

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 704 137**

51 Int. Cl.:

C08F 10/00 (2006.01)
C08F 2/01 (2006.01)
C08F 6/00 (2006.01)
B01J 8/00 (2006.01)
B01J 19/18 (2006.01)
C08F 110/02 (2006.01)
B01J 19/00 (2006.01)
B01J 19/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.08.2005** **E 10181945 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.10.2018** **EP 2275454**

54 Título: **Proceso de poliolefinas energéticamente eficiente**

30 Prioridad:

27.08.2004 US 604948 P

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

14.03.2019

73 Titular/es:

**CHEVRON PHILLIPS CHEMICAL COMPANY LP
(100.0%)
10001 Six Pines Drive
The Woodlands, TX 77380, US**

72 Inventor/es:

**MCELVAIN, ROBERT, R.;
HOTTOVY, JOHN D.;
VERSER, DONAL, W.;
BURNS, DAVID, H.;
TAIT, JOHN H.;
PEACOCK, RICHARD;
HEIN, JAMES E.;
ROMIG, RALPH W.;
FENDERSON, CARL W.;
KUFELD, SCOTT E. y
GUPTA, ANURAG**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 704 137 T3

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

DESCRIPCIÓN

Proceso de poliolefinas energéticamente eficiente

Campo técnico

- 5 La presente invención se refiere generalmente a la producción de poliolefinas y, más específicamente, a técnicas para aumentar la eficiencia energética de procesos de producción de poliolefinas.

Técnica anterior

La presente sección pretende introducir al lector sobre aspectos de la técnica que pueden estar relacionados con aspectos de la presente invención, que se describen y/o reivindican a continuación. Se piensa que la presente discusión resulta útil para proporcionar al lector una información de antecedentes con el fin de facilitar una mejor comprensión de los diversos aspectos de la presente invención. Por consiguiente, se debería comprender que estas afirmaciones se han de leer bajo esta luz, y no como admisión de la técnica anterior.

- 10 Debido al avance de las tecnologías química y petroquímica, los productos de estas tecnologías cada vez se han hecho más prevalentes en la sociedad. En particular, como técnicas para la unión de bloques estructurales moleculares simples para dar lugar a cadenas más largas (o polímeros), se incorporan cada vez más los productos poliméricos, típicamente en forma de diversos plásticos, en diversos objetos del día a día. Por ejemplo, se usan polímeros de poliolefina, tales como polietileno, polipropileno y sus copolímeros, para la venta al por menor y el envasado farmacéutico, envasado de bebidas y alimentos (tales como zumos y botellas de soda), recipientes domésticos (tales como cubos y cajas), objetos domésticos (tales como electrodomésticos, mobiliario, alfombras y juguetes), componentes para automóvil, tuberías, conductos y diversos productos industriales.

- 15 Los tipos específicos de poliolefinas, tales como polietileno de alta densidad (HDPE), tienen aplicaciones particulares en la fabricación de objetos moldeados por inyección y moldeados por soplado, tales como recipientes para bebidas y alimentos, películas y tuberías de plástico. También resultan apropiados para aplicaciones similares otros tipos de poliolefinas, tales como polietileno de baja densidad (LDPE), polietileno lineal de baja densidad (LLDPE), polipropileno isotáctico (iPP) y polipropileno sindiotáctico (sPP). Los requisitos mecánicos de la aplicación, tales como resistencia de tracción y densidad, y/o los requisitos químicos, tales como estabilidad térmica, peso molecular y reactividad química, típicamente determinan qué tipo de poliolefina resulta apropiada.

- 20 Una ventaja de la construcción de poliolefinas, como se puede deducir a partir del listado de usos anteriores, es que generalmente son no reactivas con objetos o productos con los que entran en contacto. Esto permite que los productos de poliolefina se usen en contextos residenciales, comerciales e industriales, incluyendo el transporte y almacenamiento de alimentos y bebidas, productos electrónicos de consumo, agricultura, transporte, y construcción de vehículos. La amplia diversidad de usos residencial, comercial e industrial para poliolefinas se ha traducido en una demanda sustancial de poliolefina de materia prima que se puede someter a extrusión, inyección, soplado y se puede conformar de cualquier otro modo para dar lugar a un producto consumible final o componente.

