

PROCESO PARA PRODUCIR SOLUCIONES ACUOSAS DE POLIACRILAMIDA

La invención se refiere a un proceso para producir soluciones acuosas de poliacrilamida mediante polimerización de una solución acuosa, que comprende al menos acrilamida para obtener un gel acuoso de poliacrilamida, y mediante disolución de dicho gel acuoso de poliacrilamida en agua, en donde el proceso se lleva a cabo en una planta modular y reubicable. Preferentemente, la planta se instala en una ubicación en donde se usan soluciones acuosas de poliacrilamida, por ejemplo, en un campo de petróleo o en un área minera.

Se pueden usar homo- y copolímeros de acrilamida hidrosolubles y de alto peso molecular para diversas aplicaciones, tales como aplicaciones en minería y campos de petróleo, tratamiento de agua, tratamiento de aguas residuales, fabricación de papel y agricultura. Los ejemplos incluyen su uso en la exploración y producción de aceite mineral, en particular, como espesante en fluidos de inyección acuosos para la recuperación mejorada de petróleo (EOR) o como modificador de reología para fluidos de perforación acuosos. Otros ejemplos incluyen su uso como agente floculante para relaves y suspensiones en actividades mineras.

Una tecnología de polimerización habitual para fabricar dichas poliacrilamidas de alto peso molecular es la denominada "polimerización de gel". En la polimerización de gel, una solución acuosa de monómero que tiene una concentración monomérica relativamente alta, por ejemplo, de 20 % en peso a 35 % en peso, se polimeriza mediante iniciadores de polimerización adecuados, en condiciones esencialmente adiabáticas en un reactor sin agitación, y así forma un gel de polímero. Los geles de polímero formados se convierten en polvos de polímero mediante el desmenuzado del gel en partes más pequeñas mediante una o más etapas de disminución del tamaño, mediante secado de las piezas de gel, por ejemplo, en una secadora de lecho fluidizado y, luego, tamizado, trituración y envasado. A continuación, los polvos de poliacrilamida obtenidos se envasan y se envían a los clientes.

En general, el gel acuoso de poliacrilamida obtenido a partir de polimerización de gel comprende de 65 % a 80 % de agua. La cantidad residual de agua en los polvos de poliacrilamida generalmente es de alrededor de 4 a 12 % en peso. Por lo tanto, "secar" los geles de poliacrilamida no significa eliminar un poco de humedad residual durante el secado, sino que, por kg de gel de polímero, alrededor de 0,55 a 0,75 kg de agua deben ser removidos, o, en otras palabras, por kg de polvo de

polímero producido, también se “producen” de 1,5 a 2,5 kg de agua.

Resulta evidente que remover tanta cantidad de agua de los geles de polímero durante el secado consume mucha energía, y, en consecuencia, los costos operacionales del secado son altos. Además, se necesitan secadoras de alto rendimiento, al igual que equipos para reducción de tamaño, tamizado y trituración. Por lo tanto, la inversión de capital para la totalidad del equipo de procesamiento posterior, que incluye reducción del tamaño, secado, tamizado, trituración, es significativa con respecto a la inversión de capital total para la totalidad de la planta.

En general, las poliacrilamidas de alto peso molecular se usan como soluciones acuosas diluidas. Las concentraciones típicas de poliacrilamidas para aplicaciones en minería y campos de petróleo varían de 0,05 % en peso a 0,5 % en peso. En consecuencia, los polvos de poliacrilamida elaborados como se indicó anteriormente se deben disolver en fluidos acuosos antes de usarse. Disolver polímeros de peso molecular alto en fluidos acuosos es un proceso extenso y difícil de realizar sin degradar los polímeros y sin formar grumos. El equipo adecuado para disolver polvos de poliacrilamida es necesario en el sitio.

Para aplicaciones en campos de petróleo, tales como recuperación mejorada de petróleo o aplicaciones en minería, se requieren grandes cantidades de poliacrilamidas disponibles en un sitio, es decir, en un campo de petróleo o un área minera. Por ejemplo, incluso para inyección en un campo de petróleo de tamaño mediano puede ser necesario inyectar algunos miles de m^3 de solución de polímero por día en la formación de petróleo y, en general, el proceso de inyección de polímero continúa durante meses o incluso años. Entonces, para una concentración polimérica de solo 0,2 % en peso y una velocidad de inyección de 5000 m^3 /día, se necesitan 10 t de polvo de polímero por día y se deben disolver en un fluido acuoso.

Se ha sugerido no secar los geles acuosos de poliacrilamida después de la elaboración, sino disolverlos directamente en agua para así obtener soluciones acuosas diluidas de poliacrilamidas sin secar y volver a disolver el polvo seco. Este tipo de elaboración implica ahorros en la inversión de capital y los costos operativos para el secado y el procesamiento posterior adicional. Sin embargo, el envío de soluciones acuosas diluidas de poliacrilamidas a los clientes no es una opción, ya que los costos de transporte se vuelven extremadamente altos en comparación con el transporte de polvos. Por lo tanto, se ha sugerido elaborar soluciones acuosas de poliacrilamida en el sitio.

DE 2 059 241 divulga un proceso para preparar polímeros hidrosolubles, que

incluyen polímeros que contienen acrilamida, en donde una solución acuosa que comprende monómeros hidrosolubles e iniciadores de polimerización se carga en contenedores transportables para la polimerización. En los contenedores transportables, la solución acuosa se polimeriza y, de esta manera, forma gel de polímero. El gel se puede transportar a los consumidores finales que pueden remover los geles de polímero y disolverlos en agua. Los contenedores transportables pueden ser, por ejemplo, bolsas, latas, cilindros o cajas con un volumen de 2 l a 200 l.

US 4.248.304 divulga un proceso para recuperar el petróleo de formaciones subterráneas en donde una emulsión de agua en aceite de un polímero de acrilamida en presencia de un agente de inversión se inyecta en la formación. La emulsión de agua en aceite se elabora en una pequeña planta química ubicada cerca de los pozos, y el procedimiento de elaboración comprende las etapas de formar una emulsión de agua en aceite de acrilonitrilo, convertir una porción sustancialmente de acrilonitrilo en acrilamida usando un catalizador adecuado y polimerizar la emulsión de agua en aceite de acrilamida en presencia de un catalizador de polimerización por radicales libres. El catalizador puede ser un catalizador de cobre.

ZA 8303812 divulga un proceso para preparar poliacrilamidas que comprende polimerizar acrilamida y, opcionalmente, comonómeros adecuados en el sitio y transferir el polímero formado al lugar de uso deseado sin secarlo ni concentrarlo. La polimerización se puede realizar como una polimerización en emulsión, una polimerización en microesferas o como una polimerización en solución / dispersión. El polímero se puede bombear desde el reactor de polimerización hasta la posición en el sitio en donde se usa.

WO 84/00967 A1 divulga un aparato y un método para la producción continua de soluciones acuosas de polímero, en particular, poliacrilamida parcialmente hidrolizada. El aparato comprende un reactor de polimerización, un reactor de hidrólisis y un diluidor. La polimerización se puede realizar en el sitio, y las soluciones se pueden usar en recuperación de petróleo secundaria o terciaria.

US 4.605.689 divulga un método para la producción en el sitio de soluciones de poliacrilamida acuosas para la recuperación mejorada de petróleo. En una primera etapa, un gel acuoso de poliacrilamida se proporciona mediante polimerización de acrilamida y, preferentemente, ácido acrílico como comonómero. El gel de poliacrilamida obtenido se hace pasar, junto con una pequeña cantidad de solvente acuoso, a través de al menos un dispositivo de corte estático para obtener una suspensión de partículas pequeñas de gel en agua, las partículas de gel se disuelven

en el solvente acuoso que forma un concentrado de solución homogénea que luego se diluye rápidamente con solvente acuoso, para así obtener una solución acuosa diluida de poliacrilamida.

US 4.845.192 divulga un método para disolver rápidamente partículas de geles de polímeros hidrosolubles, que comprende formar una suspensión de dichas partículas de gel en agua y someter dicha suspensión a condiciones instantáneas y momentáneas de alto cizallamiento eficaces para cortar finamente dichas partículas.

Nuestra solicitud anterior WO 2017/186567 A1 se refiere a un proceso para producir una solución acuosa de polímero que comprende las etapas de proporcionar un gel acuoso de poliacrilamida que comprende al menos 10 % en peso de polímero activo, cortar el gel acuoso de poliacrilamida mediante un chorro de agua a una presión de al menos 150 bar para reducir el tamaño del gel acuoso de poliacrilamida y disolver el gel acuoso de poliacrilamida en un líquido acuoso.

Nuestra solicitud anterior WO 2017/186697 A1 se refiere a un método para preparar una solución acuosa de poliacrilamida, que comprende hidrolizar acrilonitrilo en agua en presencia de un biocatalizador y así obtener una solución de acrilamida, polimerizar directamente la solución de acrilamida y así obtener un gel de poliacrilamida y disolver directamente el gel de poliacrilamida mediante adición de agua para obtener una solución acuosa de poliacrilamida. El método se puede realizar en el sitio.

Nuestra solicitud anterior WO 2017/186685 A1 se refiere a un método para preparar una solución acuosa de poliacrilamida, que comprende hidrolizar acrilonitrilo en agua en presencia de un biocatalizador y así obtener una solución de acrilamida, polimerizar directamente la solución de acrilamida y así obtener un gel de poliacrilamida y disolver directamente el gel de poliacrilamida mediante adición de agua por medio de un mezclador que comprende un impulsor giratorio para obtener una solución acuosa de poliacrilamida. El método se puede realizar en el sitio.

Nuestra solicitud anterior WO 2017/186698 A1 se refiere a un método para preparar una solución acuosa de poliacrilamida, que comprende hidrolizar acrilonitrilo en agua en presencia de un biocatalizador y así obtener una solución de acrilamida, polimerizar directamente la solución de acrilamida y así obtener un gel de poliacrilamida y disolver directamente el gel de poliacrilamida mediante adición de agua por medio de un corte por chorro de agua para obtener una solución acuosa de poliacrilamida. El método se puede realizar en el sitio.

WO 2016/006556 A1 describe un método para producir un compuesto usando

un reactor de tanque continuo, que se proporciona con dos o más tanques de reacción para producir el compuesto y con una tubería de alimentación de líquido de reacción que alimenta un líquido de reacción de un tanque de reacción corriente arriba a un tanque de reacción corriente abajo, en donde el método se caracteriza porque el número de Reynold del líquido de reacción que fluye en la tubería de alimentación de líquido de reacción se configura para ser 1800-22000. El reactor de tanque puede estar montado en un contenedor portátil. El compuesto puede ser acrilamida producida mediante conversión de acrilonitrilo mediante un biocatalizador.

WO 2017/167803 A1 divulga un método para producir una solución de poliacrilamida que tiene mayor viscosidad mediante preparación de una solución acuosa de acrilamida por conversión de acrilonitrilo en acrilamida usando un biocatalizador, separación del biocatalizador de la solución acuosa de acrilamida de manera que la OD_{600} de la solución acuosa de acrilamida sea igual o menor de 0,6 y polimerización de la solución acuosa de acrilamida obtenida para producir poliacrilamida.

WO 97/21827 A1 divulga un proceso para elaborar una solución de acrilato de amonio mediante hidrólisis enzimática de acrilonitrilo.

Por un lado, la producción de solución de poliacrilamida en el sitio ahorra en equipos y costos operativos para el secado y la redisolución de poliacrilamidas. Por otro lado, las soluciones de poliacrilamida en un sitio pueden ser necesarias durante un tiempo limitado. Por ejemplo, en operaciones de recuperación mejorada de petróleo, las soluciones acuosas de poliacrilamidas se pueden inyectar en formaciones subterráneas durante meses o incluso algunos años, pero en general, no más tiempo que este. Cuando las soluciones de poliacrilamida ya no son necesarias en un sitio, se deben transportar las soluciones acuosas diluidas a otro sitio, lo que genera costos de transporte elevados. Desmontar la planta en el sitio original y erigirla en otro sitio también puede estar relacionado con los costos elevados.

Era un objeto de la presente invención proporcionar un proceso mejorado para elaborar soluciones acuosas de poliacrilamidas en el sitio usando una planta capaz de ser reubicada con facilidad.

En consecuencia, en una forma de realización de la presente invención, se descubrió un proceso para producir una solución acuosa de poliacrilamida mediante polimerización de una solución acuosa, que comprende al menos acrilamida para obtener un gel acuoso de poliacrilamida, y mediante disolución de dicho gel acuoso de poliacrilamida en agua, en donde el proceso se lleva a cabo en una planta modular y

reubicable, y el proceso comprende al menos las siguientes etapas:

- [1] Preparar, en una unidad de preparación de monómeros reubicable, una solución acuosa de monómero que comprende al menos agua y 5 % a 45 % en peso, con respecto al total de todos los componentes de la solución acuosa de monómero, de monómeros hidrosolubles monoetilénicamente insaturados, en donde dichos monómeros hidrosolubles monoetilénicamente insaturados comprenden al menos acrilamida
- [2] inertizar y polimerizar radicalmente la solución acuosa de monómero preparada en la etapa [1] en presencia de iniciadores adecuados para la polimerización por radicales en condiciones adiabáticas, en donde
 - la polimerización se realiza en una unidad de polimerización reubicable que tiene un volumen de 1 m^3 a 100 m^3 ,
 - la solución acuosa de monómero tiene una temperatura T_1 que no excede 30°C antes del inicio de la polimerización, y
 - durante la polimerización, la temperatura de la mezcla de polimerización aumenta, debido al calor generado por la polimerización, a una temperatura T_2 de al menos 45°C ,de esta manera, se obtiene un gel acuoso de poliacrilamida que tiene una temperatura T_2 que se mantiene en la unidad de polimerización reubicable,
- [3] remover el gel acuoso de poliacrilamida de la unidad de polimerización reubicable,
- [4] desmenuzar el gel acuoso de poliacrilamida haciendo pasar el gel acuoso de poliacrilamida a través de al menos una unidad de desmenuzamiento, para obtener piezas de gel acuoso de poliacrilamida,
- [5] y disolver las piezas de gel acuoso de poliacrilamida en un líquido acuoso en una unidad de disolución reubicable, y así obtener una solución acuosa de poliacrilamida.

En una forma de realización preferida, el proceso comprende una etapa adicional [0] que comprende hidrolizar acrilonitrilo en agua en presencia de un biocatalizador capaz de convertir acrilonitrilo en acrilamida en una unidad de bioconversión reubicable, para así obtener una solución acuosa de acrilamida, y en donde dicha solución acuosa de acrilamida se usa para la etapa [1].

En otra forma de realización, la presente invención se refiere a un proceso descubierto para producir una solución acuosa de poliacrilamida mediante polimerización de una solución acuosa, que comprende al menos acrilamida para

obtener un gel acuoso de poliacrilamida, y mediante disolución de dicho gel acuoso de poliacrilamida en agua, en donde el proceso se lleva a cabo en una planta modular y reubicable, y el proceso comprende al menos las siguientes etapas:

- [0] Hidrolizar acrilonitrilo en agua en presencia de un biocatalizador capaz de convertir acrilonitrilo en acrilamida, para obtener una solución acuosa de acrilamida,
- [1] Preparar, en una unidad de preparación de monómeros reubicable, una solución acuosa de monómero que comprende al menos agua y 15 % a 24,9 % en peso, con respecto al total de todos los componentes de la solución acuosa de monómero, de monómeros hidrosolubles monoetilénicamente insaturados, en donde dichos monómeros hidrosolubles monoetilénicamente insaturados comprenden al menos acrilamida
- [2] inertizar y polimerizar radicalmente la solución acuosa de monómero preparada en la etapa [1] en presencia de iniciadores adecuados para la polimerización por radicales en condiciones adiabáticas, en donde
 - la polimerización se realiza en una unidad de polimerización reubicable que tiene un volumen de 1 m^3 a 100 m^3 ,
 - la solución acuosa de monómero tiene una temperatura T_1 de -5°C a $+5^\circ\text{C}$ antes del inicio de la polimerización, y
 - durante la polimerización, la temperatura de la mezcla de polimerización aumenta, debido al calor generado por la polimerización, a una temperatura T_2 de 50 a 70°C ,de esta manera, se obtiene un gel acuoso de poliacrilamida que se mantiene en la unidad de polimerización reubicable,
- [3] remover el gel acuoso de poliacrilamida de la unidad de polimerización reubicable,
- [4] desmenuzar el gel acuoso de poliacrilamida haciendo pasar el gel acuoso de poliacrilamida a través de al menos una unidad de desmenuzamiento, para obtener piezas de gel acuoso de poliacrilamida,
- [5] y disolver las piezas de gel acuoso de poliacrilamida en un líquido acuoso en una unidad de disolución reubicable, y así obtener una solución acuosa de poliacrilamida.

En otra forma de realización, la invención se refiere a una planta modular y reubicable para elaborar soluciones acuosas de poliacrilamida mediante polimerización de una solución acuosa, que comprende al menos acrilamida para

obtener un gel acuoso de poliacrilamida, y mediante disolución de dicho gel acuoso de poliacrilamida en agua, que comprende al menos

- o una unidad de almacenamiento reubicable para una solución acuosa de acrilamida,
- o unidades de almacenamiento opcionalmente reubicables para monómeros hidrosolubles monoetilénicamente insaturados diferentes de acrilamida,
- o una unidad de almacenamiento reubicable para iniciadores de polimerización,
- o una unidad de preparación de monómeros reubicable para preparar una solución acuosa de monómero que comprende al menos agua y acrilamida,
- o una unidad de polimerización reubicable para polimerizar la solución acuosa de monómero en presencia de iniciadores de polimerización,
- o una unidad de desmenuzamiento reubicable para desmenuzar el gel acuoso de poliacrilamida en piezas de gel acuoso de poliacrilamida,
- o una unidad de disolución reubicable para la disolución de piezas de gel acuoso de poliacrilamida en fluidos acuosos.

Preferentemente, la planta también comprende las siguientes unidades:

- o una unidad de almacenamiento reubicable para acrilonitrilo,
- o una unidad de bioconversión reubicable para hidrolizar acrilonitrilo en agua en presencia de un biocatalizador capaz de convertir acrilonitrilo en acrilamida,
- o una unidad reubicable para remover el biocatalizador de una solución acuosa de acrilamida.

En otra forma de realización, la planta modular y reubicable se instala en una ubicación en donde se usan las soluciones de poliacrilamida, por ejemplo, en un campo de petróleo o en un área minera.

Lista de figuras:

Figura 1	Representación esquemática de una unidad de almacenamiento para monómeros con una unidad de control de temperatura interna.
Figura 2	Representación esquemática de una unidad de almacenamiento para monómeros con una unidad de control de temperatura externa.
Figura 3	Representación esquemática de un reactor de bioacrilamida.
Figura 4	Representación esquemática de una unidad de preparación de

	monómeros.
Figura 5	Representación esquemática de una unidad de polimerización P1 reubicable.
Figura 6	Representación esquemática de una unidad de polimerización P1 reubicable conectada con la unidad de desmenuzamiento.
Figura 7	Representación esquemática de una unidad de corte por chorro de agua.
Figura 8	Representación esquemática de otra forma de realización de una unidad de corte por chorro de agua.
Figura 9	Representación esquemática de otra forma de realización de una unidad de corte por chorro de agua.
Figura 10	Representación esquemática de otra forma de realización de una unidad de corte por chorro de agua.
Figura 11	Representación esquemática de una unidad de corte por chorro de agua que comprende unidades de corte estáticas adicionales.
Figura 12	Representación esquemática de una unidad de corte por chorro de agua combinada con una placa perforada (una boquilla).
Figura 13	Representación esquemática de una unidad de corte por chorro de agua combinada con una placa perforada (más de una boquilla).
Figura 14	Representación esquemática de una unidad de corte por chorro de agua combinada con una placa perforada (una boquilla).
Figura 15	Representación esquemática de una unidad de corte por chorro de agua combinada con una placa perforada (más de una boquilla).
Figura 16	Representación esquemática de una unidad de corte por chorro de agua combinada con una cuchilla.
Figura 17	Representación esquemática de una unidad de disolución que comprende un recipiente de disolución.
Figura 18	Representación esquemática de una unidad de disolución que comprende dos recipientes de disolución.

Con respecto a la invención, se puede indicar específicamente lo siguiente:

Mediante el proceso de acuerdo con la presente invención, es posible preparar soluciones acuosas de poliacrilamidas.

Poliacrilamidas

Como se usa en la presente, el término “poliacrilamidas” se refiere a

homopolímeros hidrosolubles de acrilamida, o copolímeros hidrosolubles que comprenden al menos 10 %, preferentemente, al menos 20 % y, con mayor preferencia, al menos 30 % en peso de acrilamida, y al menos un monómero hidrosoluble monoetilénicamente insaturado adicional diferente de acrilamida, en donde las cantidades se refieren a la cantidad total de todos los monómeros en el polímero. Se prefieren los copolímeros.

La expresión “monómeros hidrosolubles”, en el contexto de la presente invención, significa que los monómeros deben ser solubles en la solución acuosa de monómero que se desea usar para la polimerización en la concentración de uso deseada. Por ende, no es absolutamente necesario que los monómeros que se desean usar sean miscibles con agua sin ningún espacio; en cambio, es suficiente si cumplen con el requisito mínimo mencionado. Cabe destacar que la presencia de acrilamida en la solución de monómero podría mejorar la solubilidad de otros monómeros en comparación con únicamente agua. En general, la solubilidad en agua de los monómeros hidrosolubles a temperatura ambiente debería ser al menos 50 g/l, preferentemente, al menos 100 g/l.

Básicamente, el tipo y la cantidad de comonómeros hidrosolubles monoetilénicamente insaturados que se desean usar además de acrilamida no son limitados y dependen de las propiedades deseadas y el uso deseado de las soluciones acuosas de poliacrilamidas que se desean elaborar.

Comonómeros neutros

En una forma de realización de la invención, los comonómeros se pueden seleccionar de monómeros hidrosolubles monoetilénicamente insaturados sin carga. Los ejemplos comprenden metacrilamida, N-metil(met)acrilamida, N,N'-dimetil(met)acrilamida, N-metilol(met)acrilamida o N-vinilpirrolidona. Se mencionaron otros ejemplos en WO 2015/158517 A1, página 7, líneas 9 a 14.

Comonómeros aniónicos

En otra forma de realización de la invención, los comonómeros se pueden seleccionar de monómeros hidrosolubles monoetilénicamente insaturados que comprenden al menos un grupo ácido, o sales de estos. Preferentemente, los grupos ácidos se seleccionan del grupo de $-\text{COOH}$, $-\text{SO}_3\text{H}$ y $-\text{PO}_3\text{H}_2$ o sales de estos. Se prefieren los monómeros que comprenden grupos COOH y/o grupos $-\text{SO}_3\text{H}$ o sales de estos. Los contraiones adecuados incluyen, en especial, iones de metal alcalino tales como Li^+ , Na^+ o K^+ , y también iones de amonio tales como NH_4^+ o iones de amonio que tienen radicales orgánicos. Los ejemplos de iones de amonio que tienen radicales

orgánicos incluyen $[\text{NH}(\text{CH}_3)_3]^+$, $[\text{NH}_2(\text{CH}_3)_2]^+$, $[\text{NH}_3(\text{CH}_3)]^+$, $[\text{NH}(\text{C}_2\text{H}_5)_3]^+$, $[\text{NH}_2(\text{C}_2\text{H}_5)_2]^+$, $[\text{NH}_3(\text{C}_2\text{H}_5)]^+$, $[\text{NH}_3(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})]^+$, $[\text{H}_3\text{N}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{NH}_3]^{2+}$ o $[\text{H}(\text{H}_3\text{C})_2\text{N}-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_3]^{2+}$.

