°C.
12. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la solución comprende además un aditivo.
- 35 13. Composición, que comprende:
piperazina que presenta una concentración de por lo menos 3,0 equivalentes/kg de agua;
una sal de potasio que presenta una concentración de por lo menos 3,0 equivalentes/kg de agua, y agua,
en la que la relación de equivalentes de sal de potasio con respecto a equivalentes de piperazina es de 0,8 - 1,3.
- 40 14. Composición según la reivindicación 13, en la que la sal de potasio es carbonato de potasio, bicarbonato de potasio, bisulfuro de potasio o hidróxido de potasio.
15. Composición según la reivindicación 13, en la que la relación de equivalentes de sal alcalina con respecto a equivalentes de piperazina es de 0,9 - 1,1.

16. Composición según la reivindicación 13, en la que la concentración de piperazina es de por lo menos 5,1 equivalentes/kg de H₂O y la concentración de sal de potasio es de aproximadamente 5,1 equivalentes/kg de H₂O.

17. Composición según la reivindicación 13, que comprende además un agente antiespumante, un antioxidante, un inhibidor de la corrosión, un adyuvante de floculación o una mezcla de los mismos.

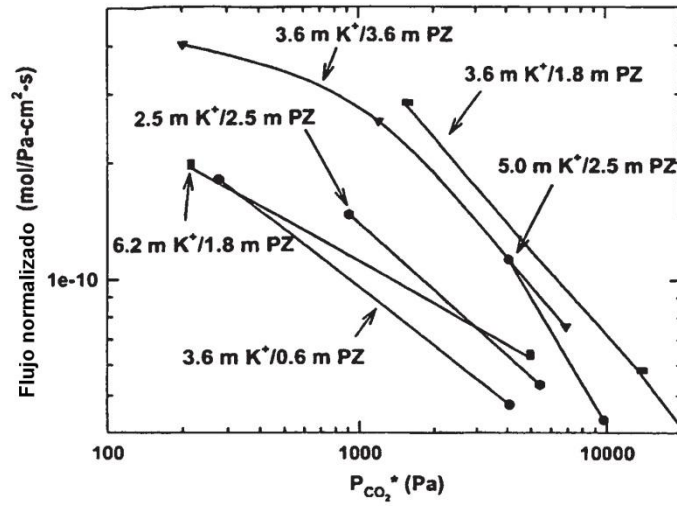


FIG. 1

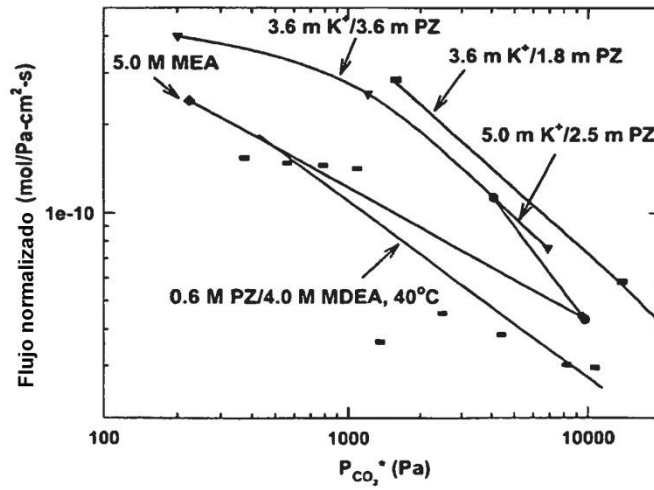


FIG. 2

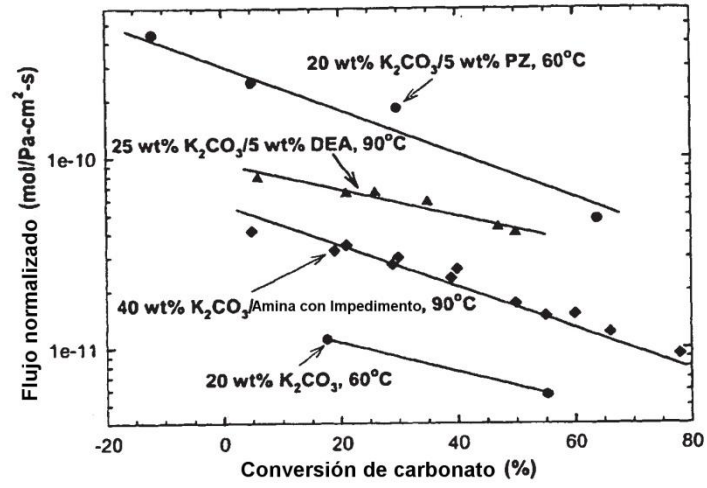


FIG. 3

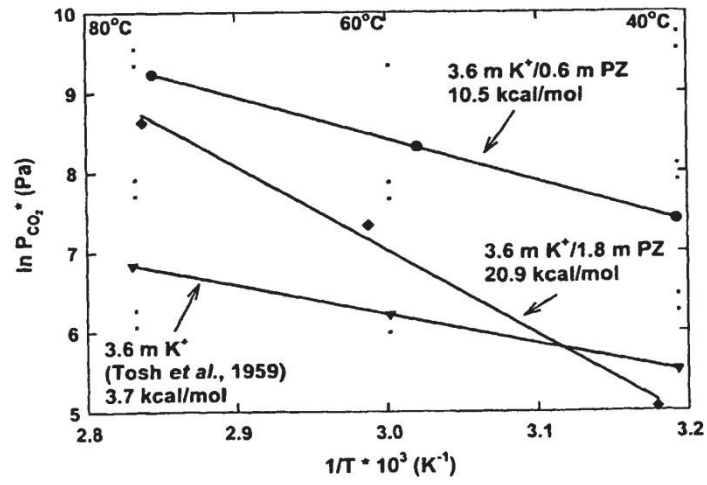


FIG. 4

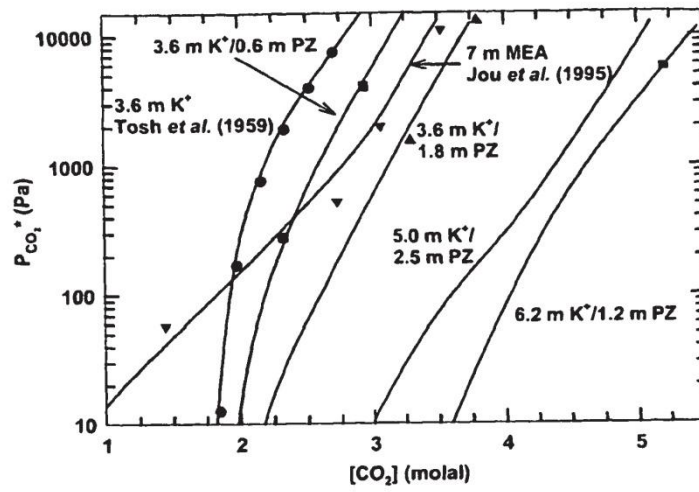


FIG. 5