- 25 Para satisfacer esta demanda, existen diversos procesos por medio de los cuales se pueden polimerizar las olefinas para formar poliolefinas. Típicamente, estos procesos se pueden llevar a cabo en las instalaciones petroquímicas o cerca de ellas, con fácil acceso a las moléculas de olefina de cadena corta (monómeros y comonómeros) tales como etileno, propileno, buteno, penteno, hexeno, octeno, deceno y otros bloques estructurales de polímeros de poliolefina mucho más largos. Estos monómeros y comonómeros se pueden polimerizar en un reactor de polimerización en fase líquida y/o reactor de polimerización en fase gas para formar un producto que comprende partículas sólidas poliméricas (poliolefina), típicamente denominadas gránulos o pelusas. La pelusa puede poseer una o más propiedades mecánicas y/o reológicas, físicas en masa fundida, tales como densidad, índice en masa fundida (MI), caudal en masa fundida (MFR), contenido de copolímero, contenido de comonómero, módulo y cristalinidad. Las condiciones de reacción dentro del reactor, tales como temperatura, presión, concentraciones químicas, velocidad de producción de polímero, y similares, se pueden seleccionar para lograr las propiedades deseadas de la pelusa.

- 30 Además de uno o más monómeros de olefina, se puede añadir un catalizador al reactor para facilitar la polimerización de los monómeros. Por ejemplo, el catalizador puede ser una partícula añadida por medio de la corriente de alimentación al reactor y, una vez añadida, se puede suspender en el medio de fluido dentro del reactor. Un ejemplo de dicho catalizador es un cromo hexavalente que contiene óxido de cromo sobre un soporte de sílice. Además, se puede introducir un diluyente en el reactor. El diluyente puede ser un hidrocarburo inerte, tal como isobutano, propano, n-pentano, i-pentano, neopentano y n-hexano, que es líquido en condiciones de reacción. No obstante, puede suceder que algunos procesos de polimerización no empleen un diluyente por separado, tal como en el caso de los ejemplos seleccionados de producción de polipropileno en los que el propio monómero de propileno actúa como diluyente.

- 35 Esta descarga del reactor típicamente incluye la pelusa polimérica así como también componentes no poliméricos, tales como el monómero de olefina que no ha reaccionado (y comonómero), diluyente y similares. En el caso de la producción de polietileno, los componentes no poliméricos típicamente comprenden principalmente un diluyente, tal como isobutano, que tiene una pequeña cantidad de etileno que no ha reaccionado (por ejemplo, un 5 % en peso).

5 Esta corriente de descarga se procesa generalmente, tal como por medio de un sistema de recuperación de monómero/diluyente, para separar los componentes no poliméricos de la pelusa polimérica. El diluyente recuperado, el monómero que no ha reaccionado y otros componentes no poliméricos procedentes del sistema de recuperación se pueden tratar, tal como por medio de tratamiento de perlas y/o un sistema de separación, y se pueden devolver finalmente como corriente purificada o tratada al reactor. Algunos de los componentes se pueden someter a combustión o devolver al suministrador, tal como una planta de fabricación de olefinas o refinería de petróleo. Como en el caso de polímero recuperado (sólidos), el polímero se puede tratar para desactivar el catalizador residual, retirar los hidrocarburos retenidos, secar el polímero, y formar pellas de polímero en un extrusor, y similares, antes de enviar el polímero al cliente.