Los ejemplos de monómeros que comprenden grupos -COOH incluyen ácido acrílico, ácido metacrílico, ácido crotonico, ácido itacónico, ácido maleico o ácido fumárico, o sales de estos. Se prefiere el ácido acrílico o sales de este.

Los ejemplos de monómeros que comprenden grupos -SO₃H o sales de estos incluyen ácido vinilsulfónico, ácido alilsulfónico, ácido 2-acrilamido-2-metilpropansulfónico (ATBS), ácido 2-metacrilamido-2-metilpropansulfónico, ácido 2-acrilamidobutansulfónico, ácido 3-acrilamido-3-metilbutansulfónico o ácido 2-acrilamido-2,4,4-trimetilpentansulfónico. Se prefiere el ácido 2-acrilamido-2-metilpropansulfónico (ATBS) o sales de este.

Los ejemplos de monómeros que comprenden grupos -PO₃H₂ o sales de estos incluyen ácido vinilfosfónico, ácido alilfosfónico, ácidos N-(met)acrilamidoalquilfosfónicos o (met)acriloiloxialquilfosfónicos, preferentemente, ácido vinilfosfónico.

Los monómeros preferidos que comprenden grupos ácidos comprenden ácido acrílico y/o ATBS o sales de estos.

Comonómeros catiónicos

En otra forma de realización de la invención, los comonómeros se pueden seleccionar de monómeros hidrosolubles monoetilénicamente insaturados que comprenden grupos catiónicos. Los monómeros catiónicos adecuados incluyen, en especial, monómeros que tienen grupos amonio, en especial, derivados de amonio de N-(ω -aminoalquil)(met)acrilamidas o ω -aminoalquil (met)acrilatos, tales como 2-trimetilamonioetil acrilato cloruro $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{CO}-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{N}^+(\text{CH}_3)_3 \text{Cl}^-$ (DMA3Q). Se mencionaron otros ejemplos en WO 2015/158517 A1, página 8, líneas 15 a 37. Se prefiere DMA3Q.

Comonómeros asociativos

En otra forma de realización de la invención, los comonómeros se pueden seleccionar de monómeros asociativos.

Los monómeros asociativos imparten propiedades de asociación hidrófoba a las poli(acrilamidas). Los monómeros asociativos que se desean usar en el contexto de la presente invención son monómeros hidrosolubles monoetilénicamente insaturados que tienen al menos un grupo hidrófilo y al menos un grupo hidrófobo, preferentemente, terminal. Se describieron ejemplos de monómeros asociativos, por

ejemplo, en WO 2010/133527, WO 2012/069478, WO 2015/086468 o WO 2015/158517.

Una persona del oficio de nivel medio comprende que los "copolímeros de asociación hidrófoba" son copolímeros hidrosolubles que tienen, además de unidades hidrófilas (en cantidad suficiente para asegurar la solubilidad en agua), grupos hidrófobos en posiciones laterales o terminales. En soluciones acuosas, los grupos hidrófobos se pueden asociar entre sí. Debido a esta interacción asociativa, hay un aumento en la viscosidad de la solución acuosa del polímero en comparación con un polímero del mismo tipo que simplemente no tiene grupos asociativos.

Los ejemplos de monómeros asociativos adecuados comprenden monómeros que tienen, en especial, la fórmula general $H_2C=C(R^1)-R^2-R^3$ (I), en donde R^1 es H o metilo, R^2 es un grupo hidrófilo de enlace, y R^3 es un grupo hidrófobo terminal. Otros ejemplos comprenden aquellos que tienen la Fórmula general $H_2C=C(R^1)-R^2-R^3-R^4$ (II), en donde R^1 , R^2 y R^3 son, cada uno, como se definieron anteriormente, y R^4 es un grupo hidrófilo.

El grupo hidrófilo de enlace R^2 puede ser un grupo que comprende unidades de óxido de etileno, por ejemplo, un grupo que comprende 5 a 80 unidades de óxido de etileno, que se une al grupo $H_2C=C(R^1)-$ de manera adecuada, por ejemplo, mediante un enlace simple o un grupo de enlace adecuado. En otra forma de realización, el grupo hidrófilo de enlace R^2 puede ser un grupo que comprende grupos amonio cuaternario.

En una forma de realización, los monómeros asociativos son monómeros de la Fórmula general $H_2C=C(R^1)-O-(CH_2CH_2O)_k-R^{3a}$ (III) o $H_2C=C(R^5)-(C=O)-O-(CH_2CH_2O)_k-R^{3a}$ (IV), en donde R^1 tiene el significado definido anteriormente, y k es un número de 10 a 80, por ejemplo, 20 a 40. R^{3a} es un radical hidrocarbilo alifático y/o aromático de cadena lineal o ramificada que tiene de 8 a 40 átomos de carbono, preferentemente, de 12 a 32 átomos de carbono. Los ejemplos de estos grupos incluyen grupos n-octilo, n-decilo, n-dodecilo, n-tetradecilo, n-hexadecilo o n-octadecilo. En otra forma de realización, los grupos son grupos aromáticos, en especial, radicales fenilos sustituidos, en especial, grupos distirilfenílicos y/o grupos tristirilfenílicos.

En otra forma de realización, los monómeros asociativos son monómeros de la Fórmula general $H_2C=C(R^1)-O-(CH_2)_n-O-(CH_2CH_2O)_x-(CH_2-CH(R^5)O)_y-(CH_2CH_2O)_zH$ (V), en donde R^1 se define como se definió anteriormente, y los radicales R^5 se seleccionan, cada uno independientemente, de radicales hidrocarbilos que

comprenden al menos 2 átomos de carbono, preferentemente, de grupos etilo o propilo. En la Fórmula (V), n es un número natural de 2 a 6, por ejemplo, 4, x es un número de 10 a 50, preferentemente, de 12 a 40 y, por ejemplo, de 20 a 30, e y es un número de 5 a 30, preferentemente, 8 a 25. En la Fórmula (V), z es un número de 0 a 5, por ejemplo, de 1 a 4, es decir el bloque terminal de unidades de óxido de etileno, por lo tanto, está presente solo de manera opcional. En una forma de realización de la invención, es posible usar al menos dos monómeros (V), en donde los radicales R^1 y R^6 , y los índices n, x e y son todos iguales, pero en uno de los monómeros $z = 0$, mientras que $z > 0$ en el otro, preferentemente, 1 a 4.

En otra forma de realización, los monómeros asociativos son monómeros catiónicos. Los ejemplos de monómeros asociativos catiónicos se divulgaron en WO 2015/158517 A1, página 11, línea 20, a página 12, líneas 14 a 42. En una forma de realización, se pueden usar los monómeros catiónicos que tienen la Fórmula general $H_2C=C(R^1)-C(=O)O-(CH_2)_k-N^+(CH_3)(CH_3)(R^6) X^-$ (VI) o $H_2C=C(R^1)-C(=O)N(R^1)-(CH_2)_k-N^+(CH_3)(CH_3)(R^6) X^-$ (VII), en donde R^1 tiene el significado que se definió anteriormente, k es 2 o 3, R^6 es un grupo hidrocarbilo, preferentemente, un grupo hidrocarbilo alifático, que tiene 8 a 18 átomos de carbono, y X^- es un contraión con carga negativa, preferentemente, Cl^- y/o Br^- .

Otros comonómeros

Además de los monómeros hidrosolubles monoetilénicamente insaturados, también se pueden usar monómeros hidrosolubles etilénicamente insaturados que tengan más de un grupo etilénico. Los monómeros de esta clase se pueden usar en casos especiales a fin de lograr la fácil reticulación de los polímeros de acrilamida. En general, la cantidad no debería exceder el 2 % en peso, preferentemente, 1 % en peso y, en especial, 0,5 % en peso, en función de la suma total de todos los monómeros. Con mayor preferencia, los monómeros que se usan en la presente invención son solo monómeros monoetilénicamente insaturados.

Composición de poliacrilamidas

La composición específica de las poliacrilamidas que se desean elaborar de acuerdo con el proceso de la presente invención se puede seleccionar de acuerdo con el uso deseado de las poliacrilamidas.

Las poliacrilamidas preferidas comprenden, además de al menos 10 % en peso de acrilamida, al menos un comonómero hidrosoluble monoetilénicamente insaturado, preferentemente, al menos un comonómero seleccionado del grupo de ácido acrílico o sales de este, ATBS o sales de este, monómeros asociativos, en particular, aquellos

de la Fórmula (V) o DMA3Q, con mayor preferencia, al menos un comonomero seleccionado de ácido acrílico o sales de este, ATBS o sales de este, monómeros asociativos, en particular, aquellos de la Fórmula (V).

En una forma de realización, las poliacrilamidas comprenden 20 % a 90 % en peso de acrilamida y 10 % a 80 % en peso de ácido acrílico y/o sales de este, en donde las cantidades de los monómeros se refieren al total de todos los monómeros en el polímero.

En una forma de realización, las poliacrilamidas comprenden 20 % a 40 % en peso de acrilamida y 60 % a 80 % en peso de ácido acrílico y/o sales de este.

En una forma de realización, las poliacrilamidas comprenden 55 % a 75 % en peso de acrilamida y 25 % a 45 % en peso de ácido acrílico y/o sales de este.

En una forma de realización, las poliacrilamidas comprenden 45 % a 75 % en peso de acrilamida y 25 % a 55 % en peso de ATBS y/o sales de este.

En una forma de realización, las poliacrilamidas comprenden 30 % a 80 % en peso de acrilamida, 10 % a 40 % en peso de ácido acrílico y/o sales de este, y 10 % a 40 % en peso de ATBS y/o sales de este.

En una forma de realización, las poliacrilamidas comprenden 45 % a 75 % en peso de acrilamida, 0,1 a 5 %, preferentemente, 0,1 a 2 % en peso de al menos un monómero asociativo de las Fórmulas generales (I) o (II) mencionadas anteriormente y 10 a 54,9 % en peso de ácido acrílico y/o ATBS y/o sales de este. Preferentemente, los monómeros asociativos tienen la Fórmula general (V) que incluye las formas de realización preferidas mencionadas anteriormente.

En una forma de realización, las poliacrilamidas comprenden 60 % a 75 % en peso de acrilamida, 0,1 a 5 %, preferentemente, 0,1 a 2 % en peso de al menos un monómero asociativo de la Fórmula general (V) mencionada anteriormente, que incluye las formas de realización preferidas, y 20 a 39,9 % en peso de ácido acrílico o sales de este.

En una forma de realización, las poliacrilamidas comprenden 45 % a 55 % en peso de acrilamida, 0,1 a 5 %, preferentemente, 0,1 a 2 % en peso de al menos un monómero asociativo de la Fórmula general (V) mencionada anteriormente, que incluye las formas de realización preferidas, y 40 a 54,9 % en peso de ácido acrílico o sales de este.

En una forma de realización, las poliacrilamidas comprenden 60 % a 99 % en peso de acrilamida y 1 % a 40 % en peso de DMA3Q.

En una forma de realización, las poliacrilamidas comprenden 10 % a 50 % en

peso de acrilamida y 50 % a 90 % en peso de DMA3Q.

En una forma de realización, las poliacrilamidas comprenden 90 a 99,5 % en peso de acrilamida, 0,5 a 2 % en peso de al menos un monómero asociativo y 0 % a 9,5 % en peso de monómero aniónico, por ejemplo, ATBS, o un monómero catiónico, por ejemplo, DM3AQ. Preferentemente, los monómeros asociativos tienen la Fórmula general (V) que incluye las formas de realización preferidas mencionadas anteriormente.

En todas las formas de realización mencionadas anteriormente, la cantidad de los monómeros se relaciona con el total de todos los monómeros en la poliacrilamida. Otros monómeros hidrosolubles monoetilénicamente insaturados pueden estar presentes además de aquellos mencionados específicamente; sin embargo, cada una de las formas de realización también incluye una forma de realización en donde, además de los monómeros mencionados específicamente, no hay ningún otro monómero presente, es decir que la cantidad total de los monómeros mencionados específicamente es 100 % en peso.

El peso molecular promedio en peso M_w de las poliacrilamidas que se elaboran, en general, varía de $1 \cdot 10^6$ g/mol a $50 \cdot 10^6$ g/mol, preferentemente, de $1,5 \cdot 10^6$ g/mol a $40 \cdot 10^6$ g/mol, con mayor preferencia, de $2 \cdot 10^6$ g/mol a $30 \cdot 10^6$ g/mol, y, por ejemplo, de $5 \cdot 10^6$ g/mol a $25 \cdot 10^6$ g/mol.

Planta modular que comprende unidades reubicables

La planta de acuerdo con la presente invención es una planta modular y reubicable que comprende varias unidades reubicables. Cada unidad reubicable une determinadas funciones de la planta. Los ejemplos de tales unidades reubicables comprenden unidades para almacenar y, opcionalmente, enfriar los monómeros y otras materias primas, hidrolizar acrilonitrilo, mezclar monómeros, polimerizar y disolver geles. A continuación se proporcionarán detalles. Para llevar a cabo el proceso de acuerdo con la presente invención, las unidades individuales se conectan entre sí de manera adecuada para obtener una línea de producción.

“Unidad reubicable” implica que la unidad no está permanentemente fijada al suelo, sino que se puede transportar a otra ubicación. Básicamente, se puede transportar en su totalidad, es decir que no es necesario desmontar la unidad completa en partes individuales para el transporte. El transporte se puede realizar en camiones, vagones de ferrocarriles o buques.

Dicha composición modular de la planta permite una reubicación fácil de la planta de un sitio a otro. Como se detallará más adelante, la planta se puede instalar

en sitios donde se necesitan soluciones acuosas de poliacrilamida o cerca de tales sitios. Cuando ya no existe la necesidad de soluciones acuosas de poliacrilamida en dicho sitio, la planta se puede reubicar en otro sitio donde existe una necesidad de soluciones de poliacrilamida.

En una forma de realización, tales unidades modulares y reubicables son unidades en contenedores que se pueden transportar de la misma manera que los contenedores intermodales cerrados, por ejemplo, en camiones, vagones de ferrocarril o buques. Los contenedores intermodales son contenedores de carga grandes estandarizados (de acuerdo con ISO 668), en particular, diseñados y construidos para el transporte de carga intermodal. Estos contenedores también se conocen como contenedores ISO. Tales contenedores ISO pueden tener dimensiones externas de una altura de ~ 2,59 m, un ancho de ~ 2,44 m y una longitud de ~ 6,05 m. Los contenedores ISO más grandes tienen dimensiones externas de una altura de ~ 2,59 m, un ancho de ~ 2,44 m y una longitud de ~12,19 m.

En otra forma de realización, las unidades reubicables pueden estar fijas en camiones o en remolques. En otras palabras, para tales unidades reubicables no se instala un contenedor ni nada similar en el sitio de la planta modular, sino que se instala la totalidad del camión o el remolque, que incluye la unidad en sus espacios de carga. De manera ventajosa, los camiones o remolques también funcionan como plataforma para las unidades en el suelo. También se pueden montar dos o más unidades diferentes juntas en un camión o remolque.

La planta modular y reubicable para preparar soluciones de poliacrilamida de acuerdo con la presente invención se puede instalar, básicamente, en cualquier ubicación. Desde dicha ubicación, las soluciones de poliacrilamida se pueden transportar a las ubicaciones en donde se usan las soluciones de poliacrilamida.

Sin embargo, preferentemente, la planta se instala en una ubicación en donde se usan las soluciones de poliacrilamida o al menos una ubicación cercana a dicha ubicación de uso.

En una forma de realización, la planta modular y reubicable se puede instalar en un pozo de petróleo y/o gas para ser tratada con soluciones acuosas de poliacrilamida o cerca de dicho pozo de petróleo y/o gas. Los ejemplos comprenden pozos petroleros en donde se inyectan soluciones acuosas de poliacrilamida durante las operaciones mejoradas de extracción de petróleo, los pozos de producción cuya productividad se mejora mediante inyección de fluidos de fractura que comprenden poliacrilamidas como reductores de la fricción, o pozos que se perforan, y se usan

soluciones acuosas de poliacrilamida para elaborar el fluido de perforación. En otra forma de realización, la planta se puede instalar entre una pluralidad de dichos pozos de petróleo y/o gas o en uno de ellos, y la solución acuosa de poliacrilamida se distribuye a todos los pozos de inyección, por ejemplo, mediante tuberías.

En el campo de la minería, la planta modular y reubicable puede ser una ubicación en o cerca de estanques de relaves en donde los relaves minerales se deshidratan usando soluciones acuosas de poliacrilamida. En una forma de realización de la invención, puede ser una ubicación para el tratamiento de barro rojo, un subproducto del proceso Bayer para elaborar aluminio.

En otras formas de realización, la ubicación puede estar en un sitio de producción de papel, en estaciones depuradoras de aguas residuales o en plantas de desalinización de agua de mar o en sitios para elaborar formulaciones agrícolas.

La distancia entre la ubicación de la planta modular y reubicable y la ubicación en donde se usa la poliacrilamida no está específicamente limitada. Sin embargo, a fin de limitar los costos de transporte de las soluciones acuosas de poliacrilamida, la ubicación de la planta y la ubicación de uso de poliacrilamida no deberían estar muy lejos una de la otra. Por ejemplo, la distancia entre la ubicación de la planta modular y reubicable y las ubicaciones de uso de las soluciones de poliacrilamida puede variar de 0,1 a 500 km, por ejemplo, de 0,1 a 100 km, de 0,2 a 10 km o de 0,5 a 5 km.

Obtención de acrilamida

La acrilamida se puede sintetizar mediante hidrólisis parcial de acrilonitrilo usando catalizadores adecuados. Se conoce en el estado de la técnica el uso de catalizadores de cobre u otros catalizadores que contienen metal, y también se conoce el uso de biocatalizadores capaces de convertir acrilonitrilo en acrilamida. La acrilamida pura es sólida, aunque en general, la acrilamida —ya sea elaborada mediante biocatálisis o catálisis con cobre— se proporciona como solución acuosa, por ejemplo, como solución acuosa que comprende alrededor de 50 % en peso de acrilamida.

La acrilamida obtenida mediante biocatalizadores (con frecuencia denominada “bioacrilamida”) se puede distinguir de la acrilamida obtenida mediante catalizadores de cobre u otros catalizadores que contienen metal, ya que esta última aún comprende al menos trazas de cobre u otros metales. La acrilamida obtenida mediante biocatalizadores aún puede comprender trazas del biocatalizador.

Para el proceso de acuerdo con la presente invención, preferentemente, se usa una solución acuosa de acrilamida que se obtuvo mediante hidrólisis de acrilonitrilo en

agua en presencia de un biocatalizador capaz de convertir acrilonitrilo en acrilamida. Como se detallará más adelante, el uso de biocatalizadores para hidrolizar acrilonitrilo tiene ventajas considerables para la presente invención.

En una forma de realización de la invención, las soluciones acuosas de bioacrilamida para usar en el proceso de acuerdo con la presente invención se pueden elaborar en otra ubicación y enviar a la ubicación de la planta modular y reubicable de acuerdo con la presente invención.

Esta ubicación de elaboración diferente puede ser una planta química fija o una planta modular y reubicable para la elaboración de bioacrilamida en una ubicación diferente que la planta de acuerdo con la presente invención. Una planta modular y reubicable para la elaboración de bioacrilamida se puede ubicar más cerca, en relación con una planta química fija, a la planta modular y reubicable de acuerdo con la presente invención, por ejemplo, en un área minera o en un campo de petróleo, y así minimizar los costos de transporte. Desde esta ubicación, se le puede proporcionar bioacrilamida a una o más de una planta modular para la elaboración de soluciones acuosas de poliácrlamida de acuerdo con la presente invención. En una forma de realización, el sitio de elaboración de bioacrilamida puede estar a una distancia de 1 a 200 km de la planta modular y reubicable de acuerdo con la presente invención.

En una forma de realización preferida de la presente invención, la elaboración de bioacrilamida también se realiza en la planta modular y reubicable de acuerdo con la presente invención mediante una unidad de bioconversión adecuada (en la presente denominada etapa de proceso [0]).

La elaboración de bioacrilamida en la planta modular y reubicable ahorra costos de transporte considerables. El acrilonitrilo es un líquido y se puede transportar como compuesto puro a la ubicación de la planta. El peso molecular de acrilamida es ~ 34 % mayor que el de acrilonitrilo, y la acrilamida generalmente se proporciona como una solución acuosa a ~ 50 %. Entonces, para una solución acuosa al 50 % de acrilamida, la masa que se transporta es alrededor de 2,5 veces mayor en comparación con el transporte de acrilonitrilo puro. El transporte de acrilamida pura y sólida significa el transporte de solo ~ 34 % más de masa en comparación con el transporte de acrilonitrilo puro; sin embargo, se necesita equipo adicional para manipular y disolver la acrilamida sólida en la ubicación de la planta.

Etapas [0] – Hidrólisis de acrilonitrilo

Como ya se indicó anteriormente, la etapa [0] solo es opcional para el proceso de acuerdo con la presente invención; sin embargo, en una forma de realización

preferida de la invención, el proceso de acuerdo con la invención incluye la etapa [0]. Durante la etapa [0], acrilonitrilo se hidroliza en agua en presencia de un biocatalizador capaz de convertir acrilonitrilo en acrilamida, para obtener una solución acuosa de acrilamida.

Obtención de acrilonitrilo

El acrilonitrilo para la etapa [0] se puede almacenar en una o más de una unidad de almacenamiento reubicable. La unidad de almacenamiento comprende un recipiente de almacenamiento. El volumen del recipiente de almacenamiento no se limita específicamente y puede variar de 50 m^3 a 150 m^3 , por ejemplo, puede ser alrededor de 100 m^3 . Preferentemente, el recipiente de almacenamiento debe ser de doble pared y debe ser horizontal. Tal construcción evita colocar una fosa para la recolección de cualquier fuga y garantiza una reubicación más simple y rápida de la unidad de almacenamiento. Los recipientes de doble pared se pueden colocar en todos los suelos con buena capacidad portante. La unidad de almacenamiento también comprende medios para cargar y descargar el recipiente, medios para controlar la presión en el recipiente, por ejemplo, una válvula para ajustar la presión baja o la sobrepresión,

y medios para controlar la temperatura de acrilonitrilo que, preferentemente, no debería exceder 25°C . Asimismo, puede comprender medios de medición y control en la medida necesaria.

Los ejemplos de unidades de almacenamiento reubicables comprenden tanques de almacenamiento cuboides reubicables, preferentemente, tanques de doble pared. Además, cualquier forma y tamaño considerable del contenedor es adecuado y aplicable para el almacenamiento y/o la obtención de acrilonitrilo en el sentido de la presente invención. En particular, los isotanques estándares son aplicables para el almacenamiento y/o la obtención de acrilonitrilo.

Otros ejemplos comprenden tanques contenedores que tienen un marco cuboide, preferentemente, un marco de acuerdo con la norma ISO 668 mencionada anteriormente y uno o más recipientes de almacenamiento montados en el marco. Tales tanques contenedores estandarizados se pueden apilar y transportar en camiones, vagones de ferrocarril o buques de la misma manera que los contenedores intermodales cerrados.

Básicamente, el control de temperatura se puede realizar mediante cualquier tipo de unidad de control de temperatura. Según las condiciones climáticas que prevalezcan en el sitio de la planta modular, el control de temperatura puede implicar

refrigerar o calentar el contenido de las unidades de almacenamiento. Con respecto a los monómeros, el control de temperatura generalmente significa refrigeración, ya que se debe evitar que los monómeros se sobrecalienten. En una forma de realización, se puede usar un intercambiador de calor interno para refrigerar o calentar, es decir, un intercambiador de calor montado dentro del recipiente de almacenamiento. El refrigerante se proporciona al intercambiador de calor mediante una unidad de refrigeración o de calentamiento adecuada montada fuera del recipiente de almacenamiento. En otra forma de realización de la invención, para el control de temperatura, se usa un ciclo de control de temperatura externo, por ejemplo, un ciclo de refrigeración, que comprende una bomba que bombea el monómero desde el recipiente de almacenamiento a través de un intercambiador de calor y, nuevamente, al recipiente de almacenamiento.