10 El negocio competitivo de la producción de poliolefinas conduce de forma continua a los fabricantes a mejorar sus procesos con el fin de rebajar los costes de producción. En una industria en la que se producen miles de millones de libras de producto de poliolefina al año, pequeñas mejoras marginales, por ejemplo, en la actividad del catalizador, el rendimiento de monómero, la eficiencia energética, la recuperación de diluyente, y similares, puede generar ahorros de costes significativos en la fabricación de poliolefinas. Afortunadamente, los avances tecnológicos durante años en las materias primas, diseño de equipos y operación, y similares, han proporcionado grandes progresos en la reducción de costes de capital, operación y fijos de los sistemas de fabricación de poliolefinas. Por ejemplo, la investigación de catalizadores ha producido catalizadores comerciales con valores de actividad que son órdenes de magnitud mayores que los de hace dos a tres décadas, dando como resultado una reducción impresionante de la cantidad de catalizador consumido por libra de polímero producido, y también reducción de la cantidad de procesado aguas abajo (y equipo) usado para desactivar y/o retirar el catalizador residual en el producto polimérico. Además, los avances en el diseño de equipos y operación han aumentado la recuperación de diluyente de forma que se utiliza menos composición de diluyente. Los avances tecnológicos también han mejorado el rendimiento de monómero, que es una medida de la conversión de monómero, tal como etileno o propileno, para dar lugar a un polímero o poliolefina, tal como polietileno o polipropileno. Adicionalmente, los avances también han aumentado la eficiencia energética en la fabricación de poliolefinas.

15 En general, la producción de poliolefinas es un proceso de alto consumo energético, que consume electricidad, vapor de agua, gas combustible y similares. Una forma común de medir el consumo energético para una tecnología concreta o proceso de fabricación es en unidades de energía por masa de poliolefina producida. En una planta de polietileno típica, el consumo energético puede ser de 460 kilovatios-hora por tonelada métrica de polietileno (kWh/tonelada de PE) y superior. Con vapor de agua, el consumo puede ser mayor de 8 kilogramos por tonelada métrica de polietileno (kg/tonelada de PE) (un equivalente a 320 kWh/tonelada de PE). De igual forma, el consumo de gas combustible para una planta de poliolefina típica, tal como una planta de polietileno, puede ser de 8 kg/tonelada o superior. De nuevo, dicho consumo energético generalmente contribuye con un coste significativo a la producción de poliolefinas, así como a los productos aguas abajo formados por poliolefinas distribuidos al cliente.

20 Una diversidad de operaciones y equipos dentro del proceso de fabricación de poliolefinas puede consumir energía. Los clientes reseñables de electricidad de una planta de poliolefinas, por ejemplo, pueden incluir la bombas que hacen circular la mezcla de reacción líquida en los reactores de polimerización (por ejemplo, reactor de suspensión de bucle), las bombas que hacen circular el medio de refrigeración (por ejemplo, agua tratada) a través de camisas del reactor de polimerización, los compresores que presurizan y devuelven el diluyente reciclado (y/o monómero) al reactor de polimerización, los dispositivos de insuflado usados para transportar las pellas y las pelusas, y los extrusores que convierten las pelusas de poliolefina en pellas de poliolefina. Los usuarios significativos de vapor en una planta típica de poliolefina pueden incluir dispositivos de calentamiento que evaporan de forma instantánea el líquido en el efluente del reactor de polimerización, y columnas de separación que procesan el monómero y/o diluyente recuperado. Los clientes de gas combustible relativamente grandes incluyen procesos de activación (que pueden utilizar mucho calor) del catalizador de polimerización, y operaciones que mantienen el contenido de combustible apropiado en la cabecera de antorcha de la planta (en la alimentación de la antorcha). En general, se requiere mucha energía para polimerizar el monómero y el comonómero y dar lugar a la pelusa de poliolefina, con el fin de procesar el efluente reciclado a partir del reactor, y convertir la pelusa de poliolefina en pellas.

25 El documento WO-A-2004007566 divulga un proceso y un aparato para hacer pasar un efluente de polimerización, que comprende un polímero sólido, monómero que no ha reaccionado, diluyente y cantidades menores de contaminantes, a un dispositivo de vaporización instantánea de alta presión donde se evaporan de forma instantánea los componentes de fluido y donde se separa una corriente secundaria que comprende diluyente y cantidades menores de monómero, a partir del grueso de los componentes fluidos separados por medio de vaporización instantánea. La corriente secundaria se somete a eliminación de olefinas para proporcionar una corriente esencialmente libre de olefinas para reciclaje a una zona de preparación de lodo de catalizador. El grueso de los componentes de fluido sometidos a vaporización instantánea se recicla directamente de nuevo a la zona de polimerización sin eliminación de olefina costosa, aunque se puede llevar a cabo un tratamiento para eliminar otros contaminantes de forma opcional. El polímero y el fluido retenido se hacen pasar a una zona instantánea de baja presión donde el fluido se evapora de forma instantánea, se comprime y se junta con la fracción evaporada de forma instantánea procedente del tanque de vaporización instantánea de alta presión. Debido a que la mayoría de los fluidos se elimina en la vaporización instantánea de alta presión, se mantiene la compresión y la refrigeración de los fluidos de producto antes del reciclado en un valor mínimo.

El documento US-A-2004/136882 divulga un proceso y un aparato para separar sólidos poliméricos, fluidos de hidrocarburo, y gas de purga en una zona de presión intermedia y una zona de purga. El gas de purga de la zona de purga se usa para retirar los fluidos de hidrocarburo de los sólidos poliméricos, y la corriente que contiene el gas de purga y los hidrocarburos se hace pasar a una zona de recuperación de gas de purga/hidrocarburos. El gas de purga de alta pureza procedente de la zona de recuperación se usa eficazmente haciendo pasar una parte de nuevo a la zona de purga y otra parte a una zona de alimentación del extrusor. Los fluidos de hidrocarburo separados a partir de los sólidos poliméricos en la zona de presión intermedia y en la zona de recuperación de gas de purga/hidrocarburo se licúan y se hacen pasar a una zona de reciclaje, y los hidrocarburos (típicamente el diluyente líquido y/o el monómero que no ha reaccionado) se reciclan al reactor sin separación.

El documento WO-A-2004/027264 divulga un proceso de polimerización de olefinas y un aparato en el que la suspensión de fluidos que comprende monómero, diluyente y catalizador se hace circular en un reactor de bucle continuo por medio de dos o más bombas. El proceso y el aparato permiten la operación de la reacción con un contenido de sólidos significativamente más elevado en la suspensión de fluido circulante. En una realización preferida, la suspensión de fluido se hace circular por medio de dos propulsores dispuestos de forma que el propulsor aguas abajo aprovecha la energía rotacional conferida por el propulsor aguas arriba. Un proceso de polimerización de olefinas que opera con un contenido más elevado de sólidos en el reactor por medio de una circulación más agresiva tiene eficacias mejoradas, en particular en los reactores de gran volumen.

Breve descripción de los dibujos

Las ventajas de la invención resultarán evidentes tras la lectura de la siguiente descripción detallada y haciendo referencia a los dibujos en los que:

La Figura 1 es un diagrama de flujo de bloques que muestra un sistema de fabricación de poliolefinas a modo de ejemplo para la producción de poliolefinas de acuerdo con una realización de las técnicas presentes;

La Figura 2 es un diagrama de flujo de proceso de un sistema de alimentación a modo de ejemplo para el sistema de producción de poliolefinas de la Figura 1 de acuerdo con una realización de las técnicas presentes;

La Figura 3 es un diagrama de flujo de proceso de un circuito de regeneración del dispositivo de tratamiento a modo de ejemplo de acuerdo con una realización de las técnicas presentes;

La Figura 4 es un diagrama de bloques de un método a modo de ejemplo para regenerar un dispositivo de tratamiento de acuerdo con una realización de las técnicas presentes;

La Figura 5 es un diagrama de flujo de proceso de un sistema de preparación de catalizador a modo de ejemplo del sistema de alimentación de la Figura 2, de acuerdo con una realización de las técnicas presentes;

La Figura 6 es un diagrama de flujo de proceso de un sistema de activación de catalizador a modo de ejemplo de acuerdo con una realización de las técnicas presentes;

La Figura 7 es un diagrama de flujo de proceso de un sistema de reactor a modo de ejemplo y un sistema de recuperación de monómero/diluyente del sistema de fabricación de poliolefinas de la Figura 1 de acuerdo con una realización de las técnicas presentes;