El ciclo de control de temperatura puede ser una unidad de control de temperatura reubicable separada, que comprende una bomba y un intercambiador de calor y que se conecta con el recipiente de almacenamiento mediante tuberías o tubos flexibles.

En otra forma de realización, el ciclo de control de temperatura se puede integrar en la unidad de almacenamiento reubicable. Puede, por ejemplo, ubicarse en un extremo de la unidad en forma separada del recipiente de almacenamiento.

La Figura 1 representa esquemáticamente una forma de realización de una unidad de almacenamiento de monómeros que comprende un ciclo de control de temperatura integrado. Comprende un marco (1). El marco puede ser, en particular, un marco cuboide, preferentemente, con dimensiones de contenedor estandarizadas que faciliten el transporte. La unidad de almacenamiento reubicable también comprende un recipiente de doble pared montado en el marco que comprende una pared externa (2) y una pared interna (3). En otras formas de realización, no existe tal marco (1), sino que el recipiente de almacenamiento es autoportante. El recipiente de almacenamiento se carga con acrilonitrilo. La unidad de almacenamiento comprende además un ciclo de control de temperatura externo que comprende al menos una bomba y una unidad de control de temperatura. Para el enfriamiento, el acrilonitrilo se hace circular mediante una bomba (4) del recipiente de almacenamiento a la unidad de control de temperatura (5) y luego vuelve al recipiente de almacenamiento. La cantidad de acrilonitrilo que debe circular en el ciclo de control de temperatura a fin de controlar la temperatura en un nivel aceptable, por ejemplo, por debajo de 25 °C, depende, en particular, de la temperatura externa y la temperatura interna previstas. En una forma

de realización, se puede hacer circular 10 % a 100 % del volumen de acrilonitrilo en el recipiente por hora.

La Figura 2 representa esquemáticamente otra forma de realización de una unidad de almacenamiento de monómeros. Comprende un recipiente de almacenamiento (6) cuboide, preferentemente, de doble pared. De ser necesario, el recipiente de almacenamiento (6) se conecta con una unidad de control de temperatura externa y reubicable (7).

El acrilonitrilo se puede proporcionar en el sitio de la planta modular mediante camiones cisterna, isotanques o vagones de ferrocarril, y se puede bombear en el recipiente de almacenamiento reubicable.

El acrilonitrilo se puede remover del recipiente de almacenamiento reubicable a través de una válvula inferior mediante gravedad, o se puede bombear, por ejemplo, del lado superior usando una bomba adecuada.

Biocatalizadores

Como biocatalizador para realizar la etapa [0], se pueden usar las enzimas nitrilo hidratasa, que son capaces de catalizar la hidrólisis de acrilonitrilo en acrilamida. En general, las enzimas nitrilo hidratasa se pueden producir mediante una variedad de microorganismos, por ejemplo, microorganismos de los géneros *Bacillus*, *Bacteridium*, *Micrococcus*, *Brevibacterium*, *Corynebacterium*, *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Xanthobacter*, *Streptomyces*, *Rhizobium*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Escherichia Coli*, *Erwinia*, *Aeromonas*, *Citrobacter*, *Achromobacter*, *Agrobacterium*, *Pseudonocardia* y *Rhodococcus*. WO 2005/054456 divulga la síntesis de nitrilo hidratasa dentro de los microorganismos, y allí se describe que se descubrió que diversas cepas de la especie *Rhodococcus rhodochrous* producen enzimas nitrilo hidratasa de manera muy eficaz, en particular, *Rhodococcus rhodochrous* NCIMB 41164. Tales microorganismos, adecuados como biocatalizadores para la conversión enzimática de acrilonitrilo en acrilamida, que son conocidos por las personas del oficio de nivel medio, se pueden aplicar en una unidad de bioconversión reubicable de acuerdo con la presente invención. Además, los métodos específicos de cultivo (o fermentación) y/o almacenamiento del microorganismo, así como las respectivas secuencias de polinucleótidos que codifican la enzima, en particular, la nitrilo hidratasa, se conocen en el estado de la técnica, por ejemplo, WO 2005/054456, WO 2016/050816, y son aplicables en el contexto de la presente invención. Dentro de la presente invención, se pueden usar microorganismos productores de nitrilo hidratasa y amidasa para convertir un compuesto de nitrilo en el compuesto de amida correspondiente, como se

describe, por ejemplo, en WO 2016/050816.

Las expresiones “microorganismo productor de nitrilo hidratasa (NHasa)”, “microorganismo” o “biocatalizadores”, o similares, significan que pueden producir (es decir, codifican y expresan) la enzima nitrilo hidratasa (también denominada, por ejemplo, Nhasa), ya sea por sí mismos (de manera natural) o genéticamente modificados, respectivamente. Los microorganismos “genéticamente modificados” fueron manipulados de manera que adquirieran la capacidad para expresar la enzima Nhasa necesaria, por ejemplo, mediante incorporación de un gen o una agrupación de genes de nitrilo hidratasa naturales y/o modificados, o similares. Los productos de los microorganismos que se pueden usar en el contexto de la presente invención también están contemplados, por ejemplo, las suspensiones obtenidas mediante alteración celular parcial o completa de los microorganismos.

Las expresiones “microorganismo productor de nitrilo hidratasa (NHasa)”, “microorganismo” o “biocatalizadores”, o similares, incluyen las células y/o el producto procesado de estas como tales, y/o suspensiones que contienen dichos microorganismos y/o productos procesados. También se prevé que los microorganismos y/o productos procesados de estos se vuelvan a tratar antes de ser usados en las formas de realización de la presente invención. “Volver a tratar”, entonces, incluye, por ejemplo, etapas de lavado y/o etapas para concentrar el microorganismo, etc. También se prevé que los microorganismos que se usan en las formas de realización de la presente invención se pretrataron, por ejemplo, mediante una etapa de secado. Otros métodos conocidos para cultivar los microorganismos y cómo optimizar las condiciones de cultivo mediante, por ejemplo, adición de urea o cobalto, se describen en WO 2005/054456 y se incluyen en las formas de realización de la presente invención. De manera ventajosa, el microorganismo se puede cultivar en un medio que contiene acetonitrilo o acrilonitrilo como un inductor de la nitrilo hidratasa.

Preferentemente, el biocatalizador para convertir acrilonitrilo en acrilamida se puede obtener del cultivo del microorganismo en un medio de crecimiento adecuado. El medio de crecimiento, también denominado medio de fermentación (cultivo), caldo de fermentación, mezcla de fermentación, o similares, puede comprender componentes típicos como azúcares, polisacáridos, que se describen, por ejemplo, en WO 2005/054489, y que son adecuados para usar para el cultivo del microorganismo de la presente invención a fin de obtener el biocatalizador. Para almacenar el microorganismo, el caldo de fermentación se remueve preferentemente a fin de evitar

la putrefacción, lo que podría generar una reducción de la actividad de nitrilo hidratasa. Los métodos de almacenamiento descritos en WO 2005/054489 se pueden aplicar de acuerdo con la presente invención para garantizar una estabilidad del biocatalizador adecuada durante el almacenamiento. Preferentemente, el almacenamiento no influye en la actividad biocatalítica o no genera una reducción de la actividad biocatalítica. El biocatalizador se puede almacenar en presencia de los componentes del caldo de fermentación. En el sentido de la presente invención, se prefiere que el biocatalizador se pueda almacenar en forma de una suspensión congelada y se pueda descongelar antes del uso. Además, el biocatalizador se puede almacenar en forma seca usando liofilización, secado por pulverización, secado por calor, secado al vacío, secado en lecho fluidizado y/o granulación por pulverización, en donde se prefieren el secado por pulverización y la liofilización.

Preparación de biocatalizadores

Los biocatalizadores que se usan de acuerdo con la presente invención en la planta modular y reubicable se pueden cultivar, por ejemplo, en cualquier condición adecuada para ese fin de acuerdo con cualquiera de los métodos conocidos, por ejemplo, como se describe en el arte previo de la presente memoria descriptiva. El biocatalizador se puede usar como un catalizador de células enteras para la generación de amida a partir de nitrilo. El biocatalizador se puede inmovilizar (parcialmente), por ejemplo, se puede encapsular en un gel o se puede usar, por ejemplo, como una suspensión de células libres. Para la inmovilización, se pueden aplicar métodos estándares conocidos, por ejemplo, encapsulamiento, reticulación, tal como reticulación de glutaraldehído-polietilenimina (GA-PEI), reticulación con una matriz y/o fijación al portador, etc., lo que incluye variaciones y/o combinaciones de los métodos antes mencionados. De manera alternativa, la enzima nitrilo hidratasa se puede extraer y, por ejemplo, se puede usar directamente en el proceso para preparar la amida. Cuando se usan células inactivadas o parcialmente inactivadas, tales células se pueden inactivar mediante tratamiento térmico o químico.

En una forma de realización preferida, los microorganismos son células enteras. Las células enteras se pueden pretratar mediante una etapa de secado. Los métodos de secado y/o condiciones de secado adecuados se divulgan, por ejemplo, en WO 2016/050816 y WO 2016/050861, y se puede aplicar el estado de la técnica conocido en el contexto de la presente invención para usar en una unidad de bioconversión reubicable.

Los microorganismos que se usan en el contexto de la presente invención se

usan, en una forma de realización preferida, en una suspensión acuosa y, en una forma de realización de mayor preferencia, son células enteras libres en una suspensión acuosa. La expresión "suspensión acuosa", por lo tanto, incluye todo tipo de líquidos, tales como amortiguadores o medios de cultivo que son adecuados para mantener los microorganismos en suspensión. Tales líquidos son conocidos por la persona del oficio de nivel medio e incluyen, por ejemplo, amortiguadores de almacenamiento a un pH adecuado, tales como amortiguadores de almacenamiento que se usan para depositar microorganismos, amortiguadores a base de TRIS, amortiguadores a base de solución salina, agua en todos los grados de calidad, tal como agua destilada, agua pura, agua corriente o agua de mar, medio de cultivo, medio de crecimiento, soluciones de nutrientes o caldos de fermentación, por ejemplo, el caldo de fermentación que se usó para cultivar los microorganismos. Durante el almacenamiento, por ejemplo, la suspensión acuosa se congela y se descongela antes del uso, en particular, sin pérdida de actividad.

El biocatalizador se puede proporcionar como polvo o como suspensión acuosa. Si se proporciona como polvo, suele ser aconsejable preparar una suspensión acuosa antes de agregar el catalizador en la unidad de bioconversión. En una forma de realización, la suspensión de biocatalizador se puede llevar a cabo suspendiendo el polvo de biocatalizador en agua en un recipiente que comprende al menos un dispositivo de mezcla, por ejemplo, un agitador, una o más entradas para agua, el biocatalizador y, opcionalmente, otros aditivos y una salida para la suspensión de biocatalizador. El volumen del recipiente puede ser, por ejemplo, de 0,1 m³ a 1 m³. La concentración del biocatalizador en la suspensión acuosa de biocatalizador puede ser, por ejemplo, de 1 % a 30 % en peso, por ejemplo, de 10 a 20 % en peso, con respecto al total de todos los componentes de la suspensión acuosa.

Una suspensión de biocatalizador se puede agregar directamente a la unidad de bioconversión. En otra forma de realización, una suspensión concentrada se puede diluir antes de agregarla a la unidad de bioconversión.

Bioconversión

La hidrólisis de acrilonitrilo en acrilamida mediante un biocatalizador se realiza en una unidad de bioconversión reubicable adecuada.

En particular, la bioconversión se realiza poniendo en contacto una mezcla que comprende agua y acrilonitrilo con el biocatalizador en la unidad de bioconversión reubicable. La expresión "poner en contacto" no es específicamente limitada e incluye, por ejemplo, entrar en contacto con, mezclar, agitar, verter, descargar o incorporar en.

Por lo tanto, solo es decisivo que los ingredientes mencionados entren en contacto entre sí, independientemente de cómo se logre ese contacto.

Por lo tanto, en una forma de realización de la presente invención, la etapa [0] comprende las siguientes etapas:

- (a) agregar los siguientes componentes (i) a (iii) a una unidad de bioconversión para obtener una composición para bioconversión:
 - (i) un biocatalizador capaz de convertir acrilonitrilo en acrilamida;
 - (ii) acrilonitrilo;
 - (iii) medio acuoso; y
- (b) realizar una bioconversión en la composición obtenida en la etapa (a).

La bioconversión se puede llevar a cabo, por ejemplo, en cualquier condición adecuada para el fin de acuerdo con cualquiera de los métodos conocidos, por ejemplo, como se describe en el arte previo a la presente memoria descriptiva mencionado, por ejemplo, WO 2016/050817, WO 2016/050819, WO 2017/055518.

La conversión de acrilonitrilo en acrilamida se puede producir mediante cualquiera de un proceso en lotes y un proceso continuo, y la conversión se puede producir seleccionando su sistema de reacción de sistemas de reacciones tales como lecho suspendido, lecho fijo, lecho fluidizado y similares, o combinando diferentes sistemas de reacción de acuerdo con la forma del catalizador. En particular, el método de la presente invención se puede realizar usando un proceso por semilotes. En particular, la expresión “proceso por semilotes”, como se usa en la presente, puede comprender que una solución acuosa de acrilamida se produzca de manera discontinua.

De acuerdo con un ejemplo no limitativo para llevar a cabo el proceso por semilotes, se colocan agua, una cantidad determinada de acrilonitrilo y el biocatalizador en la unidad de bioconversión. Luego se agrega más acrilonitrilo durante la bioconversión hasta que se alcanza un contenido de acrilamida deseado de la composición. Después de que se alcanza el contenido de acrilamida deseado, la composición obtenida, por ejemplo, se recupera parcial o completamente del reactor, antes de que se coloquen nuevos reactivos. En particular, en cualquiera de los métodos de la presente invención, el acrilonitrilo se puede cargar de manera que el contenido de acrilonitrilo durante la etapa (b) se mantenga sustancialmente constante en un valor predeterminado. En general, en cualquiera de los métodos de la presente invención, el contenido de acrilonitrilo y/o el contenido de acrilamida durante la etapa (b) se pueden monitorear. Los métodos para monitorear el contenido de acrilonitrilo no

son limitados e incluyen la espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR). En otra forma de realización, el balance de calor de la reacción se puede usar para monitorear el proceso. Esto significa que el monitoreo mediante un método de balance de calor se lleva a cabo midiendo la energía térmica del sistema durante la bioconversión y calculando la pérdida de energía térmica durante la reacción a fin de monitorear el proceso.

Aunque la conversión de acrilonitrilo en acrilamida se puede llevar a cabo, preferentemente, a presión atmosférica, se puede llevar a cabo bajo presión a fin de aumentar la solubilidad de acrilonitrilo en el medio acuoso. Debido a que los biocatalizadores son termosensibles y la hidrólisis es una reacción exotérmica, el control de temperatura es importante. La temperatura de reacción no es específicamente restringida, siempre que no sea inferior al punto de congelamiento del medio acuoso. Sin embargo, es conveniente realizar la conversión a una temperatura de, en general, 0 a 50 °C, preferentemente, 10 a 40 °C, con mayor preferencia, 15 a 30 °C. Otras condiciones adecuadas para la bioconversión de acuerdo con la presente invención se describen, por ejemplo, en WO 2017/055518 y son preferentemente aplicables para el método en una unidad de bioconversión reubicable.

Aunque la cantidad de biocatalizador puede variar según el tipo de biocatalizador que se desea usar, se prefiere que la actividad del biocatalizador, que se introduce en el reactor, preferentemente, la unidad de bioconversión reubicable, esté en el rango de alrededor de 5 a 500 U por mg de células secas de microorganismo. Los métodos para determinar la capacidad de un determinado biocatalizador (por ejemplo, microorganismo o enzima) de catalizar la conversión de acrilonitrilo en acrilamida se conocen en el estado de la técnica. A modo de ejemplo, en el contexto de la presente invención, la actividad de un determinado biocatalizador de actuar como una nitrilo hidratasa en el sentido de la presente invención se puede determinar de la siguiente manera: En primer lugar, haciendo reaccionar 100 µl de una suspensión celular, un lisado celular, un polvo de enzima disuelto o cualquier otra preparación que contenga la supuesta nitrilo hidratasa con 875 µl de un amortiguador de fosfato de potasio 50 mM y 25 µl de acrilonitrilo a 25 °C en un agitador de tubos Eppendorf a 1000 rpm durante 10 minutos. Después de 10 minutos de tiempo de reacción, las muestras se pueden retirar e inactivar inmediatamente agregando el mismo volumen de 1,4 % de ácido clorhídrico. Después de mezclar la muestra, las células se pueden remover mediante centrifugación durante 1 minuto a 10.000 rpm, y la cantidad de acrilamida formada se determina analizando el sobrenadante

transparente mediante HPLC. Para afirmar que una enzima será nitrilo hidratasa en el contexto de la presente invención, la concentración de acrilamida debe ser, en particular, de 0,25 a 1,25 mmol/l, de ser necesario, la muestra se debe diluir en consecuencia, y la conversión se debe repetir. La actividad enzimática luego se puede deducir de la concentración de acrilamida dividiendo la concentración de acrilamida derivada del análisis de HPLC por el tiempo de reacción, que fue de 10 minutos, y multiplicando este valor por el factor de dilución entre la muestra de HPLC y la muestra original. Las actividades >5 U/mg de peso celular seco, preferentemente, >25 U/mg de peso celular seco, con mayor preferencia, >50 U/mg de peso celular seco, con máxima preferencia, >100 U/mg de peso celular seco indican la presencia de una nitrilo hidratasa expresada funcionalmente y se consideran como nitrilo hidratasa en el contexto de la presente invención.

Se prefiere que la concentración de acrilonitrilo durante la bioconversión no exceda 6 % en peso y puede estar, por ejemplo, en el rango de 0,1 % en peso a 6 % en peso, preferentemente, de 0,2 % en peso a 5 % en peso, con mayor preferencia, de 0,3 % en peso a 4 % en peso, aun con mayor preferencia, de 0,5 % en peso a 3 % en peso, aun con mayor preferencia, de 0,8 % en peso a 2 % en peso y, con máxima preferencia, de 1 % en peso a 1,5 % en peso, con respecto al total de todos los componentes de la mezcla acuosa. Es posible que la concentración varíe a lo largo del tiempo durante la reacción de bioconversión. A fin de obtener soluciones de acrilamida más concentradas, la cantidad total de acrilonitrilo no se debería agregar de una sola vez, sino que se debe agregar en etapas o incluso de manera continua, teniendo en cuenta los límites de concentración antes mencionados. La divulgación de WO 2016/050818 enseña un método de dosificación adicional de acrilonitrilo, que es adecuado para usar y aplicar en la presente invención.

La concentración de acrilamida en la solución obtenida está en el rango de 10 % a 80 %, preferentemente, en el rango de 20 % a 70 %, con mayor preferencia, en el rango de 30 % a 65 %, aun con mayor preferencia, en el rango de 40 % a 60 %, con máxima preferencia, en el rango de 45 % a 55 % en peso de monómeros de acrilamida. La reacción se debe producir de manera que la concentración final de acrilonitrilo en la solución final de acrilamida obtenida no exceda 0,1 % en peso con respecto al total de todos los componentes de la solución acuosa. Los tiempos de reacción típicos pueden ser de 2 a 20 h, en particular, 4 h a 12 h, por ejemplo, 6 h a 10 h. Después de completar la adición de acrilonitrilo, el contenido del reactor se deja circular más tiempo para completar la reacción, por ejemplo, durante un lapso de 1

hora a 3 horas. El resto del contenido de acrilonitrilo debería ser, preferentemente, menor de 100 ppm de ACN.

Los reactores adecuados para realizar la bioconversión son conocidos por las personas del oficio de nivel medio. Los ejemplos comprenden recipientes de cualquier forma, por ejemplo, recipientes cilíndricos o esféricos, o reactores de tubos. En una forma de realización, el reactor de tanque continuo como se divulga en WO 2016/006556 A1 se puede usar para la bioconversión.

En una forma de realización de la invención, la unidad de bioconversión reubicable es similar a la unidad de almacenamiento reubicable para acrilonitrilo descrita anteriormente. El uso mayormente del mismo equipo para almacenar acrilonitrilo u otros monómeros y la etapa de bioconversión contribuyen a un proceso económico para elaborar soluciones acuosas de acrilamida.

La unidad de bioconversión reubicable comprende un recipiente de reacción. El volumen del recipiente de reacción no se limita específicamente y puede variar de 10 m³ a 150 m³, por ejemplo, puede ser alrededor de 20 m³ a 50 m³. Preferentemente, el recipiente de reacción debe ser de doble pared y debe ser horizontal. Tal construcción evita colocar una fosa para la recolección de cualquier fuga y garantiza una reubicación más simple y rápida de la unidad de reacción.

La unidad de bioconversión también comprende medios para mezclar la mezcla de reacción y medios para controlar la temperatura del contenido del recipiente. La hidrólisis de acrilonitrilo en acrilamida es una reacción exotérmica y, por lo tanto, el calor generado durante la reacción se debe eliminar para mantener una temperatura óptima para la bioconversión. En general, la unidad de bioconversión también comprende medios de medición y control, por ejemplo, medios para controlar la temperatura o para controlar la presión en el recipiente.

La unidad de bioconversión preferida comprende, para el control de la temperatura, un ciclo de control de temperatura externa que comprende una bomba que bombea el contenido acuoso del reactor del recipiente de almacenamiento a través de un intercambiador de calor y lo vuelve a bombear en el recipiente de almacenamiento, preferentemente, a través de una boquilla de inyección.

En una forma de realización, se usa una unidad de control de temperatura separada y reubicable que comprende una bomba y un intercambiador de calor y que se conecta a la unidad de bioconversión mediante tuberías y tubos flexibles. En una forma de realización preferida, el ciclo de control de temperatura está integrado en la unidad de bioconversión reubicable. Puede, por ejemplo, ubicarse en un extremo de la

unidad en forma separada del recipiente de reacción.

El recipiente de reacción también puede comprender medios para mezclar la mezcla de reacción acuosa, por ejemplo, un agitador.

De manera sorprendente, se descubrió que el ciclo de control de temperatura externa descrito anteriormente también se puede usar como medio de mezcla. El flujo de la mezcla de reacción acuosa que pasa a través del ciclo de control de temperatura y que se vuelve a inyectar en el recipiente de reacción genera una circulación de la mezcla de reacción acuosa en el recipiente de reacción que es suficiente para mezclar la mezcla de reacción acuosa.

Preferentemente, no se usa agitador para la unidad de bioconversión transportable. Un agitador es un dispositivo mecánico adicional, que aumenta la complejidad técnica. Cuando se usa el ciclo de control de temperatura externa para mezclar en lugar de un agitador, la complejidad técnica se puede reducir mientras se siga garantizando la mezcla suficiente durante la bioconversión. De manera ventajosa, la etapa de transporte es más simple sin un agitador, dado que no se tiene que retirar ningún agitador como componente técnico adicional antes del transporte. Además, una unidad de bioconversión sin un agitador ofrece más flexibilidad en forma, requisitos de estabilidad mecánica y tamaño en la unidad de bioconversión. En particular, se puede establecer con mayor facilidad una configuración horizontal para la unidad de bioconversión reubicable sin un agitador y solo con mezcla a través del ciclo de control de temperatura externa.

La adición de acrilonitrilo al contenido de la unidad de bioconversión se puede llevar a cabo de diversas formas. Se puede agregar en el recipiente de reacción o se puede agregar en el ciclo de control de temperatura, por ejemplo, después del bombeo y antes del intercambiador de calor, o después del intercambiador de calor. La inyección de acrilonitrilo en el ciclo de control de temperatura garantiza la buena mezcla de la mezcla de reacción con acrilonitrilo recientemente agregado. El acrilonitrilo se agrega, preferentemente, entre la bomba y el intercambiador de calor.

La Figura 3 representa esquemáticamente una forma de realización de la unidad de bioconversión reubicable con un ciclo de control de temperatura integrado. La unidad de bioconversión comprende un marco (10), un recipiente de reacción de doble pared montado en el marco que comprende una pared externa (11) y una pared interna (12). Los volúmenes preferidos del recipiente de reacción se mencionaron anteriormente. En otras formas de realización, el recipiente de reacción es autoportante y no tiene marco (10). El recipiente de reacción se carga con la mezcla

de reacción. La unidad de bioconversión comprende además un ciclo de control de temperatura externo que comprende al menos una bomba (13) y una unidad de control de temperatura (14). La mezcla de reacción se hace circular por medio de una bomba (13) del recipiente de reacción a la unidad de control de temperatura (14) y se vuelve a inyectar en el recipiente de almacenamiento, preferentemente, a través de una boquilla de inyección (16). En la forma de realización representada, el acrilonitrilo se inyecta en el ciclo de control de temperatura, y garantiza una buena mezcla (15). Se puede agregar antes o después de la unidad de control de temperatura. La Figura 3 muestra una forma de realización en la que se agrega el acrilonitrilo en el ciclo de control de temperatura entre la bomba y el intercambiador de calor. El flujo de la mezcla de reacción que se vuelve a inyectar en el recipiente de reacción genera una circulación de la mezcla de reacción en el recipiente de reacción que garantiza la mezcla suficiente del contenido de la mezcla de reacción.

La cantidad de la mezcla de reacción circulada por hora a través del ciclo de control de temperatura se selecciona de modo que se logre la mezcla suficiente del contenido del reactor así como el control de temperatura suficiente. En una forma de realización, la cantidad de mezcla circulada por hora a través del ciclo de control de temperatura puede ser de 100 % a 1000 % del volumen total de la mezcla de reacción en la unidad de bioconversión, en particular, de 200 % a 1000 % y, por ejemplo, de 500 % a 800 %.

Los gases salientes de la unidad de bioconversión pueden comprender acrilonitrilo, ácido acrílico y acrilamida. Si es necesario, de acuerdo con las reglas aplicables, tales gases salientes se pueden tratar de manera conocida en el estado de la técnica. Por ejemplo, puede ser posible combustionar los gases salientes.

En una forma de realización, todos los gases salientes que contienen acrilonitrilo, ácido acrílico y acrilamida se pueden lavar en un depurador. El recipiente del depurador puede tener un volumen de 1 m³ a 100 m³, preferentemente, un volumen de 5 m³ a 100 m³, con mayor preferencia, un volumen de 10 m³ a 100 m³. Puede ser, por ejemplo,

un isotanque o un recipiente de almacenamiento reubicable, preferentemente, un recipiente de doble pared. El agua del depurador se puede recolectar, preferentemente, en un tanque y se puede volver a utilizar en el siguiente lote de bioconversión.

Remoción de la biomasa

Después de la bioconversión, el recipiente de reacción comprende una solución

acuosa de acrilamida, que comprende aún el biocatalizador allí suspendido.

El biocatalizador se remueve, preferentemente por completo, esencialmente por completo, o parcialmente antes de la polimerización, sin embargo, la remoción del biocatalizador puede no ser absolutamente necesaria en todos los casos. La necesidad de remoción del biocatalizador depende sustancialmente de dos factores, a saber, la determinación de si el biocatalizador restante afecta negativamente la polimerización y/o las propiedades de la poliacrilamida obtenida y/o si el biocatalizador afecta negativamente la aplicación de la solución de poliacrilamida obtenida. En una forma de realización, al menos 75 %, preferentemente, al menos 90 % en peso de la biomasa, con respecto al total de la biomasa presente, debe removerse.

El método para remover el biocatalizador no está específicamente limitado. La separación del biocatalizador se puede realizar, por ejemplo, mediante filtración o centrifugación. En otras formas de realización, el carbón activado se puede usar con fines de separación.

En términos de procedimiento, existen diversas opciones para remover el biocatalizador.

En una forma de realización, la solución acuosa de acrilamida que comprende el biocatalizador se remueve de la unidad de bioconversión, se hace pasar por una unidad para remover el biocatalizador, y la solución acuosa de acrilamida se carga luego en una unidad de almacenamiento adecuada para acrilamida, preferentemente, una unidad de almacenamiento reubicable para acrilamida, como se describió anteriormente.

En otra forma de realización, la solución acuosa de acrilamida que comprende el biocatalizador se remueve de la unidad de bioconversión, se hace pasar por una unidad para remover el biocatalizador, y la solución acuosa de acrilamida se carga luego directamente en la unidad de preparación de monómeros, es decir, sin almacenamiento intermedio en una unidad de almacenamiento de acrilamida.

En otra forma de realización, la solución acuosa de acrilamida que comprende el biocatalizador se remueve de la unidad de bioconversión y se carga directamente, es decir, sin remover el biocatalizador, en la unidad de preparación de monómeros. En dicha forma de realización, el biocatalizador sigue estando presente durante la preparación de monómeros y se remueve después de preparar la solución acuosa de monómero (etapa [1]) como se describe más adelante.

En otra forma de realización, la solución acuosa de acrilamida que comprende el biocatalizador se remueve de la unidad de bioconversión, se hace pasar por una

unidad para remover el biocatalizador y se vuelve a cargar luego en la unidad de bioconversión. Con el fin de garantizar la descarga completa de la unidad de bioconversión antes de volver a cargarla con la solución de acrilamida, la unidad para remover el biocatalizador debe comprender un recipiente amortiguador con un volumen suficiente para absorber el contenido de la unidad de bioconversión.

Los métodos mencionados anteriormente para la remoción del biocatalizador son aplicables, por ejemplo, para la remoción en partes y/o la remoción completa del biocatalizador. Además, se prefiere que la remoción completa o parcial del biocatalizador se pueda volver a utilizar para una reacción posterior de bioconversión.

Obtención de ácido acrílico

En el contexto de la presente invención, se puede usar ácido acrílico o sus sales como comonomero además de la acrilamida. Cualquier tipo de ácido acrílico puede usarse básicamente para el proceso de acuerdo con la presente invención, por ejemplo, el ácido acrílico que se obtiene mediante la oxidación catalítica de propeno.

En una forma de realización de la invención, se puede usar el acrilato de amonio disponible mediante la hidrólisis enzimática de acrilonitrilo para llevar a cabo el proceso de acuerdo con la presente invención (en adelante también denominado "bioacrilato").

En una forma de realización preferida de la presente invención, la elaboración de acrilato de amonio mediante hidrólisis enzimática de acrilonitrilo se lleva a cabo también en el sitio de la planta modular en una unidad modular. Las enzimas adecuadas se divulgaron en WO 97/21827 A1 y la literatura allí citada, y la publicación también describe condiciones adecuadas para realizar la reacción. La elaboración de bioacrilato se puede llevar a cabo usando reactores de tanque agitados o reactores de bucle, y en particular, también se puede usar la unidad de bioconversión reubicable descrita anteriormente.

La elaboración en el sitio de bioacrilato permite también ahorrar gastos de transporte. Aunque el ácido acrílico se puede proporcionar en el sitio de la planta modular como compuesto puro, su peso molecular es ~ 36 % más alto que el del acrilonitrilo.

Etapas [1] – Preparación de una solución acuosa de monómero

Durante la etapa [1], una solución acuosa de monómero que comprende al menos agua, acrilamida y, opcionalmente, monómeros hidrosolubles monoetilénicamente insaturados adicionales se prepara en una unidad de preparación de monómeros reubicable.

Almacenamiento de monómero

Es posible ejecutar la etapa [1] básicamente como un proceso "justo a tiempo", es decir, proporcionar los monómeros a la planta reubicable cuando se necesitan y retirarlos directamente de los recipientes de transporte. Sin embargo, para garantizar una operación ininterrumpida, se prefiere mantener al menos un poco de capacidad de almacenamiento disponible para los monómeros en la ubicación de la planta modular y reubicable.

Según la naturaleza química, se puede proporcionar a la planta cualquier monómero hidrosoluble monoetilénicamente insaturado para usarse como monómero puro o como solución acuosa. También es posible proporcionar a la planta modular una mezcla de dos o más monómeros hidrosolubles monoetilénicamente insaturados en solución acuosa o como monómeros puros.

La acrilamida y otros monómeros hidrosolubles monoetilénicamente insaturados, tales como ácido acrílico, ATBS, o DM3AQ, o mezclas de estos, se pueden almacenar, preferentemente, en unidades de almacenamiento reubicables. Los detalles de dichas unidades de almacenamiento reubicables para monómeros se han detallado anteriormente para acrilonitrilo y se hace referencia a la descripción anterior.

Los monómeros se pueden proporcionar a la planta mediante camiones cisterna, isotanques, o vagones, y se bombean en las unidades de almacenamiento reubicables.

En una forma de realización, una unidad de almacenamiento reubicable con un ciclo de control de temperatura integrado que se representa en la Figura 1, como se muestra anteriormente, se puede usar para almacenar los monómeros.

En otra forma de realización, una unidad de almacenamiento reubicable con un ciclo de control de temperatura externo y separado que se representa en la Figura 2, como se muestra anteriormente, se puede usar para almacenar los monómeros.

En general, la temperatura de los monómeros monoetilénicamente insaturados, tales como acrilamida, ácido acrílico, ATBS o DM3AQ, no debe exceder de 25 °C a 30 °C.

Los monómeros asociativos puros que se describieron anteriormente pueden ser sólidos cerosos y se pueden almacenar a temperatura ambiente. Se pueden almacenar como soluciones acuosas, por ejemplo, como soluciones acuosas que comprenden 25 % en peso del monómero asociativo. Dado que las cantidades de monómeros asociativos son significativamente más pequeñas que las cantidades de

otros monómeros monoetilénicamente insaturados, se pueden usar unidades de almacenamiento reubicables más pequeñas que las descritas anteriormente.

Los monómeros ácidos, tales como ácido acrílico o ATBS, se neutralizan a menudo parcialmente o completamente para polimerización usando bases adecuadas.

Las bases, tales como las soluciones acuosas de NaOH, se pueden almacenar también en recipientes de almacenamiento como se describió anteriormente. No es necesario un ciclo de enfriamiento. Por el contrario, en función de las condiciones climáticas, puede ser necesario un calentamiento tal como un elemento de calentamiento en el recipiente debido a que el NaOH concentrado se congela a alrededor de +15 °C.

Preparación de monómeros

La solución acuosa de monómero para la polimerización que se desea preparar durante la etapa [1] en la unidad de preparación de monómeros reubicable comprende agua y 5 % a 45 % en peso, preferentemente, 15 % a 45 % en peso de monómeros hidrosolubles monoetilénicamente insaturados, con respecto al total de todos los componentes de la solución acuosa de monómero. Los monómeros hidrosolubles monoetilénicamente insaturados comprenden al menos acrilamida, preferentemente, bioacrilamida que se elabora preferentemente en la etapa [0] también en la ubicación de la planta modular y reubicable.

La persona del oficio de nivel medio puede seleccionar la concentración monomérica de acuerdo con sus necesidades. Más adelante se proporcionan detalles sobre la selección adecuada de la concentración monomérica.

En una forma de realización de la invención, la concentración monomérica es de 8 % en peso a 24,9 % en peso, preferentemente, de 15 % en peso a 24,9 % en peso, por ejemplo, de 20 a 24,9 % en peso, con respecto al total de todos los componentes de la solución acuosa de monómero.

Para la preparación de la solución acuosa de monómero, los monómeros hidrosolubles monoetilénicamente insaturados que se desean usar se mezclan entre sí. Todos los monómeros y opcionalmente los aditivos se pueden mezclar entre sí en una sola etapa, pero también es posible mezclar algunos monómeros y agregar otros monómeros en una segunda etapa. Además, se puede agregar agua para ajustar la concentración de los monómeros. Debe tenerse en cuenta el agua usada finalmente para enjuagar líneas durante la transferencia de la solución de monómero en la unidad de polimerización, cuando se ajusta la concentración.

Se pueden agregar otros aditivos y auxiliares a la solución acuosa de

monómero.

Los ejemplos de dichos aditivos y auxiliares adicionales comprenden bases o ácidos para ajustar el valor de pH. En algunas formas de realización de la invención, el valor de pH de la solución acuosa se ajusta a valores de pH 5 a pH 7, por ejemplo, pH 6 a pH 7.

Los ejemplos de aditivos y auxiliares adicionales comprenden agentes formadores de complejos, tensioactivos removedores de espuma, o estabilizantes.

En una forma de realización, la solución acuosa de monómero comprende al menos un estabilizante para la prevención de la degradación polimérica. Los estabilizantes para la prevención de la degradación polimérica son conocidos como “barredores de radical libre”, es decir, compuestos que pueden reaccionar con radicales libres (por ejemplo, radicales libres formados por calor, luz, procesos de redox), de modo tal que dichos radicales ya no puedan atacar y por lo tanto degradar al polímero. El uso de dichos estabilizantes para estabilizar las soluciones acuosas de poliacrilamidas se conoce básicamente en el estado de la técnica, como se divulga, por ejemplo en WO 2015/158517 A1, WO 2016/131940 A1, o WO 2016/131941 A1.

Los estabilizantes se pueden seleccionar del grupo de estabilizantes no polimerizables y estabilizantes polimerizables. Los estabilizantes polimerizables comprenden un grupo monoetilénicamente insaturado y se incorporan en la cadena polimérica durante la polimerización. Los estabilizantes no polimerizables no comprenden grupos monoetilénicamente insaturados y no se incorporan en la cadena polimérica.

En una forma de realización de la invención, los estabilizantes son estabilizantes no polimerizables seleccionados del grupo de compuestos de azufre, aminas con impedimento estérico, N-óxidos, compuestos nitrosos, compuestos de hidroxilo aromáticos o cetonas.

Los ejemplos de compuestos de azufre incluyen tiourea, tioureas sustituidas, tales como N,N'-dimetiltiourea, N,N'-dietiltiourea, N,N'-difeniltiourea, tiocianatos, por ejemplo, tiocianato de amonio o tiocianato de potasio, disulfuro de tetrametiltiuram, y mercaptanos, tales como 2-mercaptobenzotiazol o 2-mercaptobencimidazol o sales de aquellos, por ejemplo, sales de sodio, dimetilditiocarbamato de sodio, 2,2'-ditiobis(benzotiazol), 4,4'-tiobis(6-t-butil-m-cresol).

Otros ejemplos incluyen diciandiamida, guanidina, cianamida, parametoxifenol, 2,6-di-t-butil-4-metilfenol, butilhidroxianisol, 8-hidroxiquinolina, 2,5-di(t-amil)-hidroquinona, 5-hidroxi-1,4-naftoquinona, 2,5-di(t-amil)hidroquinona, dimedona, 3,4,5-

trihidroxibenzoato de propilo, N-nitrosofenilhidroxilamina de amonio, 4-hidroxi-2,2,6,6-tetrametioxilpiperidina, (N-(1,3-dimetilbutil)-N'-fenil-p-fenilendiamina y 1,2,2,6,6-pentametil-4-piperidinol.

Se prefieren las aminas con impedimento estérico, tales como 1,2,2,6,6-pentametil-4-piperidinol, y los compuestos de azufre, preferentemente, los compuestos de mercapto, en especial, 2-mercaptobenzotiazol o 2-mercaptobencimidazol o las sales respectivas de aquellos, por ejemplo, sales de sodio, y se prefieren, en particular, 2-mercaptobenzotiazol o las sales de este, por ejemplo, las sales de sodio.

La cantidad de dichos estabilizantes no polimerizables, si están presentes, puede ser de 0,1 % a 2,0 % en peso, con respecto al total de todos los monómeros en la solución acuosa de monómero, preferentemente, de 0,15 % a 1,0 % en peso y, con mayor preferencia, de 0,2 % a 0,75 % en peso.

En otra forma de realización de la invención, los estabilizantes son estabilizantes polimerizables sustituidos por un grupo monoetilénicamente insaturado. Los ejemplos de estabilizantes que comprenden grupos monoetilénicamente insaturados comprenden ésteres de ácido (met)acrílico de 1,2,2,6,6-pentametil-4-piperidinol u otros grupos monoetilénicamente insaturados que comprenden grupos 1,2,2,6,6-pentametil-piperidin-4-ilo. Los ejemplos específicos de estabilizantes polimerizables adecuados se divulgan en WO 2015/024865 A1, página 22, líneas 9 a 19. En una forma de realización de la invención, el estabilizante es un éster de ácido (met)acrílico de 1,2,2,6,6-pentametil-4-piperidinol.

La cantidad de estabilizantes polimerizables, si están presentes, puede ser de 0,01 a 2 % en peso, en función de la suma total de todos los monómeros en la solución acuosa de monómero, preferentemente, de 0,02 % a 1 % en peso, con mayor preferencia, de 0,05 % a 0,5 % en peso.

En una forma de realización, la solución acuosa de monómero comprende al menos un tensioactivo no polimerizable. Se recomienda agregar dichos tensioactivos en particular cuando se usan monómeros asociativos. Los tensioactivos generan otra mejora diferente de las propiedades del producto para dicho tipo de poli(acrilamidas). Los ejemplos de tensioactivos adecuados que incluyen cantidades preferidas se divulgaron en WO 2015/158517 A1, página 19, línea 23 a página 20, línea 27. Si está presente, dicho tensioactivo no polimerizable se puede usar en una cantidad de 0,1 a 5 % en peso, por ejemplo, 0,5 a 3 % en peso, en función de la cantidad de todos los monómeros usados.

La unidad de preparación de monómeros reubicable puede ser cualquier tipo

de equipo para mezclar monómeros, siempre que sea reubicable, por ejemplo, un recipiente agitado reubicable.

En una forma de realización, una unidad de preparación de monómeros reubicable es similar a la unidad de bioconversión reubicable como se describió anteriormente. El uso mayormente del mismo equipo para almacenar acrilonitrilo u otros monómeros, para la etapa de bioconversión, y para la preparación de monómeros contribuye a un proceso económico para elaborar soluciones acuosas de acrilamida.

La unidad de preparación de monómeros reubicable comprende un recipiente de preparación de monómeros en el que se mezclan los monómeros, el agua y opcionalmente otros componentes.

El volumen del recipiente de preparación de monómeros no se limita específicamente y puede variar de 10 m^3 a 150 m^3 , por ejemplo, puede ser de alrededor de 20 a 90 m^3 . El recipiente de preparación de monómeros debe ser, preferentemente, de doble pared y debe ser horizontal. Tal construcción evita colocar una fosa para la recolección de cualquier fuga y garantiza una reubicación más simple y rápida de la unidad de reacción.

La unidad de preparación de monómeros reubicable comprende además medios para controlar la temperatura de la solución acuosa de monómero. Normalmente, la temperatura de la solución acuosa de monómero no debe ser de más de $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, por ejemplo, de $-5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+5 \text{ }^{\circ}\text{C}$. La unidad de preparación de monómeros comprende además medios para medición y control.

La unidad de preparación de monómeros reubicable comprende, para el control de la temperatura, un ciclo de control de temperatura externa que comprende una bomba que bombea el contenido acuoso del reactor del recipiente de almacenamiento a través de un intercambiador de calor y lo vuelve a bombear en el recipiente de almacenamiento, preferentemente, a través de una boquilla de inyección.

El ciclo de control de temperatura puede ser una unidad de control de temperatura separada y reubicable, que comprende una bomba y un intercambiador de calor que se conecta con el recipiente de preparación de monómeros mediante tuberías o tubos flexibles. En otra forma de realización, el ciclo de control de temperatura se puede integrar en la unidad de preparación de monómeros reubicable. Puede, por ejemplo, ubicarse en un extremo de la unidad en forma separada del recipiente de preparación de monómeros.

El recipiente de preparación de monómeros se puede equipar con un agitador

para mezclar los componentes de la solución acuosa de monómero entre sí.

Sin embargo, de la misma forma que con el biorreactor, el ciclo de control de temperatura externa se puede usar como medio de mezcla. El flujo de la mezcla de monómeros acuosa que pasa a través del ciclo de control de temperatura y que se vuelve a inyectar en el recipiente de preparación de monómeros genera una circulación de la mezcla de reacción acuosa en el recipiente de reacción que es suficiente para mezclar la mezcla de reacción acuosa.

La Figura 4 representa una forma de realización esquemática de la unidad de preparación de monómeros reubicable. La unidad de preparación de monómeros comprende un marco (20), un recipiente de preparación de monómeros de doble pared montado en el marco que comprende una pared externa (21) y una pared interna (22). En otra forma de realización, el recipiente de preparación de monómeros es autoportante, y el marco no es necesario. El recipiente de preparación de monómeros se carga con la mezcla de monómeros. La unidad de preparación de monómeros comprende además un ciclo de control de temperatura externo que comprende al menos una bomba (23) y una unidad de control de temperatura (24). La mezcla de monómeros se hace circular por medio de una bomba (23) del recipiente de almacenamiento a la unidad de control de temperatura (24) y se vuelve a inyectar en el recipiente de almacenamiento, preferentemente, a través de una boquilla de inyección (25). Los monómeros se pueden agregar directamente en el recipiente de almacenamiento o en el ciclo de control de temperatura (26), como se indica en la Figura 4. El flujo de la mezcla de monómeros que se vuelve a inyectar en el recipiente de preparación de monómeros genera una circulación de la mezcla de monómeros en el recipiente de almacenamiento que garantiza la mezcla suficiente del contenido de la mezcla de monómeros.

En otra forma de realización, se puede usar un ciclo de control de temperatura separado.

Los monómeros que se desean mezclar entre sí y con agua se mezclan preferentemente en el recipiente de preparación de monómeros, sin embargo, en otra forma de realización, es posible agregar los monómeros en el ciclo de control de temperatura. Es a menudo recomendable agregar en primer lugar agua al recipiente de preparación de monómeros y luego uno o más monómeros adicionales y/o ácidos o bases y/u otros aditivos. Si se usan monómeros ácidos tales como ácido acrílico, deberían neutralizarse antes de agregar acrilamida. En el caso de copolímeros que comprenden ácido acrílico y acrilamida, se puede agregar en primer lugar la cantidad

necesaria de agua en el recipiente, y luego NaOH, seguido de ácido acrílico y luego acrilamida.

Otros aditivos que pueden estar opcionalmente presentes, tales como agentes formadores de complejos, tensioactivos removedores de espuma o estabilizantes como se menciona anteriormente, se pueden disolver en solventes acuosos, preferentemente, agua en unidades de disolución adecuadas y las soluciones también agregadas al recipiente de preparación de monómeros.

En otra forma de realización de la invención, la unidad de bioconversión se puede usar también para la preparación de monómeros.

En una forma de realización preferida, la solución acuosa de acrilamida ya no comprende el biocatalizador. Sin embargo, en otra forma de realización, la solución de acilamida aún comprende la biomasa. En dicha forma de realización, el biocatalizador puede removerse después de preparar la solución acuosa de monómero de la misma manera descrita anteriormente, o puede no removerse. Los criterios para decidir en qué casos puede no ser necesario remover el biocatalizador ya se han mencionado anteriormente.

Después de mezclar la solución acuosa de monómero, se transfiere de la unidad de preparación de monómeros reubicable o cualquier otra unidad que sirva como recipiente de preparación de monómeros tal como la unidad de bioconversión a la unidad de polimerización. Dicha conexión para transferir la solución acuosa de monómero también se denomina en la presente en adelante "línea de alimentación de monómeros".

En una forma de realización, los monómeros asociativos se pueden agregar también al recipiente de preparación de monómeros. Sin embargo, en una forma de realización preferida, las soluciones acuosas de los monómeros asociativos, en particular, monómeros asociativos que tienen la Fórmula (III), (IV), o (V) se pueden dosificar en la línea de alimentación de monómeros.

En otra forma de realización de la invención, la unidad de polimerización reubicable se puede usar en sí misma para la preparación de monómeros. Como se detallará más adelante, la unidad de polimerización reubicable se puede conectar con una unidad de control de temperatura antes de la polimerización, de modo que la solución de monómero se pueda enfriar también en la unidad de polimerización directamente hasta antes del inicio de la polimerización. Como también se detallará más adelante, la unidad de polimerización puede comprender boquillas de inyección para nitrógeno u otros gases inertes para inertizar el contenido de la unidad de

polimerización, y dicha inyección de gases inertes mezcla también de manera eficaz el contenido de la unidad de polimerización. Además, son posibles combinaciones, por ejemplo, proporcionar un concentrado monomérico en una unidad de preparación de monómeros separada y reubicable, y diluir la solución acuosa de monómero en la unidad de polimerización reubicable con agua adicional. En otro ejemplo, los ácidos o bases, de ser necesario, no se agregan en una unidad de preparación de monómeros separada sino directamente en la unidad de polimerización.

Etapas [2] – Polimerización

Durante la etapa [2], la solución acuosa de monómero preparada en la etapa [1] se polimeriza en presencia de iniciadores adecuados para la polimerización por radicales en condiciones adiabáticas para obtener un gel acuoso de poli(acrilamida).

La persona del oficio de nivel medio denomina brevemente dicha técnica de polimerización

como “polimerización adiabática de gel”. Los reactores para la polimerización adiabática de gel no se agitan. Debido a la concentración monomérica relativamente alta, la solución acuosa de monómero usada se solidifica durante la polimerización para obtener un gel acuoso de polímero. La expresión “gel de polímero” se definió, por ejemplo, en L. Z. Rogovina et al., Polymer Science, Ser. C, 2008, Vol. 50, N.º 1, pp. 85–92.

Las personas del oficio de nivel medio entenderán que “adiabático” significa que no hay intercambio de calor con el ambiente. Esta situación ideal es normalmente difícil de lograr en ingeniería química práctica. Por lo tanto, en el contexto de esta invención, “adiabático” debe entenderse como “esencialmente adiabático”, que significa que no se proporciona al reactor calor desde el exterior durante la polimerización, es decir, no se calienta, y el reactor no se enfría durante la polimerización. Sin embargo, resultará evidente para la persona del oficio de nivel medio que, de acuerdo con la temperatura interna del reactor y la temperatura ambiente, determinadas cantidades de calor pueden ser liberadas o absorbidas a través de la pared del reactor debido a los gradientes de temperatura, pero naturalmente este efecto cumple un papel aún menor en el aumento del tamaño del reactor.

La polimerización de la solución acuosa de monómero genera calor de polimerización. Debido a las condiciones de reacción adiabática, la temperatura de la mezcla de polimerización aumenta durante la polimerización.

La polimerización se lleva a cabo en una unidad de polimerización reubicable

que tiene un volumen de 1 m^3 a 100 m^3 , en particular, 1 a 40 m^3 , preferentemente, de 5 m^3 a 40 m^3 , con mayor preferencia, 5 a 30 m^3 y, con mayor preferencia, 20 m^3 a 30 m^3 .

La unidad de polimerización transportable puede ser de forma cilíndrica o cónica.

La unidad de polimerización es, preferentemente, cilíndrica con un estrechamiento cónico en la parte inferior y una abertura inferior para remover el gel acuoso de poliacrilamida. En una forma de realización, puede haber adicionalmente una sección cilíndrica entre el extremo inferior del estrechamiento cónico y la abertura inferior. La pared interna de la unidad de polimerización transportable se puede cubrir, preferentemente, con un recubrimiento antiadhesivo. Los recubrimientos antiadhesivos son básicamente conocidos en el estado de la técnica. Los ejemplos comprenden polipropileno, polietileno, resinas epoxi y polímeros que contienen flúor, tales como politetrafluoroetileno o polímeros de perfluoroalcoxi.

Una forma de realización de una unidad de polimerización reubicable para usar en la presente invención se muestra esquemáticamente en la Figura 5, representada también en adelante en la presente como unidad de polimerización P1. La unidad de polimerización P1 reubicable comprende una parte superior cilíndrica (30) y una parte cónica (31) en su extremo inferior. En el extremo inferior, se encuentra una abertura inferior (32) que se puede abrir y cerrar. Después de la polimerización, el gel de poliacrilamida formado se remueve a través de una abertura (32). Además comprende medios (33) tales como patas o elementos similares que permiten implementar la unidad de polimerización reubicable de manera vertical. El volumen de la unidad de polimerización P1 transportable descrita en la presente puede ser de 5 m^3 a 40 m^3 , preferentemente, de 20 m^3 a 30 m^3 .

El diámetro (D) de la unidad de polimerización P1 en la sección cilíndrica puede ser en particular de 1,5 a 2,5 m, preferentemente, de 2 m a 2,5 m, y la longitud (L) de la sección cilíndrica puede ser de 4 a 6 m, preferentemente, 5 a 6 m. El ángulo en cono α en la parte cónica (ver también la Figura 4) puede ser de 15° a 90° , preferentemente, de 20° a 40° . Además de la abertura (32), la unidad de polimerización P1 reubicable comprende una o más alimentaciones para la solución acuosa de monómero, soluciones del iniciador, gases tales como nitrógeno u otros aditivos. La pared interna de la unidad de polimerización P1 transportable se puede cubrir con un recubrimiento antiadhesivo. El diámetro de la abertura inferior (32) puede ser, por ejemplo, de 0,2 a 0,8 m, en particular, de 0,4 a 0,7 m, preferentemente, de 0,5

a 0,7 m.

La unidad de polimerización P1 reubicable se opera en una posición vertical, como se representa en la Figura 5. Se puede inclinar, preferentemente, a una posición horizontal para el transporte.

Para la polimerización, la solución acuosa de monómero preparada durante la etapa [1] se carga en la unidad de polimerización reubicable, en particular, en la unidad de polimerización P1. Con ese fin, la unidad de preparación de monómeros reubicable o cualquier otra unidad que sirve como unidad de preparación de monómeros, tal como la unidad de bioconversión, se conecta con la unidad de polimerización mediante una línea de alimentación de monómeros.

En otra forma de realización, como se detalló anteriormente, la solución acuosa de monómero se puede preparar en la propia unidad de polimerización. En dicha forma de realización, la unidad de polimerización ya está cargada con una solución acuosa de monómero y ya no es necesario cargar la solución de monómero en la unidad de polimerización reubicable.

La polimerización se lleva a cabo en presencia de iniciadores adecuados para la polimerización por radicales. Los iniciadores adecuados para la polimerización por radicales, en particular, para la polimerización adiabática de gel son conocidos en el estado de la técnica.

En una forma de realización preferida, los iniciadores redox se usan para iniciar. Los iniciadores redox pueden iniciar una polimerización por radicales libres incluso a temperaturas menores de +5 °C. Los ejemplos de iniciadores redox son conocidos por la persona del oficio de nivel medio e incluyen sistemas a base de $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ - H_2O_2 , $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ - hidroperóxidos de alquilo, hidroperóxidos de alquilo - sulfito, por ejemplo, t-butil hidroperóxido - sulfito de sodio, peróxidos - tiosulfato o hidroperóxidos de alquilo - sulfinatos, por ejemplo, hidroperóxidos de alquilo/hidroximetan-sulfinatos, por ejemplo, t-butil hidroperóxido – hidroximetansulfinato de sodio.

Además, se pueden usar iniciadores azo hidrosolubles. Los iniciadores azo son, preferentemente, totalmente hidrosolubles, pero es suficiente que sean solubles en la solución de monómero en la cantidad deseada. Se pueden usar, preferentemente, los iniciadores azo que tienen 10 h $t_{1/2}$ en agua de 40 °C a 70 °C. La temperatura de semivida de 10 horas de los iniciadores azo es un parámetro conocido en el estado de la técnica. Describe la temperatura a la que, después de 10 horas en cada caso, se descompone la mitad de la cantidad de iniciador originalmente presente.

Los ejemplos de iniciadores azo adecuados que tienen una temperatura de 10 h $t_{1/2}$ de 40 a 70 °C incluyen 2,2'-azobis[2-(2-imidazolin-2-il)propan] diclorhidrato (10 h $t_{1/2}$ (agua): 44 °C), 2,2'-azobis(2-metilpropionamida) diclorhidrato (10 h $t_{1/2}$ (agua): 56 °C), 2,2'-azobis[N-(2-carboxietil)-2-metilpropionamida] hidrato (10 h $t_{1/2}$ (agua): 57 °C), 2,2'-azobis{2-[1-(2-hidroxietil)-2-imidazolin-2-il]propan} diclorhidrato (10 h $t_{1/2}$ (agua): 60 °C), 2,2'-azobis(1-imino-1-pirrolidino-2-etilpropan) diclorhidrato (10 h $t_{1/2}$ (agua): 67 °C) o azobis(isobutironitrilo) (10 h $t_{1/2}$ (tolueno): 67 °C).

En una forma de realización de la invención, se usa una combinación de al menos un iniciador redox y al menos un iniciador azo. El iniciador redox inicia la polimerización eficazmente a temperaturas por debajo de +5 °C. Cuando la mezcla de reacción se calienta, los iniciadores azo se descomponen y también inician la polimerización.

Los iniciadores se agregan, preferentemente, como soluciones acuosas a la solución acuosa de monómero. La materia prima del iniciador se puede almacenar en un contenedor de almacenamiento frío. La disolución de los iniciadores en agua se puede llevar a cabo con recipientes reubicables de preparación del iniciador adecuados. El recipiente de preparación del iniciador puede comprender un ciclo de control de temperatura. En lugar de un ciclo de control de temperatura propio, se puede usar el agua fría, por ejemplo, el agua que tiene una temperatura de menos de +5 °C para disolver los iniciadores. Los recipientes de preparación del iniciador pueden comprender además medios para mezclar, tales como un agitador. Sin embargo, la mezcla también se puede llevar a cabo haciendo burbujear el gas inerte a través de la mezcla acuosa y, así, mezclar e inertizar simultáneamente la mezcla acuosa. Las soluciones pueden filtrarse antes de su uso.

Las soluciones de iniciadores azo se pueden agregar a la línea de alimentación de monómeros mientras la solución acuosa de monómero se transfiere de la unidad de preparación de monómeros reubicable a la unidad de polimerización reubicable. En otra forma de realización, las soluciones de iniciadores azo pueden estar ya agregadas al recipiente de preparación de monómeros, siempre que la solución de monómero ya se haya enfriado a temperaturas por debajo de la temperatura ambiente, preferentemente, hasta menos de +5 °C y la temperatura 10 h $t_{1/2}$ del iniciador sea suficientemente alta de modo que el iniciador no se descomponga precipitadamente.

Las soluciones de iniciadores redox se pueden agregar a la línea de alimentación de monómeros o en la unidad de polimerización reubicable.

Antes de la polimerización, se deben remover el oxígeno del reactor y la

mezcla de reacción que se desea polimerizar. La desoxigenación se conoce también como inertización.

En una forma de realización, la inertización se lleva a cabo en la unidad de polimerización reubicable. Con ese fin, los gases inertes, tales como nitrógeno o argón, se inyectan en el reactor cargado con la solución de monómero. Las boquillas para inyectar gases inertes están ubicadas, preferentemente, en la parte inferior de la unidad de polimerización. En la unidad de polimerización P1 reubicable, pueden estar ubicadas, por ejemplo, en el estrechamiento cónico. Las burbujas de gases inertes que se elevan en el reactor eliminan el oxígeno y mezclan simultáneamente el contenido del reactor de manera muy eficaz. Las soluciones del iniciador que se dosifican en el reactor se mezclan con la solución acuosa por medio de la inyección de gas inerte.

En otra forma de realización, la inertización se puede llevar a cabo en la línea de alimentación de monómeros. Los gases inertes, tales como nitrógeno o argón, se pueden inyectar en la línea de alimentación. Con el fin de garantizar la mezcla eficaz del gas inyectado y los gases acuosos inyectados, a menudo es conveniente que la línea de alimentación de monómeros comprenda además una mezcla estática. El gas inyectado en la línea de alimentación de monómeros se puede remover antes de ingresar en el reactor por medio de una unidad de desgasificación, tal como las unidades de desgasificación descritas en WO 2003/066190 A1 o en CN 202492486 U. En otra forma de realización, no se usa una unidad de desgasificación separada, pero la solución se desgasifica después de ingresar a la unidad de polimerización. En una forma de realización, la solución de monómero ingresa al reactor por medio de una boquilla de pulverización con el fin de remover gas.

Por supuesto, es posible combinar las dos formas de realización para desgasificación, es decir, para purgar la unidad de polimerización reubicable con gases inertes y para desgasificar la mezcla de monómeros.

La polimerización por radicales comienza después de agregar las soluciones de iniciador, preferentemente, soluciones de iniciadores redox, a la solución acuosa de monómero que forma un gel acuoso de poliacrilamida. Debido al calor generado por polimerización durante la polimerización y las condiciones de reacción adiabática, la temperatura en la unidad de polimerización aumenta.

En adelante, la temperatura de la solución acuosa de monómero antes del inicio de la polimerización se debe denominar T_1 , y la temperatura del gel acuoso de polímero directamente después de la polimerización se debe denominar T_2 . Resulta evidente que $T_2 > T_1$.

En el contexto de la presente invención, la temperatura T_1 no debe exceder los 30 °C, en particular, la T_1 no debe exceder los 25 °C. Preferentemente, la T_1 no debe exceder los 10 °C, con mayor preferencia, no debe exceder +5 °C. En una forma de realización, la T_1 puede ser de -5 °C a +30 °C, por ejemplo, de -5 °C a +25 °C, preferentemente, de -5 °C a +5 °C, y con mayor preferencia, de -5 °C a +5 °C. La temperatura T_1 de la solución de monómero se puede ajustar como se divulgó anteriormente, es decir, la solución de monómero en el recipiente de preparación de monómeros ya se puede enfriar adecuadamente. Por supuesto, la unidad de control de temperatura se puede ubicar también para ajustar la T_1 en la línea de alimentación de monómeros, o la unidad de polimerización se puede conectar con una unidad de control de temperatura antes de la polimerización, de modo que la solución de monómero pueda aún estar fría en la unidad de polimerización directamente hasta antes del inicio de la polimerización.

Dado que la polimerización se lleva a cabo en condiciones adiabáticas, la temperatura T_2 alcanzada durante la polimerización no se ve influenciada por el calor o el enfriamiento externo sino que solo depende de los parámetros de polimerización seleccionados. Sin embargo, con la elección adecuada de los parámetros de polimerización, la persona del oficio de nivel medio puede ajustar la T_2 . Debido a que la reacción es adiabática, el aumento de temperatura durante la polimerización depende básicamente del calor de polimerización generado durante la polimerización, la capacidad de calor del contenido de la unidad de polimerización y la temperatura T_1 de la solución de monómero, es decir, la temperatura antes del inicio de la polimerización. Debido al alto contenido de agua de la mezcla para polimerización, la capacidad de calor de la mezcla para polimerización está sujeta a la capacidad de calor del agua y, claramente, se puede medir. El calor de polimerización por mol (o por masa) para los monómeros monoetilénicamente insaturados comunes es conocido en el estado de la técnica y por lo tanto se puede recoger de la literatura científica. Por supuesto, también puede medirse. Por lo tanto, es posible para la persona del oficio de nivel medio calcular, al menos aproximadamente, el calor de polimerización para composiciones monoméricas específicas y concentraciones monoméricas específicas. Cuanto más alta sea la concentración de los monómeros monoetilénicamente insaturados en la solución acuosa, más calor de polimerización se genera. La T_2 se puede calcular aproximadamente del parámetro mencionado anteriormente mediante la Fórmula $T_2 = T_1 + [(\text{calor de polimerización}) / (\text{capacidad de calor})]$. La temperatura T_2 debe ser de al menos 45 °C, preferentemente, al menos 50 °C, por ejemplo, de 50

°C a 100 °C, por ejemplo, de 55 °C a 95 °C. En una forma de realización de la invención, la T_1 es de -15 °C a + 5 °C, y la T_2 es de 50 °C a 95 °C.

En una forma de realización de la invención, la T_2 no excede los 70 °C, preferentemente, no excede los 65 °C. Por otro lado, no debería ser muy baja para garantizar una polimerización esencialmente completa. En algunas formas de realización de la invención, la T_2 debe ser de 45 °C a 70 °C, en particular, de 50 °C a 70 °C, preferentemente, de 50 °C a 65 °C. Por ejemplo, puede ser de 55 °C a 65 °C. En una forma de realización, la T_1 es de -15 °C a + 5 °C y la T_2 es de 50 °C a 70 °C, preferentemente, de 50 °C a 65 °C y, por ejemplo, de 55 °C a 65 °C.

Se puede lograr limitar la T_2 a temperaturas de ≤ 70 °C llevando a cabo las medidas mencionadas anteriormente. En particular, se recomienda seleccionar una concentración monomérica en la solución acuosa de polímero de 5 % en peso a 24,9 % en peso con respecto al total de todos los componentes de la solución acuosa, en particular, 8 % en peso a 24,9 % en peso y, por ejemplo, 20 % en peso a 24,9 % en peso. Además, la T_1 puede ser de -5 °C a + 5 °C.

El tiempo de polimerización puede ser de 2 a 24 h, por ejemplo, de 3 a 6 h.

Para concentraciones más bajas, también se puede seleccionar una T_1 mayor de +5 °C. Para concentraciones de alrededor de 20 % en peso, se puede seleccionar una T_1 de alrededor de +10 °C para alcanzar una T_2 en el rango de 50 °C a 65 °C. Para concentraciones de alrededor de 15 % en peso, se puede seleccionar una T_1 de alrededor +25 °C para alcanzar una T_2 en el rango de 50 °C a 65 °C.

Etapas [3] Remoción del gel acuoso de poliacrilamida

Durante la etapa [3], el gel acuoso de poliacrilamida se remueve de la unidad de polimerización reubicable. Después de la remoción de la unidad de polimerización, el gel acuoso de polímero se procesa adicionalmente mediante el desmenuzamiento y la disolución del gel acuoso de poliacrilamida en un fluido acuoso.

La remoción del gel acuoso de poliacrilamida se puede llevar a cabo básicamente mediante cualquier tipo de tecnología. Los detalles dependen del diseño específico del recipiente de polimerización y del equipo de procesamiento corriente abajo conectado.

Preferentemente, el gel acuoso de poliacrilamida se puede remover aplicando presión en el gel y presionándolo a través de una abertura en la unidad de polimerización reubicable. A modo de ejemplo, la presión se puede generar por medios mecánicos, tales como un pistón, por medio de gases, tales como aire comprimido, nitrógeno, argón, o por medio de fluidos acuosos, en particular, agua.

Preferentemente, se usan gases y/o fluidos acuosos.

Para remover el gel de poliacrilamida de la unidad de polimerización P1 reubicable preferida, la unidad de polimerización P1 reubicable se opera en posición vertical. El gel acuoso de poliacrilamida se remueve a través de la abertura (26) en la parte inferior que se abre para la remoción aplicando presión en el gel desde la parte superior del reactor. La presión se puede aplicar con el uso de gases y/o agua. Los ejemplos de gases comprenden aire presurizado, nitrógeno o argón. Básicamente, se puede usar cualquier tipo de gas, siempre que no reaccione con el gel de poliacrilamida. En otra forma de realización, la unidad de polimerización reubicable puede comprender medios mecánicos, tales como un pistón para generar presión. La persona del oficio de nivel medio puede seleccionar la presión que se desea aplicar para remover el gel. Los factores relevantes para la selección de la presión incluyen la viscosidad del gel de poliacrilamida, el ancho de la abertura inferior (26), la geometría de la unidad de polimerización o el tipo de capa antiadhesiva, si está presente. Por ejemplo, las presiones pueden variar de 110.000 Pa a 1.000.000 Pa, en particular, 150.000 Pa a 750.000 Pa, por ejemplo, 200.000 Pa a 500.000 Pa (presiones absolutas). La remoción del gel acuoso de poliacrilamida puede estar respaldada por una película de agua delgada en las paredes internas del reactor, en particular, en las paredes de la parte cónica del reactor. Dicha película de agua delgada se puede generar mediante la inyección de agua o un fluido acuoso a través de los orificios finos de la pared del reactor en el reactor, en particular, orificios en la parte cónica. Si queda algún resto del gel de polímero en la unidad de polimerización, la unidad de polimerización se puede enjuagar con agua para remover las cantidades restantes.

La abertura inferior (26) de la unidad de polimerización P1 se puede conectar con una unidad de desmenuzamiento, si está presente, o directamente con una unidad de disolución adecuada, por ejemplo, con un recipiente agitado. Dicha conexión puede ser simplemente una tubería pero también puede comprender medios para transportar el gel, tales como transportadores helicoidales o cintas transportadoras.

En otras formas de realización, el gel de poliacrilamida se puede hacer pasar por presión de gas desde el reactor de polimerización hacia una bomba. Dicha bomba puede ser útil para lograr una velocidad de alimentación constante y una presión constante para la etapa consecutiva [4] de desmenuzamiento y disolución del gel de poliacrilamida. Según la naturaleza del equipo usado para la etapa [5], puede ser difícil garantizar una velocidad de alimentación constante y una presión constante solo mediante presión de gas. En particular, una bomba puede ser de utilidad si el objetivo

es hacer pasar el gel de poliacrilamida a través de la unidad de desmenuzamiento durante la etapa [4] lo que genera un descenso significativo de presión, por ejemplo, haciendo pasar el gel de poliacrilamida a través de una placa perforada y/o haciendo pasar el gel a través de una tubería relativamente larga.

Son adecuadas todas las bombas capaces de transportar el gel de poliacrilamida, en particular, las bombas de desplazamiento positivo, tales como una bomba de tornillo sin fin o una bomba de husillo roscado.

Etapas [4] y [5] Desmenuzamiento y disolución del gel acuoso de poliacrilamida

Durante la etapa [4], el gel acuoso de poliacrilamida se desmenuza y, durante la etapa [5], se disuelve en un líquido acuoso, para obtener una solución acuosa de poliacrilamida.

El desmenuzamiento del gel acuoso de poliacrilamida antes de la disolución en un líquido acuoso es de utilidad, dado que las partículas de gel más pequeñas se disuelven con mayor rapidez en el líquido acuoso que las partículas de gel más grandes. Se debe tener en cuenta que la remoción del gel acuoso de poliacrilamida de la unidad de polimerización (es decir, la etapa [3]) puede generar alguna desintegración del gel en piezas de gel más pequeñas.

Las etapas [4] y [5] pueden ser etapas separadas a llevarse a cabo consecutivamente, o las etapas se pueden combinar entre sí. En otras formas de realización, una parte del gel de poliacrilamida puede ya estar disuelta durante la etapa [4] pero la disolución ocurre mayormente en una etapa consecutiva [5].

Como se describirá más adelante, la etapa [4] puede comprender agregar alguna cantidad de líquido acuoso, preferentemente, agua, al gel acuoso de poliacrilamida, y una determinada cantidad del gel acuoso de poliacrilamida puede ya disolverse durante la etapa [4], para obtener piezas de gel acuoso de poliacrilamida suspendidas en una solución acuosa de poliacrilamida.

El líquido acuoso usado para disolver el gel acuoso de poliacrilamida comprende agua. El término “agua” incluye cualquier tipo de agua tal como agua desalinizada, agua dulce o agua que comprende sales, tales como salmueras, agua de mar, agua de formación, agua producida o mezclas de estas. Además del agua, el líquido acuoso puede comprender solventes orgánicos miscibles con agua, sin embargo, la cantidad de agua con respecto al total de todos los solventes debe ser de al menos 70 % en peso, preferentemente, al menos 90 % en peso, con mayor preferencia, al menos 95 % en peso. En una forma de realización preferida, el líquido acuoso comprende solo agua como solvente. Además, el líquido acuoso también

puede comprender opcionalmente aditivos, tales como tensioactivos, agentes formadores de complejos, bases, ácidos y similares. Se puede seleccionar el tipo y la cantidad de dichos aditivos de acuerdo con el uso previsto de la solución acuosa de poliacrilamida. Por supuesto, los aditivos pueden agregarse en una etapa posterior, por ejemplo, después de completar la disolución del gel acuoso de poliacrilamida.

La persona del oficio de nivel medio puede seleccionar la concentración de la solución acuosa de poliacrilamida que se desea obtener durante la etapa [5] de acuerdo con el uso previsto de la solución. La expresión “solución acuosa” no debe estar limitada a la dilución de soluciones acuosas sino que también debe abarcar concentrados. Resulta evidente que la concentración de poliacrilamida de una solución acuosa obtenida después de llevar a cabo la etapa [5] es necesariamente más baja que la concentración del gel acuoso de poliacrilamida antes de llevar a cabo la etapa [5]. Las soluciones más concentradas pueden requerir, en función de las viscosidades de dichas soluciones, presión, por ejemplo, presión creada por bombas para el transporte en bombas. Las viscosidades de las soluciones de poliacrilamida dependen, por principio, de diversos factores, tales como composición química, composición química del solvente acuoso, peso molecular, temperatura, valor de pH o concentración.

En particular, las concentraciones de las soluciones acuosas de poliacrilamida pueden ser de hasta 14,9 % en peso, por ejemplo de 0,01 a 14,9 % en peso, preferentemente, de 0,01 a 7 % en peso.

Generalmente, la concentración de la solución acuosa de poliacrilamida diluida puede ser de hasta 2 % en peso, por ejemplo, de 0,01 a 2 %, adecuadamente, de 0,05 a 1,5 %, con frecuencia, 0,1 % a 1 %.

Los concentrados acuosos de poliacrilamida pueden tener una concentración de 2,1 a 14,9 % en peso, en particular, de 2,1 % a 7 % en peso, por ejemplo, de 3,1 % a 6 % en peso. Resulta evidente que la obtención de un concentrado de 14,9 % en peso requiere que la concentración del gel de poliacrilamida usado como material de inicio para la etapa 5 sea mayor de 14,9 % en peso.

Etapas [4] Desmenuzamiento del gel acuoso de poliacrilamida

Durante la etapa [4], el gel acuoso de poliacrilamida se desmenuza haciendo pasar el gel acuoso de poliacrilamida a través de al menos una unidad de desmenuzamiento reubicable, para obtener piezas de gel acuoso de poliacrilamida.

La unidad de desmenuzamiento reubicable puede ser una unidad de desmenuzamiento reubicable separada. En otra forma de realización, la unidad de

desmenuzamiento se puede fijar a la unidad de polimerización reubicable, de modo que la unidad de polimerización reubicable y la unidad de desmenuzamiento sean una unidad reubicable. Dicha unidad es reubicable en su totalidad.

El tamaño de partículas de las piezas del gel acuoso de poliacrilamida obtenidas durante la etapa [4] no está específicamente limitado. En una forma de realización de la invención, las partículas de gel acuoso de poliacrilamida deben tener convenientemente un tamaño tal que al menos dos dimensiones sean de no más de 1 cm, preferentemente, no más de 0,5 cm. Preferentemente, tres dimensiones de las piezas del gel acuoso de poliacrilamida no deben ser de más de 1 cm, preferentemente, de no más de 0,5 cm. No existe un límite inferior necesario para las piezas del gel acuoso de poliacrilamida, dado que cuanto más pequeñas sean las piezas, más fácilmente se disolverá el polímero. Con frecuencia, las piezas del gel acuoso de poliacrilamida pueden tener un tamaño tal que las tres dimensiones sean de tan solo 0,1 cm. A menudo, las piezas del gel acuoso de poliacrilamida suelen tener tres dimensiones cada una de 0,1 cm a 0,5 cm.

Básicamente, cualquier tipo de desmenuzamiento se puede usar para desintegrar el gel acuoso de poliacrilamida en partículas más pequeñas. Los ejemplos de medios adecuados para desmenuzar geles acuosos de poliacrilamida incluyen dispositivos de corte, tales como cuchillas o placas perforadas, trituradoras, amasadoras, mezcladores estáticos o chorros de agua.

En otras formas de realización, la unidad de desmenuzamiento reubicable puede no estar conectada directamente con la unidad de polimerización sino que puede estar alejada de esta, y el gel acuoso de poliacrilamida se transporta a la unidad de desmenuzamiento, por ejemplo, mediante transportadores helicoidales o cintas transportadoras.

Cuando se usa la unidad de polimerización P1, preferentemente, la abertura inferior (32) puede estar conectada con la unidad de desmenuzamiento, ya sea en forma directa o con una bomba, como se detalló anteriormente, en el medio.

La Figura 6 muestra esquemáticamente dicha forma de realización. El gel acuoso de poliacrilamida (35) en la unidad de polimerización ingresa a través de la abertura inferior (32) a una bomba (38). La bomba transporta el gel acuoso de poliacrilamida a una unidad de desmenuzamiento (34), y el gel desmenuzado de poliacrilamida (36) sale de la unidad de desmenuzamiento para un procesamiento adicional.

Dispositivo de corte estático

En una forma de realización de la invención, el gel acuoso de poliacrilamida se hace pasar a través de un dispositivo de corte estático, tal como cuchillas o rejillas de metal, para obtener partículas de gel más pequeñas. Preferentemente, un dispositivo de corte estático puede ubicarse directamente debajo de la abertura inferior (32). En otras formas de realización, una bomba que se describió anteriormente puede transportar el gel de poliacrilamida a un dispositivo de corte estático que se encuentra a mayor distancia. Los dispositivos de corte estáticos adecuados comprenden placas perforadas o rejillas de metal, tal como se divulga, por ejemplo, en US 4.605.689. En una forma de realización, el gel acuoso se hace pasar a través del dispositivo de corte estático o hacia la conexión entre la bomba y el dispositivo de corte estático junto con un líquido acuoso, preferentemente, agua, como se describió anteriormente, para obtener una mezcla de partículas de un gel acuoso de poliacrilamida en un líquido acuoso. El líquido acuoso se dosifica en la conexión entre la abertura inferior (32) y el dispositivo de corte estático, es decir, antes de que el gel ingrese en el dispositivo de corte estático. Preferentemente, en esta etapa no se agrega la totalidad del líquido acuoso necesario para disolver completamente el gel de poliacrilamida y para alcanzar la concentración deseada, sino solo una porción de este. De manera sorprendente, 1 % de la cantidad total del líquido acuoso ya mejora significativamente el pasaje del gel acuoso de poliacrilamida a través del dispositivo de corte estático. Resulta evidente que alguna porción del gel de poliacrilamida puede disolverse en el líquido acuoso, para obtener una mezcla de un gel acuoso de poliacrilamida en una solución de poliacrilamida diluida. La mezcla que comprende piezas de gel acuoso de poliacrilamida en un líquido acuoso / una solución de acrilamida diluida se hace pasar a la unidad de disolución, por ejemplo, a través de una tubería.

Placa perforada

En otra forma de realización de la invención, la unidad de desmenuzamiento reubicable comprende una placa perforada, y el gel acuoso de poliacrilamida se hace pasar a través de dicha placa perforada. Se pueden usar una extrusora, un transportador helicoidal o una bomba para generar la presión necesaria para el pasaje por la placa perforada. Cuando pasa a través de las placas perforadas, se forman varias tiras separadas de gel acuoso de acrilamida. Se pueden cortar mediante una cuchilla giratoria, o se pueden purgar por medio de un chorro de agua y hacer pasar a la unidad de disolución.

Mezclador estático

En otra forma de realización de la invención, el gel acuoso de poliacrilamida se

hace pasar junto con un líquido acuoso a través de un mezclador estático, para obtener una mezcla de partículas de un gel acuoso de poliacrilamida en un líquido acuoso. Puede usarse, por supuesto, una pluralidad de mezcladores estáticos. El líquido acuoso se dosifica en la conexión entre la abertura inferior (26) y el mezclador estático, o en la conexión entre la bomba y el mezclador estático, es decir, antes de que el gel ingrese al mezclador estático. En una forma de realización, en esta etapa no se agrega la totalidad de líquido acuoso necesario para disolver completamente el gel de poliacrilamida y para alcanzar la concentración deseada, sino solo una porción de este. Resulta evidente que alguna porción del gel de poliacrilamida puede disolverse en el líquido acuoso, es decir, la mezcla puede ser también una mezcla de un gel acuoso de poliacrilamida en una solución de poliacrilamida diluida. La mezcla que comprende piezas de gel acuoso de poliacrilamida en un líquido acuoso / una solución de acrilamida diluida se hace pasar a la unidad de disolución, por ejemplo, a través de una tubería.

Corte por chorro de agua

En una forma de realización preferida de la invención, el gel acuoso de poliacrilamida se corta en piezas de gel acuoso de poliacrilamida por medio de una unidad de corte por chorro de agua. La unidad de corte por chorro de agua corta el gel acuoso de poliacrilamida por medio de al menos un chorro de agua a una presión de al menos $150 \cdot 10^5$ Pa, para obtener una mezcla de partículas de un gel acuoso de poliacrilamida en un líquido acuoso. Por supuesto, una parte del gel acuoso de poliacrilamida se puede ya disolver en el líquido acuoso durante el corte por chorro de agua.

Preferentemente, la sección de pared circundante de la unidad de corte por chorro de agua es una sección tubular, una sección cónica o una combinación de secciones tubular y cónica. El gel acuoso de poliacrilamida luego puede ingresar en la unidad de corte por chorro de agua desde un extremo, pasar por la etapa de corte para reducir el tamaño del gel acuoso de poliacrilamida y, de manera conveniente, las piezas de gel acuoso de poliacrilamida así formadas se deberían retirar por la salida. De manera conveniente, el líquido acuoso de la etapa de corte también se debería retirar por la salida. De este modo, se puede formar en la etapa de corte una mezcla de piezas de gel acuoso de poliacrilamida y agua que comprende opcionalmente gel de polímero disuelto.

La sección de pared circundante de la unidad de corte por chorro de agua puede estar en cualquier orientación adecuada. No obstante, se prefiere que la

sección de pared circundante sea sustancialmente vertical, con la entrada en el extremo superior y la salida en el extremo inferior. Preferentemente, el extremo superior puede estar conectado directamente con la abertura inferior (3) de la unidad de polimerización a través de medios adecuados.

El pasaje del gel acuoso de poliacrilamida puede ser únicamente por gravedad o se puede alimentar en la unidad de corte por chorro de agua bajo presión, por ejemplo, mediante bombeo, alimentación mecánica, presión de gas o mediante la acción de vacío. Preferentemente, el gel acuoso de poliacrilamida se alimenta en la unidad de corte por chorro de agua por medio de presión de gas o agua ejercida en el contenido de la unidad de polimerización P1 que forma el gel acuoso de poliacrilamida. De manera alternativa o adicional, el gel acuoso de poliacrilamida se alimenta en la unidad de corte por chorro de agua por medio de transportadores mecánicos, tales como espirales.

El al menos un chorro de agua tiene una presión de al menos $150 \cdot 10^5$ Pa. La presión puede ser considerablemente más alta que esta, por ejemplo, de hasta $10.000 \cdot 10^5$ Pa. Sin embargo, normalmente no es necesario que la presión sea tan alta, y presiones más bajas, por ejemplo, no mayores de $7500 \cdot 10^5$, suelen ser adecuadas. En una forma de realización de la invención, la presión de chorro de agua en la unidad de corte es de $150 \cdot 10^5$ Pa a $5000 \cdot 10^5$ Pa, preferentemente, de $200 \cdot 10^5$ Pa a $2000 \cdot 10^5$ Pa, con mayor preferencia, de $250 \cdot 10^5$ Pa a $1000 \cdot 10^5$ Pa.

Habitualmente, el chorro de agua fluiría de una boquilla que tiene un orificio de boquilla de diámetro adecuado. El término “boquilla” significa un dispositivo que está diseñado para controlar la dirección o las características de un flujo líquido, que incluye aumentar la velocidad, a medida que sale. En general, el diámetro de orificio de boquilla debería ser de 0,1 mm a 3,00 mm, por ejemplo, de 0,25 mm a 2,00, o de 0,25 mm a 1,00 mm, adecuadamente, de 0,30 mm a 0,90 mm, convenientemente, de 0,40 mm a 0,80 mm. Puede ser conveniente usar una multiplicidad de boquillas en un cabezal donde cada boquilla suministra un flujo de líquido acuoso a las presiones mencionadas anteriormente de al menos $150 \cdot 10^5$ Pa. Cuando se usa una multiplicidad de boquillas en un cabezal, la cantidad de boquillas puede ser al menos 2, por ejemplo, de 2 a 10 boquillas. Las boquillas se pueden disponer en un plano o en planos y ángulos diferentes. Las boquillas se pueden disponer de modo tal, por ejemplo, sobre una superficie convexa del cabezal, que la multiplicidad de flujos se irradia en distintos ejes. La multiplicidad de boquillas se puede disponer de modo que los flujos de líquido acuoso formen una matriz en la que cada uno se dirija en distintas

direcciones.

La al menos una boquilla puede rotar u oscilar.

En una forma de realización, la al menos una boquilla oscila. Esta oscilación de la boquilla puede producir un patrón de barrido del flujo de agua en forma de ventilador. En esta forma de realización, puede ser particularmente importante usar una multiplicidad de boquillas que pueden oscilar. En general, la cantidad de boquillas puede ser de 2 a 8, preferentemente, de 2 a 6. También puede ser conveniente que una multiplicidad de boquillas se disponga en al menos un cabezal, en donde cada cabezal contiene de 2 a 10 boquillas. Puede ser conveniente que se use la multiplicidad de cabezales, por ejemplo, de 2 a 10 cabezales, en donde cada cabezal contiene la multiplicidad de boquillas. En este caso, cada uno de los cabezales puede oscilar por separado.

Cada una de esta multiplicidad de boquillas o multiplicidad de cabezales se puede ubicar en forma circunferencial con respecto al gel acuoso de poliacrilamida, de modo que los flujos de agua se extiendan hacia adentro. La multiplicidad de boquillas y/o multiplicidad de cabezales se puede ubicar en forma pareja, de modo que la distancia entre todas las boquillas adyacentes sea igual. De manera alternativa, pueden no estar separadas en forma pareja.

Por lo tanto, cuando la multiplicidad de boquillas o multiplicidad de cabezales se dispone en forma circunferencial, el gel acuoso de poliacrilamida pasaría entonces dentro de las boquillas ubicadas en forma circunferencial y sería cortado mediante la multiplicidad de flujos de líquido acuoso. Al menos una boquilla oscilante o cabezal se puede mover mediante un mecanismo accionador adecuado.

Cada boquilla oscilante puede tener un barrido de hasta 180°. En general, el barrido puede ser de 30° a 180°, por ejemplo, de 35° a 75°. Con frecuencia, el rango exacto del barrido dependerá de la cantidad exacta de boquillas utilizadas. La frecuencia de oscilación debe ser, por ejemplo, de hasta 50 s⁻¹ (ciclos por segundo), en general de 0,5 s⁻¹ a 50 s⁻¹.

Cuando la al menos una boquilla, por ejemplo, una multiplicidad de boquillas, o al menos un cabezal, por ejemplo, una multiplicidad de cabezales, se dispone en forma circunferencial con respecto al gel acuoso de poliacrilamida, cada una de al menos una boquilla o al menos un cabezal puede rotar en forma circunferencial alrededor del gel acuoso de poliacrilamida. Cuando al menos una boquilla o al menos un cabezal dispuestos en forma circunferencial rotan, puede ser conveniente que cada boquilla o cada cabezal oscile de manera independiente como se indicó anteriormente.

De manera alternativa, puede ser conveniente que, cuando al menos una boquilla o al menos un cabezal dispuestos en forma circunferencial rotan, no puedan oscilar. La rotación de al menos una boquilla o al menos un cabezal se puede lograr mediante un mecanismo de accionamiento adecuado.

En otra forma de realización preferida de la invención, al menos una boquilla rota, y el flujo de líquido acuoso generado forma un patrón de barrido circular. Al menos una boquilla puede tener una multiplicidad de boquillas contenidas en al menos un cabezal. Al menos una boquilla giratoria puede rotar por acción de un mecanismo de impulso motorizado adecuado.

Puede ser conveniente usar más de una boquilla giratoria, por ejemplo, una multiplicidad de boquillas contenidas en al menos un cabezal. Sin embargo, suele ser necesario únicamente usar una boquilla giratoria o, cuando se usa más de una boquilla, la multiplicidad de boquillas se dispone en un cabezal.

En una forma de realización de la invención, la al menos una boquilla giratoria o al menos un cabezal se monta en el centro, y el flujo de líquido acuoso se extiende sustancialmente perpendicular al eje de la dirección del gel acuoso de poliacrilamida entrante. En esta forma, el patrón de barrido del flujo de líquido acuoso tiene forma de disco. En una adaptación de este aspecto preferido, la boquilla o el cabezal giratorios que se montan en el centro, pueden generar al menos un flujo de líquido que no es perpendicular a la dirección del gel acuoso de poliacrilamida entrante, sino que se inclina de modo que el al menos un patrón de barrido del flujo de líquido acuoso sea en forma de cono, por ejemplo, un cono vertical en donde el al menos un flujo de líquido acuoso se incline hacia abajo, o un cono invertido en donde el al menos un flujo de líquido acuoso se incline hacia arriba. Cuando el al menos un flujo de líquido acuoso se inclina hacia arriba o hacia abajo, se prefiere que el ángulo no sea de más de 50° hacia arriba o hacia abajo de la posición que es perpendicular a la dirección del gel acuoso de poliacrilamida entrante. Preferentemente, este ángulo debería ser de 5° a 45°, con mayor preferencia, de 10° a 35°, en particular, de 15° a 25°.

En otra forma de realización de la invención, la al menos una boquilla giratoria o el al menos un cabezal giratorio no se monta en el centro, sino descentrado. Por ejemplo, cuando la etapa de corte está contenida en una sección de pared circundante, la boquilla giratoria se puede ubicar en la pared de la sección de pared circundante o cerca de esta. En general, la boquilla o el cabezal se orientaría de modo que genere al menos un patrón de barrido excéntrico del flujo acuoso.

La boquilla giratoria o el cabezal giratorio puede rotar a una frecuencia de hasta

3000 rpm (revoluciones por minuto (es decir, 50 s^{-1} o ciclos por segundo). La persona del oficio de nivel medio puede seleccionar la frecuencia rotacional. Una frecuencia rotacional más alta, por ejemplo, una frecuencia rotacional de 500 rpm a 3000 rpm, puede despedazar el gel acuoso de poliacrilamida en partes más pequeñas, mientras que la frecuencia rotacional más baja, por ejemplo, de 10 rpm a menos de 500 rpm, preferentemente, de 20 rpm a 200 rpm corta el gel acuoso de poliacrilamida de manera más adecuada.

Convenientemente, la unidad de corte por chorro de agua dividirá el gel acuoso de poliacrilamida en numerosas piezas más pequeñas. Las piezas de gel acuoso de poliacrilamida deberían tener, de manera conveniente, un tamaño tal que al menos dos dimensiones sean de no más de 2 cm, preferentemente, no más de 1 cm, con mayor preferencia, no más de 0,5 cm. Preferentemente, tres dimensiones de las piezas de gel acuoso de poliacrilamida deberían ser de no más de 2 cm, preferentemente, no más de 1 cm, preferentemente, no más de 0,5 cm. No existe ningún límite inferior necesario para las piezas de gel acuoso de poliacrilamida, ya que cuanto más pequeñas sean las piezas, más fácil será que el polímero se disuelva. En una forma de realización, las piezas de gel acuoso de poliacrilamida tienen tres dimensiones cada una de 0,1 a 1,5 cm.

La unidad de corte por chorro de agua también puede comprender una bandeja de tamiz debajo de al menos un flujo de líquido acuoso. Esto tiene como fin evitar que los grumos de gel acuoso de poliacrilamida demasiado grandes pasen a la siguiente etapa. La bandeja de tamiz debería tener aberturas de un tamaño correspondiente al tamaño máximo de piezas de gel acuoso de poliacrilamida que deberían poder pasar a la siguiente etapa. De manera adecuada, la bandeja de tamiz puede ser una malla formada por una pluralidad de alambres o barras entrecruzados. De manera alternativa, la bandeja de tamiz se puede formar como una superficie con una pluralidad de orificios allí recortados, por ejemplo, similar a un colador. En general, la bandeja de tamiz debe ser un dispositivo estático. Se debería extender para cubrir el área total debajo del cual se lleva a cabo el corte del gel acuoso de poliacrilamida. Preferentemente, la bandeja de tamiz puede estar sujeta a la sección de pared circundante.

En formas de realización de la presente invención, flujos adicionales de líquido acuoso se dirigen a la superficie de la bandeja de tamiz a fin de facilitar la reducción de tamaño de los grumos de gel acuoso de poliacrilamida demasiado grandes capturados por la bandeja. Puede ser conveniente usar uno o más flujos de líquido

acuoso de alta presión, por ejemplo, de al menos $150 \cdot 10^5$ Pa, a fin de facilitar el corte de los grumos de gel acuoso de poliacrilamida demasiado grandes de modo que el gel acuoso de poliacrilamida se corte en piezas lo suficientemente pequeñas para pasar.

Convenientemente, se proporciona una cortina de líquido acuoso dentro de la sección de pared circundante. Esta cortina de líquido acuoso puede ayudar a evitar que el gel acuoso de poliacrilamida se adhiera a la pared de la sección de pared circundante y reducir la fricción del polímero en movimiento, y así reducir la presión estática necesaria o evitar medios mecánicos adicionales para mover el polímero hacia el área de corte. Esta cortina de líquido acuoso se puede producir proporcionando un suministro secundario de líquido acuoso. En general, la presión del líquido acuoso debería ser menor de 30 bar, por ejemplo, de 3 bar a 20 bar, convenientemente, de 5 bar a 10 bar. El agua se puede alimentar a una red en anillo, en forma de ánulo, y se puede montar en el interior de la sección de pared circundante. A fin de ser más eficaz, la red en anillo o ánulo se debería montar en la parte superior de la sección de pared circundante, o cerca de esta, para que la cortina de agua proporcione máxima protección. Convenientemente, el líquido acuoso fluye desde la red en anillo o ánulo a lo largo de la superficie interna de la pared de la sección de pared circundante como una cortina.

Las Figuras 7 a 10 representan esquemáticamente varias formas de realización de una unidad de corte por chorro de agua para usar en la presente invención.

La Figura 7 ilustra esquemáticamente una unidad de corte por chorro de agua para cortar el gel acuoso de poliacrilamida. El dispositivo comprende una sección de pared circundante (101), en este caso, una pared tubular, que rodea una boquilla montada en el centro (102) que rota y es accionada por un motor (103) o propulsada por el líquido acuoso que fluye, que forma el flujo. La boquilla es apoyada sobre una montura fija (104). Un flujo de alta presión de líquido acuoso (105) se expulsa en forma perpendicular al eje del dispositivo y rota a medida que rota la boquilla. El flujo de líquido acuoso forma un patrón de discos circulares a medida que rota la boquilla. La boquilla se alimenta de una línea de alimentación de líquido acuoso (106) suministrada por una fuente de líquido acuoso de alta presión (107). Una bandeja de tamiz (108) se ubica debajo del flujo de agua y evita que pasen grumos de polímero demasiado grandes. Una fuente secundaria de líquido acuoso (109) de baja presión se alimenta en una red en anillo (110), en forma de ánulo, ubicada en el extremo superior de la pared tubular. El líquido acuoso fluye hacia afuera del anillo para formar una cortina de agua (111), que evita que el gel acuoso de poliacrilamida se adhiera a la pared tubular.

El gel acuoso de poliacrilamida (113) ingresa en la pared tubular desde la parte superior y pasa hacia abajo del dispositivo, donde se corta por el flujo de agua de alta presión para formar piezas de gel acuoso de poliacrilamida cortadas que son lo suficientemente pequeñas como para pasar a través de la bandeja de tamiz, y luego las piezas de gel acuoso de poliacrilamida cortadas (114) salen de la parte inferior del dispositivo.

La Figura 8 ilustra un dispositivo análogo al dispositivo de la Figura 7 excepto que la boquilla (102) proporciona un flujo de agua de alta presión que se inclina hacia abajo (105A) para formar un patrón cónico a medida que rota la boquilla. La bandeja de tamiz tiene forma de cono vertical (108A). Todas las demás características son como en el caso de la Figura 7.

La Figura 9 ilustra un dispositivo análogo al dispositivo de la Figura 7 excepto que la boquilla (102) proporciona un flujo de agua de alta presión que se inclina hacia arriba (105B) para formar un patrón cónico a medida que rota la boquilla. La bandeja de tamiz tiene forma de cono invertido (108B). Todas las demás características son como en el caso de la Figura 7.

La Figura 10 ilustra un dispositivo análogo al dispositivo de la Figura 7 excepto que la boquilla (102) se ubica descentrada para proporcionar un patrón de barrido excéntrico del flujo de agua de alta presión (105). Todas las demás características son como en el caso de la Figura 7.

Combinaciones

Los métodos descritos para desmenuzar el gel acuoso de poliacrilamida también se pueden combinar entre sí.

En una forma de realización de la invención, la unidad de desmenuzamiento reubicable comprende al menos un dispositivo de corte por chorro de agua y un miembro de corte estático. Al menos un miembro de corte estático puede ser, por ejemplo, uno o más cuchillos, cuchillas, alambres de corte o cualquier combinación de estos. En una forma, al menos un miembro de corte puede consistir en una multiplicidad de cuchillos o cuchillas montadas sobre la pared de la sección tubular en forma circunferencial donde los cuchillos o cuchillas se extienden hacia adentro. En otra forma, al menos un miembro de corte puede ser cuchillos o cuchillas montadas de una posición central donde los cuchillos o cuchillas se extienden en forma radial. En otra forma, al menos un miembro de corte puede ser una red de cuchillos, cuchillas o alambres de corte. En general, el miembro de corte estático, si se usa, se debe extender sobre el corte transversal total de la sección de pared circundante.

Adecuadamente, el gel acuoso de poliacrilamida se puede cortar al entrar en contacto con al menos un miembro de corte estático antes de entrar en contacto con al menos un flujo de líquido acuoso.

La Figura 11 ilustra esquemáticamente una unidad de corte por chorro de agua combinada con medios de corte estáticos. El dispositivo comprende una sección de pared circundante (101), en este caso, una pared tubular, en la que ingresa el gel acuoso de poliacrilamida (113) desde la parte superior. Inicialmente, una red de cuchillas (112) corta el polímero hidratado en tiras a medida que desciende. Los flujos de agua de alta presión (105) se expulsan de boquillas (102) que se ubican en forma circunferencial. Cada una de las boquillas oscila de manera lateral para generar, cada una, un patrón de barrido del flujo de agua (115) en forma de ventilador que corta las cadenas de polímero a medida que descienden. La oscilación de las boquillas es impulsada por un accionador (no se muestra) en cada caso. Las piezas de poliacrilamida acuosa (114) salen a través de la parte inferior del dispositivo.

En otra forma de realización, el corte por chorro de agua se puede combinar con mezcla estática. Con ese fin, la mezcla acuosa que comprende piezas de gel de poliacrilamida que salen de la unidad de corte por chorro de agua se hace pasar a través de al menos un mezclador estático. Se puede agregar líquido acuoso adicional a la mezcla, antes de que entre en el al menos un mezclador estático.

En otra forma de realización, el corte por chorro de agua se combina con ambos, un medio de corte estático y un mezclador estático. La combinación con medios de corte estáticos ya se describió anteriormente. A continuación, la mezcla acuosa que comprende piezas de gel de poliacrilamida que salen de la unidad de desmenuzamiento que comprende una etapa de corte por chorro de agua y una etapa de corte estático se hace pasar a través de al menos un mezclador estático. Se puede agregar líquido acuoso adicional a la mezcla, antes de que entre en el al menos un mezclador estático.

En una forma de realización, el desmenuzamiento del gel acuoso de poliacrilamida se lleva a cabo mediante al menos un medio seleccionado de chorros de agua giratorios, cuchillas giratorias y/o una placa perforada. Preferentemente, se puede usar una combinación de al menos una placa perforada y chorros de agua giratorios o al menos una placa perforada y cuchillas giratorias.

En otras formas de realización, la unidad de desmenuzamiento comprende una combinación de corte por chorro de agua y una placa perforada. La placa perforada comprende orificios. La forma de los orificios no está específicamente limitada. Los

ejemplos comprenden orificios circulares, orificios elipsoidales, orificios triangulares, orificios cuadrangulares, tales como orificios cuadráticos, rectangulares o rómbicos, orificios pentagonales, orificios hexagonales u orificios con forma de estrella, pero también orificios longitudinales, tales como ranuras. Los orificios pueden ser orificios cilíndricos, pero también pueden ser cónicos.

Las dimensiones de los orificios no están específicamente limitadas. Sin embargo, preferentemente, al menos una dimensión de los orificios debería ser de 0,5 a 5 mm. En una forma de realización de la invención, la placa perforada comprende orificios circulares que tienen un diámetro de 0,5 a 5 mm, por ejemplo, de 1 mm a 3 mm.

La poliacrilamida acuosa se hace pasar de la unidad de polimerización a través de la placa perforada. Una o más boquillas giratorias para chorros de agua están montadas por encima o por debajo de la placa perforada.

Una forma de realización de dicha combinación se muestra esquemáticamente en la Figura 12. La Figura 12 muestra esquemáticamente una unidad de polimerización que tiene una parte cilíndrica superior (120), una parte cónica inferior (121) y una abertura inferior (125) que se puede abrir y cerrar. En la forma de realización mostrada, la unidad de polimerización está conectada directamente con una unidad de desmenuzamiento que comprende una placa perforada. En otras formas de realización, una bomba como se describió anteriormente se puede usar para transportar el gel acuoso de poliacrilamida de la abertura inferior (121) a la unidad de desmenuzamiento. Una boquilla giratoria para chorros de agua está montada por debajo de la placa perforada. El gel acuoso de poliacrilamida se remueve de la unidad de polimerización abriendo la abertura inferior (125) y aplicando presión sobre la superficie superior del gel acuoso de poliacrilamida. El gel de poliacrilamida se hace pasar a través de la abertura inferior abierta y la placa perforada. En otras formas de realización, el gel de poliacrilamida se hace pasar a través de la abertura inferior abierta a una bomba como se describió anteriormente y de la bomba se hace pasar a través de la placa perforada. La placa perforada genera tiras de gel acuoso de poliacrilamida ("espaguetis") que son cortadas en pequeñas piezas por los chorros de agua.

La Figura 13 muestra una forma de realización similar excepto que se montan dos boquillas en lugar de una, debajo de la placa perforada. Por supuesto, también se pueden usar más de dos boquillas, por ejemplo, 4 boquillas.

Las Figuras 14 y 15 muestran formas de realización similares en las que las

boquillas para chorros de agua se montan por encima, y no por debajo, de la placa perforada.

La Figura 16 muestra una forma de realización alternativa que comprende una cuchilla giratoria montada por debajo de la placa perforada para cortar. Su función es la misma que se detalló anteriormente (Figuras 12 y 13), excepto que se usa una cuchilla mecánica en lugar de chorros de agua para cortar las tiras de gel de poliacrilamida. En esta forma de realización, se agrega agua (127) en el espacio de corte debajo de la placa perforada. El agua se puede agregar a través de una o más entradas de agua. La cantidad de agua en el espacio de corte puede ya ser de hasta 50 % en peso de la cantidad total de agua que se necesita para disolver el gel acuoso de poliacrilamida, por ejemplo, de 5 % a 25 % en peso.

Etapas [5] Disolución

La disolución de las piezas de gel acuoso de poliacrilamida generadas durante la etapa [4] en un líquido acuoso se lleva a cabo en una unidad de disolución reubicable. Básicamente, se puede usar cualquier tipo de unidad de disolución reubicable.

Los ejemplos de unidades de disolución reubicables adecuadas comprenden recipientes agitados. Una unidad de disolución puede solo comprender un recipiente o puede comprender más de un recipiente que se puede operar en serie o en paralelo. La mezcla también se puede obtener dejando fluir los contenidos del recipiente de disolución a través de un conducto y luego haciéndolos recircular hacia el recipiente de mezcla. Otros ejemplos comprenden unidades de disolución reubicables que comprenden una combinación de mezcladores estáticos con recipientes sin agitación o dispersión en línea, tales como unidades rotor-estator.

Los recipientes sin agitación o los recipientes sin agitación en combinación con otros equipos tales como mezcladores estáticos son útiles, en particular, cuando la concentración deseada de la solución de poliacrilamida es mayor, por ejemplo, cuando la solución acuosa de poliacrilamida es un concentrado como se indicó anteriormente, por ejemplo, un concentrado que tiene una concentración de 3,1 % a 6 % en peso. La disolución se puede llevar a cabo haciendo pasar el gel acuoso de poliacrilamida desmenuzado a través de un mezclador estático o una pluralidad de mezcladores estáticos junto con suficiente líquido acuoso, y luego se carga la mezcla en un recipiente sin agitación, y se la deja reposar para finalizar la disolución.

En una forma de realización de la invención, las piezas de gel acuoso de poliacrilamida se disuelven en el líquido acuoso pasando las piezas de gel acuoso de

poliacrilamida de la etapa [4], preferentemente, una mezcla de piezas de gel acuoso de poliacrilamida en un líquido acuoso, por una disolución reubicable que comprende al menos un recipiente de disolución y medios para mezclar el gel de poliacrilamida con el líquido acuoso. El líquido acuoso se agrega al recipiente de disolución. La cantidad depende de la cantidad de líquido acuoso que ya se agregó al gel acuoso de poliacrilamida en la etapa de desmenuzamiento anterior y la concentración deseada de la solución de poliacrilamida final.

Los ejemplos de medios para mezclar comprenden uno o más impulsores o agitadores que opcionalmente se pueden combinar con dispositivos de mezcla estáticos. La mezcla también se puede obtener dejando fluir los contenidos del recipiente de disolución a través de un conducto y luego haciéndolos recircular hacia el tanque de mezcla. La unidad de disolución también puede comprender dos o más de dos recipientes de disolución conectados en serie. El volumen del recipiente de disolución no se limita específicamente y puede variar de 10 m^3 a 150 m^3 , por ejemplo, de 20 m^3 a 50 m^3 por recipiente.

La Figura 17 representa esquemáticamente una forma de realización de una unidad de disolución reubicable. La unidad comprende un marco (40) y un recipiente de disolución (41) cargado con líquido acuoso y piezas de gel acuoso de poliacrilamida. Para mezclar los contenidos del recipiente de disolución (51), la unidad de disolución comprende dos agitadores (42) y (43). Resulta evidente que también se puede usar otra cantidad de agitadores y otras construcciones de agitadores distintas de aquellas representadas en la Figura 14. A modo de ejemplo, una vara agitadora puede estar equipada con dos agitadores en diferentes posiciones.

El recipiente de disolución se carga con las piezas de gel acuoso de poliacrilamida, preferentemente, una mezcla de piezas de gel acuoso de poliacrilamida y líquido acuoso / solución acuosa de poliacrilamida, a través de una abertura (44), y la solución de poliacrilamida se puede remover a través de la línea (45).

En otra forma de realización, dos o más unidades de disolución se pueden conectar en serie. En las formas de realización de la invención, 2 a 15, por ejemplo 5 a 12, unidades de disolución se pueden conectar en serie. Las piezas de gel acuoso de poliacrilamida, preferentemente, la mezcla de piezas de poliacrilamida acuosa se cargan en el primer recipiente de disolución y se mezclan con líquido acuoso. La mezcla se transporta de forma continua a al menos una segunda unidad de disolución para disolución adicional. Se puede transferir de ahí a una tercera unidad de disolución. Se puede remover la solución acuosa de poliacrilamida de la última unidad

de disolución.

También es posible que se usen unidades de disolución reubicables no separadas, pero que dos o más recipientes de disolución puedan estar conectados en serie en un solo marco.

En otra forma de realización, al menos dos de las unidades de disolución reubicables, preferentemente, al menos tres disoluciones reubicables, se pueden conectar de manera cíclica, es decir, se conectan en serie, y la última se conecta nuevamente con la primera.

La Figura 18 representa esquemáticamente una forma de realización en la que dos unidades de disolución reubicables se conectan en serie. Los contenidos de la primera unidad de disolución (45) se agregan a la siguiente unidad de disolución, la solución de poliacrilamida se puede remover a través de la línea (46). También se puede agregar líquido acuoso adicional a la segunda unidad de disolución.

En otra forma de realización, una unidad de disolución reubicable es una unidad de disolución fijada en un camión.

En otra forma de realización, la solución acuosa de poliacrilamida se puede diluir adicionalmente para la aplicación luego de llevar a cabo la etapa [5] en una segunda etapa de dilución.

Luego de llevar a cabo la etapa [5], la solución acuosa de poliacrilamida se puede transferir directamente al sitio donde se usa, es decir, a un pozo petrolero, para inyección. En otras formas de realización, la acuosa se puede almacenar temporalmente en una ubicación B antes de usarse.

Para dicho almacenamiento temporal, se puede usar un recipiente de almacenamiento o una serie de recipientes de almacenamiento. Almacenar la solución es particularmente ventajoso para realizar los análisis necesarios y el control de calidad.

Existen varias opciones, en función de la ubicación del sitio de uso, para transportar al sitio de uso la solución acuosa de poliacrilamida obtenida durante la etapa [5], ya sea directamente de la unidad de disolución o de los recipientes de almacenamiento temporal.

En una forma de realización, la transferencia se puede realizar simplemente por medio de tuberías o cualquier otro conducto adecuado.

También se pueden usar tuberías para transportar la solución acuosa de poliacrilamida a sitios de uso más distantes. En otra forma de realización, la solución acuosa se transporta de la planta modular al sitio de uso mediante el uso de una

unidad de transporte adecuada. Los ejemplos de unidades de transporte adecuadas comprenden, por ejemplo, camiones cisterna o tanques contenedores.

En una forma de realización de la invención, la etapa [5] se lleva a cabo de manera tal que se obtenga un concentrado, como se definió anteriormente, es decir, una solución acuosa de poliacrilamida que tiene una concentración de 2,1 a 14,9 % en peso, en particular, de 2,1 % a 7 % en peso, por ejemplo, de 3,1 % a 6 % en peso. A continuación, dicho concentrado se transporta al sitio de uso con el uso de una unidad de transporte adecuada, por ejemplo, una unidad de transporte como se describió anteriormente. En el sitio de uso, el concentrado se remueve de la unidad de transporte, por ejemplo, mediante bombeo, y se usa directamente o, alternativamente, se diluye con líquido acuoso adicional, obteniendo una solución acuosa de poliacrilamida que tiene una concentración menor, por ejemplo, una concentración de 0,01 % en peso a 2 % en peso. El transporte de un concentrado tiene la ventaja de transportar menos agua en comparación con transportar una solución diluida, lo que reduce el costo de transporte. Los concentrados como se describieron anteriormente aún pueden ser fluidos viscosos o incluso sólidos, pero, en general, todavía son bombeables, para que se puedan remover fácilmente de las unidades de transporte.

A modo de ejemplo, en dicha forma de realización, la planta modular puede estar ubicada en un punto más central de un campo de petróleo y proporcionar concentrado de poliacrilamida a varios pozos petroleros diferentes. La distancia entre la planta modular y los sitios de uso puede ser, por ejemplo, de 1 a 500 km o de 10 km a 300 km.

Modificación de las poliacrilamidas

En una forma de realización de la invención, las poliacrilamidas se pueden modificar de manera simultánea durante las etapas [4] y [5].

Con ese fin, se pueden agregar agentes adecuados para modificar los polímeros al líquido acuoso que se usa para disolver el gel acuoso de poliacrilamida. En otras formas de realización, dichos agentes se pueden agregar de manera separada, preferentemente, como solución acuosa.

En una forma de realización de la invención, las poliacrilamidas se pueden hidrolizar parcialmente, por lo que se obtienen poliacrilamidas que también comprenden grupos -COOH o sales de estos. En algunas formas de realización, alrededor de 30 % molar de los grupos amida se puede hidrolizar a grupos carboxílicos. Se conocen poliacrilamidas parcialmente hidrolizadas en el estado de la técnica. Con ese fin, se agregan bases tales como NaOH al líquido acuoso.

En otra forma de realización, se pueden agregar hidroxilamina y una base al líquido acuoso, por lo que se obtienen poliacrilamidas en las que una parte de los grupos amida se convierte en grupos de ácido hidroxámico.

Medición y control

En una forma de realización, la planta modular y reubicable comprende una unidad de tecnología de control y medición de proceso central. Preferentemente, la unidad de tecnología de control y medición de proceso está conectada con todas las unidades de la planta modular y reubicable, por lo que se posibilita un control de proceso central similar al de las plantas fijas. En una forma de realización, todas las conexiones con los instrumentos de medición y control de una unidad determinada, por ejemplo, la unidad de disolución, las unidades de almacenamiento de monómeros o las unidades de polimerización, se agrupan en un cable, por ejemplo, tecnología BUS, para que se puedan conectar en conjunto fácilmente. Por supuesto, también son posibles otras tecnologías de conexión, por ejemplo, enlaces de radio.

Planta modular y reubicable

En otra forma de realización, la presente invención se refiere a una planta modular y reubicable para elaborar soluciones acuosas de poliacrilamida mediante polimerización de una solución acuosa, que comprende al menos acrilamida para obtener un gel acuoso de poliacrilamida, y mediante disolución de dicho gel acuoso de poliacrilamida en un líquido acuoso, que comprende al menos

- o una unidad de almacenamiento reubicable para una solución acuosa de acrilamida,
- o unidades de almacenamiento opcionalmente reubicables para monómeros hidrosolubles monoetilénicamente insaturados diferentes de acrilamida,
- o una unidad de almacenamiento reubicable para iniciadores de polimerización,
- o una unidad de preparación de monómeros reubicable para preparar una solución acuosa de monómero que comprende al menos agua y acrilamida,
- o una unidad de polimerización reubicable para polimerizar la solución acuosa de monómero en presencia de iniciadores de polimerización,
- o una unidad de desmenuzamiento reubicable para desmenuzar el gel acuoso de poliacrilamida en piezas de gel acuoso de poliacrilamida,
- o una unidad de disolución reubicable para la disolución de piezas de gel

acuoso de poliacrilamida en fluidos acuosos.

Los detalles de las unidades individuales de la planta, que incluyen formas de realización preferidas, ya se han descrito anteriormente, y se hace referencia a los pasajes respectivos.

En una forma de realización preferida, la unidad de desmenuzamiento reubicable comprende al menos medios seleccionados de chorros de agua giratorios, cuchillas giratorias y placas perforadas.

En otra forma de realización preferida, la planta modular y reubicable comprende unidades de almacenamiento reubicables para monómeros hidrosolubles monoetilénicamente insaturados diferentes de acrilamida.

En una forma de realización preferida, la acrilamida también se elabora en la planta modular y reubicable mediante la hidrólisis de acrilonitrilo en agua en presencia de un biocatalizador capaz de convertir acrilonitrilo en acrilamida.

Por lo tanto, la presente invención también se refiere a una planta modular y reubicable para elaborar soluciones acuosas de poliacrilamida mediante polimerización de una solución acuosa, que comprende al menos acrilamida para obtener un gel acuoso de poliacrilamida, y mediante disolución de dicho gel acuoso de poliacrilamida en agua, que comprende al menos

- o una unidad de almacenamiento reubicable para acrilonitrilo,
- o una unidad de bioconversión reubicable para hidrolizar acrilonitrilo en agua en presencia de un biocatalizador capaz de convertir acrilonitrilo en acrilamida,
- o una unidad reubicable para retirar el biocatalizador de una solución acuosa de acrilamida,
- o una unidad de almacenamiento reubicable para una solución acuosa de acrilamida,
- o unidades de almacenamiento opcionalmente reubicables para monómeros hidrosolubles monoetilénicamente insaturados diferentes de acrilamida,
- o una unidad de almacenamiento reubicable para iniciadores de polimerización,
- o una unidad de preparación de monómeros reubicable para preparar una solución acuosa de monómero que comprende al menos agua y acrilamida,
- o una unidad de polimerización reubicable para polimerizar la solución

- o acuosa de monómero en presencia de iniciadores de polimerización,
- o una unidad de desmenuzamiento reubicable para desmenuzar el gel acuoso de poliacrilamida en piezas de gel acuoso de poliacrilamida,
- o una unidad de disolución reubicable para la disolución de piezas de gel acuoso de poliacrilamida en fluidos acuosos.

Los detalles de las unidades individuales de la planta ya se han descrito anteriormente y se hace referencia a los pasajes respectivos. Como se indicó anteriormente, la unidad de desmenuzamiento puede ser una unidad de desmenuzamiento separada y reubicable o puede estar fijada a la unidad de polimerización.

Uso de las soluciones acuosas de poliacrilamida

Las soluciones acuosas de poliacrilamida elaboradas de acuerdo con la presente invención se pueden usar para diversos fines, por ejemplo, para aplicaciones en minería, aplicaciones en campos de petróleo, tratamiento de agua, limpieza de aguas residuales, fabricación de papel o aplicaciones agrícolas.

Para la aplicación, las soluciones acuosas de poliacrilamida se pueden usar como tales o se pueden formular con componentes adicionales. La composición específica de la solución acuosa de poliacrilamida es seleccionada por la persona del oficio de nivel medio de acuerdo con el uso previsto de la solución de poliacrilamida.

Aplicaciones en campos de petróleo

Los ejemplos de aplicaciones en campos de petróleo en los que se pueden usar las soluciones acuosas de poliacrilamida elaboradas de acuerdo con la presente invención incluyen recuperación mejorada de petróleo, perforación de pozos petroleros o el uso como reductores de la fricción, por ejemplo, reductores de la fricción para fluidos de fractura.

Recuperación mejorada de petróleo

En una forma de realización de la invención, las soluciones acuosas de poliacrilamida elaboradas de acuerdo con la presente invención se usan para la recuperación mejorada de petróleo.

En consecuencia, la presente invención también se refiere al método para producir aceite mineral de depósitos subterráneos de aceite mineral inyectando un fluido acuoso que comprende al menos una solución acuosa de poliacrilamida en un depósito de aceite mineral a través de al menos un pozo de inyección y retirando el petróleo crudo del depósito a través de al menos un pozo de producción, en donde la solución acuosa de poliacrilamida se prepara mediante el proceso para producir una

solución acuosa de poliacrilamida como se describió anteriormente. Los detalles del proceso ya se describieron anteriormente.

Para el método de recuperación mejorada de petróleo, al menos un pozo de producción y al menos un pozo de inyección se hunden en el depósito de aceite mineral. En general, una pluralidad de pozos de inyección y una pluralidad de pozos de producción se suministrarán a un depósito. Un fluido acuoso se inyecta en el depósito de aceite mineral a través de al menos un pozo de inyección, y el aceite mineral se retira del depósito a través de al menos un pozo de producción. En virtud de la presión generada por el fluido acuoso inyectado, denominada "inyección de polímero", el aceite mineral fluye en dirección al pozo de producción y se produce a través del pozo de producción. En este contexto, la expresión "aceite mineral" no solo significa petróleo monofásico; la expresión también comprende las emulsiones habituales de petróleo crudo-agua.

El fluido acuoso para inyección comprende la solución acuosa de poliacrilamida preparada mediante el proceso de acuerdo con la presente invención. Los detalles del proceso se describieron anteriormente.

En una forma de realización, la planta modular de acuerdo con la presente invención puede estar en un pozo de inyección que se desea tratar con soluciones acuosas de poliacrilamida o cerca de dicho pozo de inyección. En otra forma de realización, la planta modular puede estar entre una pluralidad de pozos de inyección o en uno de ellos, y la solución acuosa de poliacrilamida se distribuye de allí a todos los pozos de inyección, por ejemplo, mediante tuberías.

La solución acuosa de acrilamida obtenida se puede usar como tal o se puede mezclar con otros componentes. Los otros componentes para los fluidos de recuperación mejorada de petróleo pueden ser seleccionados por la persona del oficio de nivel medio de acuerdo con sus necesidades.

Para la recuperación mejorada de petróleo, se puede usar un homopolímero de acrilamida, sin embargo, preferentemente, se usan copolímeros hidrosolubles que comprenden al menos 10 %, preferentemente, al menos 20 % y, con mayor preferencia, al menos 30 % en peso de acrilamida y al menos un monómero hidrosoluble monoetilénicamente insaturado adicional diferente de acrilamida. Los comonómeros hidrosolubles adecuados ya se han mencionado anteriormente, y se hace referencia a la divulgación anterior.

En una forma de realización, los comonómeros hidrosolubles se pueden seleccionar de monómeros hidrosolubles monoetilénicamente insaturados que

comprenden al menos un grupo ácido, o sales de estos. Preferentemente, los grupos ácidos son seleccionados del grupo de $-\text{COOH}$, $-\text{SO}_3\text{H}$ y $-\text{PO}_3\text{H}_2$ o sales de estos. Se prefieren los monómeros que comprenden grupos COOH y/o grupos $-\text{SO}_3\text{H}$ o sales de estos. Los contraiones adecuados ya se mencionaron anteriormente. Los ejemplos de tales comonómeros comprenden ácido acrílico, ácido metacrílico, ácido crotonico, ácido itacónico, ácido maleico, ácido fumárico, ácido vinilsulfónico, ácido alilsulfónico, ácido 2-acrilamido-2-metilpropan-sulfónico (ATBS), ácido 2-metacrilamido-2-metilpropan-sulfónico, ácido 2-acrilamidobutansulfónico, ácido 3-acrilamido-3-metilbutan-sulfónico, ácido 2-acrilamido-2,4,4-trimetilpentansulfónico, ácido vinilfosfónico, ácido alilfosfónico, ácidos N-(met)acrilamidoalquilfosfónicos y ácidos (met)acrililoiloxialquil-fosfónicos.

En una forma de realización preferida, ácido acrílico y/o ATBS o sales de estos se pueden usar como comonómeros.

En dichos copolímeros, la cantidad de acrilamida, en general, es de 20 % en peso a 90 % en peso, y la cantidad de ácido acrílico y/o ATBS o sales de estos es de 10 % en peso a 80 % en peso, con respecto a la cantidad de todos monómeros en el copolímero. Preferentemente, la cantidad de acrilamida es de 60 % en peso a 80 % en peso, y la cantidad de ácido acrílico y/o ATBS o sales de estos es de 20 % en peso a 40 % en peso.

En otra forma de realización, los copolímeros que se desean usar para la recuperación mejorada de petróleo comprenden al menos un monómero hidrosoluble monoetilénicamente insaturado que comprende al menos un grupo ácido, o sales de estos, preferentemente, ácido acrílico y/o ATBS o sales de estos, y al menos un monómero asociativo. Los ejemplos de monómeros asociativos ya se han divulgado anteriormente. En una forma de realización, se usa al menos un monómero asociativo de la Fórmula general (III), (IV), o (V), preferentemente, al menos un monómero asociativo de la Fórmula general (V). Las formas de realización preferidas de los monómeros asociativos (III), (IV) y (V) ya se han divulgado anteriormente, y se hace referencia explícita a esa descripción.

En dichas poliacrilamidas, la cantidad de acrilamida, en general, es de 40 % en peso a 89,9 % en peso, la cantidad de ácido acrílico y/o ATBS o sales de estos es de 10 % en peso a 59,9 % en peso, y la cantidad de monómeros asociativos es de 0,1 a 5 % en peso, con respecto a la cantidad de todos monómeros en el copolímero.

En una forma de realización, las poliacrilamidas para EOR comprenden 45 % a 55 % en peso de acrilamida, 0,1 a 5 %, preferentemente, 0,1 a 2 % en peso de al

menos un monómero asociativo de la Fórmula general (V) mencionada anteriormente, que incluye las formas de realización preferidas, y 40 a 54,9 % en peso de ácido acrílico o sales de este.

El fluido acuoso para inyección se puede preparar en agua dulce o en caso contrario en agua que comprende sales, tal como agua de mar o agua de formación. Como ya se detalló anteriormente, el agua que comprende sales ya puede haber sido usada para disolver el gel acuoso de poliacrilamida. De manera alternativa, el gel de poliacrilamida se puede disolver en agua dulce, y la solución obtenida se puede diluir hasta obtener la concentración de uso deseada con agua que comprende sales.

Por supuesto, el fluido acuoso para inyección puede comprender opcionalmente otros componentes. Los ejemplos de componentes adicionales incluyen biocidas, estabilizantes, barredores de radicales libres, iniciadores, tensioactivos, cosolventes, bases y agentes formadores de complejos.

La concentración del copolímero en el fluido de inyección se fija de manera que la formulación acuosa tenga la viscosidad deseada para el uso final. La viscosidad de la formulación debería ser, en general, al menos 5 mPas (medida a 25 °C y una velocidad de cizallamiento de 7 s⁻¹), preferentemente, al menos 10 mPas.

En general, la concentración de la poliacrilamida en el fluido de inyección es de 0,02 a 2 % en peso, en función de la suma total de todos los componentes en la formulación acuosa. La cantidad es, preferentemente, de 0,05 a 0,5 % en peso, con mayor preferencia, 0,1 a 0,3 % en peso y, por ejemplo, 0,1 a 0,2 % en peso.

Reductores de la fricción para fracturamiento hidráulico

En otra forma de realización de la invención, las soluciones acuosas de poliacrilamida elaboradas de acuerdo con la presente invención se usan como reductores de la fricción en aplicaciones de fracturamiento hidráulico.

El fracturamiento hidráulico incluye inyectar un fluido de fractura a través de un pozo y en una formación subterránea a una presión suficientemente alta para crear fracturas, y así proporcionar canales a través de los cuales los fluidos de formación, tales como petróleo, gas o agua, pueden fluir hacia el pozo y luego ser retirados. Los fluidos de fractura se diseñan para permitir el inicio o extensión de fracturas y el transporte simultáneo de apuntalante suspendido (por ejemplo, granos de arena naturales, arena recubierta con resina, bauxita sinterizada, microesferas de vidrio, microesferas de polímero ultralivianas y similares) en la fractura para mantener la fractura abierta cuando se libera la presión.

En una forma de realización de fracturamiento hidráulico, se usan los fluidos

de fractura que tienen una alta viscosidad. Dicha alta viscosidad se puede lograr mediante polímeros reticulados, tales como guar reticulado. Dicha alta viscosidad es necesaria para garantizar que los apuntalantes se mantengan distribuidos en el fluido de fractura y no sedimenten, por ejemplo, ya en el pozo.

En otra forma de realización de fracturamiento hidráulico, también denominada “fracturamiento *slickwater*”, se usan fluidos que tienen solo una baja viscosidad. Dichos fluidos comprenden principalmente agua. Para lograr el transporte del apuntalante a la formación, la velocidad de bombeo y las presiones usadas son significativamente más altas que para fluidos de alta viscosidad, lo que causa un flujo turbulento. El flujo turbulento del fluido de fractura ocasiona una pérdida de energía significativa debido a la fricción. Para evitar o al menos minimizar dichas pérdidas por fricción, se pueden usar poliacrilamidas de peso molecular alto que cambian el flujo turbulento a un flujo laminar.

En consecuencia, en otra forma de realización, la presente invención se refiere a un método de fracturamiento de formaciones subterráneas mediante la inyección de un fluido de fractura acuoso que comprende al menos un fluido de base acuosa, preferentemente agua, apuntalantes y un reductor de la fricción a través de un pozo a una formación subterránea a una presión suficiente para fluir a la formación, y para iniciar o extender fracturas en la formación, en donde el reductor de la fricción comprende una solución acuosa de poliacrilamida preparada mediante el proceso para elaborar una solución acuosa de poliacrilamida en una planta modular como se describió anteriormente. Los detalles del proceso de elaboración ya se describieron anteriormente. Los ejemplos de fluidos de base acuosa comprenden agua dulce, salmueras, agua de mar, agua de formación, agua tratada o mezclas de estas.

En una forma de realización preferida de la presente invención, la solución acuosa de poliacrilamida tiene una concentración de 2,1 a 14,9 % en peso, preferentemente, de 2,1 a 10 % en peso, en particular, de 2,1 % a 7 % en peso y, por ejemplo, de 3,1 % a 6 % en peso. El concentrado se puede usar, preferentemente, como tal, es decir, sin dilución adicional en el sitio. Por ejemplo, se puede alimentar en los mezcladores que, en general, se usan para mezclar fluidos de fractura. El transporte del concentrado se puede llevar a cabo, preferentemente, cargando una unidad de transporte adecuada con el concentrado, transportando la unidad de transporte al sitio de uso y removiendo el concentrado de la unidad de transporte, por ejemplo, mediante bombeo. La unidad de transporte puede tener un volumen de 1 m³

a 40 m³, en particular, 5 m³ a 40 m³, por ejemplo, 20 m³ a 30 m³. Los ejemplos de unidades de transporte adecuadas comprenden recipientes que comprenden al menos una abertura o tanques contenedores.

Aplicaciones en minería

En una forma de realización, el método para preparar una solución acuosa de poliacrilamida de acuerdo con la presente invención se lleva a cabo en áreas donde se realizan actividades de minería, procesamiento de minerales y/o metalurgia. En consecuencia, la solución acuosa de poliacrilamida como producto obtenido mediante el método de la presente invención se usa preferentemente para aplicaciones en el campo de la minería, el procesamiento de minerales y/o la metalurgia, y el método para preparar la solución acuosa de poliacrilamida se usa preferentemente en la planta de la respectiva industria.

Preferentemente, las actividades de minería comprenden la extracción de minerales valiosos u otros materiales geológicos de determinados depósitos. Los depósitos pueden contener menas, por ejemplo, menas que contienen metales, menas sulfúricas y/o menas no sulfúricas. Las menas pueden comprender metales, carbón, piedras preciosas, piedra caliza u otro material mineral. En general, la minería se necesita para obtener cualquier material, en particular, material mineral que no se puede desarrollar a través de procesos agrícolas o crear de manera artificial en un laboratorio o fábrica. La solución acuosa de poliacrilamida de acuerdo con la presente invención se usa preferentemente para facilitar la recuperación de material mineral, para el beneficio de menas y para procesar adicionalmente las menas a fin de obtener los minerales o metales deseados.

En general, las industrias de minería, las industrias de procesamiento de minerales y/o las industrias metalúrgicas son activas en el procesamiento de menas y en la producción de, por ejemplo, alúmina, carbón, hierro, acero, metales básicos, metales preciosos, diamantes, minerales no metálicos y/o áreas en donde los agregados cumplen una función importante. En estas industrias, el método de la presente invención y el homo- o copolímero de acrilamida obtenido se pueden usar, por ejemplo,

- en plantas para la producción de alúmina, en donde la alúmina se extrae de la bauxita mineral usando el proceso de lixiviación cáustica de Bayer,
- en plantas en donde el proceso de lavado de carbón exige un circuito de agua cerrado y una eficiente eliminación de relaves a fin de satisfacer

las exigencias económicas y ambientales,

- en plantas para la producción de hierro y acero, en donde la aglomeración de concentrados de hierro fino para producir pelets de alta calidad es un gran desafío para la industria de las menas de hierro,
- en plantas para la producción de metales básicos, en donde los floculantes encuentran diversos usos en la producción de metales básicos,
- en plantas para la producción de metales preciosos, en donde los reactivos se usan para mejorar el proceso de clarificación de relaves, lo que permite la reutilización de agua limpia,
- en plantas de diamantes, en donde la recuperación eficaz de agua es primordial en las áreas áridas donde los diamantes se suelen encontrar,
- en plantas para la producción de minerales no metálicos, en donde los reactivos mejoran la recuperación de agua o asisten en los procesos de filtración a fin de maximizar la eficacia del proceso,
- en plantas en donde los agregados se tienen que producir y se necesitan floculantes y coadyuvantes de filtración para mejorar la separación sólida/líquida.

En consecuencia, la presente invención se refiere al uso de una solución acuosa de poliacrilamida para actividades de minería, procesamiento de minerales y/o metalurgia que comprende el uso para la separación sólida/líquida, para la eliminación de relaves, para la eliminación de relaves modificados por polímeros, para el manejo de relaves, como modificador de la densidad y/o reología, como coadyuvante de la aglomeración, como aglutinante y/o para la manipulación de materiales, en donde la solución acuosa de poliacrilamida se prepara en la planta de la respectiva industria, que comprende, por ejemplo, las siguientes etapas:

- hidrolizar acrilonitrilo en agua en presencia de un biocatalizador capaz de convertir acrilonitrilo en acrilamida a fin de obtener una solución de acrilamida,
- polimerizar la solución de acrilamida a fin de obtener un gel de poliacrilamida, y
- disolver el gel de poliacrilamida mediante la adición de agua para obtener una solución acuosa de poliacrilamida.

Para las actividades de minería, procesamiento de minerales y/o metalurgia, se puede usar, por ejemplo, un homopolímero de acrilamida. También se prefieren

copolímeros de acrilamida. Los copolímeros de acrilamida puede ser aniónicos, catiónicos o no iónicos. Por ejemplo, los copolímeros aniónicos son copolímeros de acrilamida con proporciones crecientes de grupos acrilato, que le dan a los polímeros cargas negativas y, por lo tanto, carácter activo aniónico, en una solución acuosa. En particular, los copolímeros aniónicos de acrilamida se pueden usar para el tratamiento de aguas residuales en la metalurgia, como plantas de menas de hierro, plantas de acero, plantas para galvanoplastia, para el lavado de carbón o como floculantes. Por ejemplo, los polímeros no iónicos y/o los copolímeros de acrilamida se pueden usar como floculantes no iónicos adecuados como coadyuvantes de sedimentación en muchas aplicaciones de procesamiento de minerales diferentes y son particularmente eficaces en condiciones de pH muy bajas, como se encuentran, por ejemplo, en operaciones de lixiviación ácida. En particular, los copolímeros catiónicos de acrilamida tienen una proporción creciente de monómeros catiónicos. Los grupos catiónicos, que entonces se introducen en el polímero, tienen cargas positivas en la solución acuosa.

Se prefiere que el polímero obtenido del método de la presente invención se use como floculante en un proceso en el cual las partículas individuales de una suspensión formen agregados. Por ejemplo, los materiales poliméricos de la presente invención forman puentes entre las partículas individuales de manera que los segmentos de la cadena polimérica adsorban en diferentes partículas y ayuden a las partículas a agregar. En consecuencia, los polímeros de la presente invención actúan como coadyuvante de aglomeración, que puede ser un floculante que tiene grupos activos con una carga y que puede contrarrestar la carga de las partículas individuales de una suspensión. El floculante polimérico también puede adsorber en partículas y puede causar desestabilización ya sea por la formación de puentes o por la neutralización de carga. En caso de que el polímero sea un floculante aniónico, puede reaccionar con una suspensión de carga positiva (potencial zeta positivo) en presencia de, por ejemplo, sales e hidróxidos metálicos como partículas de suspensión. En caso de que el polímero de la presente invención sea, por ejemplo, un floculante catiónico, puede reaccionar con una suspensión de carga negativa (potencial zeta negativo) como en presencia de, por ejemplo, sílice o sustancias orgánicas como partículas de suspensión. Por ejemplo, el polímero obtenido del método de la presente invención puede ser un floculante aniónico que aglomera arcilla que es electronegativa.

Preferentemente, el método de la presente invención y el polímero y/o copolímero de acrilamida (poliacrilamida) obtenidos se usan, por ejemplo, en el

proceso de Bayer para la producción de alúmina. En particular, la poliacrilamida se puede usar como floculante en la primera etapa del proceso de Bayer, en donde la mena de aluminio (bauxita) se lava con NaOH, y se obtiene aluminato de sodio soluble y barro rojo. De manera ventajosa, se mejora la floculación de barro rojo y se logra una velocidad de sedimentación más rápida cuando los polímeros y/o copolímeros de acrilamida se agregan. Como floculantes de sedimentación de barro rojo, la poliacrilamida se puede usar para sedimentar suspensiones de barro rojo de aluminio en plantas de alúmina, proporcionar altas velocidades de sedimentación, ofrecer un mejor rendimiento de separación y reducir los sólidos suspendidos de manera significativa. Asimismo, se mejoran las operaciones de filtración de licor y, gracias a esto, el procesamiento es más eficaz desde el punto de vista económico. También se prefiere que las poliacrilamidas se usen en decantadores, en lavadoras, para el espesamiento de hidratos, para la filtración de licor verde, como modificadores del crecimiento de cristales, como agentes espesantes y/o como modificadores de la reología.

También se prefiere que el método de la presente invención y los polímeros de acrilamida se usen en proceso para la separación sólida/líquida como floculantes o coadyuvantes de deshidratación, que facilitan el espesamiento, clarificación, filtración y centrifugación a fin de mejorar las velocidades de sedimentación, mejorar las claridades y reducir los volúmenes de subflujo. En particular, en los procesos de filtración, el homo- o copolímero de poliacrilamida de la presente invención aumenta las velocidades y los rendimientos de filtración y reduce los contenidos de humedad de torta.

También se prefiere el uso del método y la poliacrilamida obtenida de la presente invención, en particular, para la manipulación de materiales y como aglutinante. En la industria de la minería, se necesita el movimiento de grandes volúmenes de material para procesar la roca y/o las menas que se extrajeron de los depósitos. Por ejemplo, el procesamiento típico de la roca y/o mena comienza con la extracción de la mena, la posterior trituración y molienda de la mena, el posterior procesamiento de minerales (procesamiento del material mineral deseado/valioso), luego, por ejemplo, la producción de metales y finalmente la eliminación de residuos o relaves. Fue sorprendente descubrir que, con el método de la presente invención y, en particular, la poliacrilamida obtenida, se puede mejorar la manipulación del material mineral aumentando la eficacia y el rendimiento, mejorando la calidad del producto y minimizando los costos operativos. En particular, la presente invención se puede usar

para un ambiente de trabajo más seguro en el sitio de la mina y para la reducción de descargas ambientales.

Preferentemente, el método y la poliacrilamida obtenida de la presente invención se pueden usar como, por ejemplo, aglutinantes, modificadores de la densidad y/o reología, y para el manejo de relaves. El polímero de poliacrilamida obtenido puede modificar el comportamiento de los relaves mediante, por ejemplo, ajuste reológico. Los polímeros de poliacrilamida obtenidos pueden volver rígidos los relaves al momento de su eliminación iniciando la liberación de agua instantánea de la suspensión tratada. Esto acelera el tiempo de secado de los relaves, da como resultado una menor huella de relaves y permite que el agua liberada regrese al proceso más rápido. Este tratamiento es eficaz para mejorar las propiedades de los relaves en las industrias que producen, por ejemplo, alúmina, níquel, oro, mena de hierro, arenas minerales, arenas petrolíferas o cobre. Otros beneficios de los polímeros obtenidos de acuerdo con la presente invención son, por ejemplo, vida útil maximizada del área de eliminación, control de colocación de la suspensión, no necesidad de volver a trabajar el depósito, eliminación conjunta de material grueso y fino, superficie transitable más rápida, pérdidas de evaporación reducidas, mayor volumen para reciclaje, contaminación de finos eliminada, requisito de agua dulce reducido, menores costos de manejo de tierras, menos equipos móviles, menores costos de rehabilitación, tiempo más rápido de rehabilitación, menor consumo de energía, liberación de agua total acelerada y aumentada, velocidad de consolidación mejorada, velocidad de aumento reducida, cantidad de reposo reducida después de la deposición.

Preferentemente, el producto obtenido del método de la presente invención se usa para aglomeración de materia de partículas finas y para la supresión del polvo. En particular, los polímeros o copolímeros de poliacrilamida se usan como aglutinantes orgánicos para aglomerar una amplia variedad de sustratos minerales. Por ejemplo, los polímeros o copolímeros de poliacrilamida se usan para la peletización del mineral de hierro como un reemplazo total o parcial de bentonita. El producto del método de la presente invención se puede usar como aglutinante, en particular, como aglutinantes orgánicos sólidos y líquidos en aplicaciones de briqueteado, extrusión, peletización, esferonización y/o granulación, y proporciona, por ejemplo, excelentes propiedades de lubricación, moldeado y/o fijación para procesos, tales como briqueteado de finos de carbón, extrusión de carbón, extrusión de grafito y/o briqueteado de níquel.

Es preferible que el método de la presente invención y, en particular, la

solución acuosa de poliacrilamida obtenida mediante el método, se usen para el beneficio de menas que comprenden, por ejemplo, carbón, cobre, alúmina, oro, plata, plomo, zinc, fosfato, potasio, níquel, hierro, manganeso u otros minerales.

Ventajas del proceso de acuerdo con la invención

El proceso de acuerdo con la presente invención proporciona ventajas significativas en comparación con procesos conocidos para la elaboración de polvos de poliacrilamida, así como en comparación con procesos conocidos para elaborar soluciones de poliacrilamida en el sitio.

Como ya se detalló anteriormente, el secado del gel acuoso de poliacrilamida, por lo que se obtienen polvos de poliacrilamida, el transporte de los polvos al sitio de uso y la redisolución de los polvos secos en el sitio de uso consumen mucha energía, y, en consecuencia, los costos operativos para el secado son altos. Además, la inversión de capital para el total del equipo de procesamiento posterior, que incluye reducción del tamaño, secado, tamizado, trituración, también es significativa en relación con la inversión de capital total para la totalidad de la planta.

En comparación con los procesos conocidos para elaborar soluciones acuosas de poliacrilamida en el sitio mediante polimerización de soluciones acuosas de acrilamida y disolver los geles obtenidos, el proceso de acuerdo con la presente invención tiene la ventaja de que es fácil mover la totalidad de la planta cuando ya no se necesitan soluciones de poliacrilamida en una ubicación, es decir, en un pozo petrolero, sino en otra ubicación, es decir, otro pozo petrolero.