La Figura 8 es una representación de diagrama del reactor de polimerización a modo de ejemplo de la Figura 7 que muestra el flujo del medio de refrigeración a través de las camisas del reactor de acuerdo con una realización de las técnicas presentes;

La Figura 9 es un diagrama de flujo de proceso de un sistema de refrigerante a modo de ejemplo en el control de la temperatura del reactor de polimerización de la Figura 8 de acuerdo con una realización de las técnicas presentes;

La Figura 10 es una representación de diagrama de una descarga de derivación continua del reactor de polimerización de la Figura 7 de acuerdo con una realización de las técnicas presentes;

La Figura 11 es una línea 11-11 a lo largo del corte transversal de la Figura 10 que muestra la configuración de válvula de pistón del conjunto de descarga de derivación continua de acuerdo con una realización de las técnicas presentes;

La Figura 12 es una representación de diagrama de una ubicación tangencial para el sistema de derivación continuo de acuerdo con una realización de las técnicas presentes;

La Figura 13 es un diagrama de flujo de proceso del sistema de separación de la Figura 1 de acuerdo con una realización de las técnicas presentes; y

La Figura 14 es un diagrama de flujo de proceso del sistema de descarga/extrusión de la Figura 1 de acuerdo con una realización de las técnicas presentes.

Mejor modo para llevar a cabo la invención

La presente invención es como se define en las reivindicaciones adjuntas.

A continuación se describen una o más realizaciones específicas de la presente invención. En un esfuerzo para proporcionar una descripción concisa de estas realizaciones, no se describen todas las características de una aplicación real en la memoria descriptiva. Debería apreciarse que en el desarrollo de cualquiera de las aplicaciones reales, tal como en cualquier proyecto de diseño o ingeniería, se deben tomar numerosas decisiones específicas de aplicación para lograr los objetivos específicos de los desarrolladores, tales como el cumplimiento de las restricciones relacionadas con el negocio y relacionadas con el sistema, que pueden variar de una aplicación a otra. Además, se debería apreciar que dicho esfuerzo de desarrollo podría ser complejo y requerir tiempo, pero no obstante sería una tarea rutinaria de diseño, fabricación y preparación para aquellos expertos que se saquen provecho de la presente divulgación.

Las presentes técnicas aumentan la eficiencia energética en la fabricación de poliolefinas, tales como polietileno y polipropileno. Dichas reducciones de los requisitos energéticos pueden lograrse, por ejemplo, reduciendo las etapas de proceso, eliminando equipamiento, y usando otras técnicas para mejorar la eficiencia. Como se comenta a lo largo de toda la divulgación, los ejemplos de técnicas que pueden mejorar la eficiencia energética incluyen la reducción de la separación y la compresión del diluyente de reciclaje y otros componentes, la combinación de recipientes en usos duales, y similares. En general, dicha reducción de energía necesaria para producir un libra de poliolefina resulta beneficiosa para las instalaciones de producción de todo el mundo, con mayores ventajas en las partes del mundo en las que la energía es relativamente cara.

Con el fin de facilitar el comentario de las presentes técnicas, se presenta la divulgación por secciones. La Sección I introduce ejemplos de técnicas eficientes energéticamente en el proceso de fabricación de poliolefinas. La Sección II proporciona un resumen de un proceso de producción de poliolefinas a modo de ejemplo. La Sección III comenta el sistema de alimentación para el reactor de polimerización. La Sección IV comenta el sistema de reactor de polimerización. La Sección V comenta el sistema de recuperación de monómero/diluyente que puede recuperar el diluyente y el monómero que no ha reaccionado a partir del efluente que se descarga a partir del reactor de polimerización. La Sección VI se centra en la refrigeración del reactor de polimerización. La Sección VII comenta el uso de hélices de guía en la bomba de recirculación del reactor para mejorar la eficiencia de bombeo y aumentar la velocidad de producción de poliolefinas. La Sección VIII comenta la aplicación de una derivación continua para la descarga del reactor de polimerización. La Sección IX comenta un sistema de separación a modo de ejemplo que puede procesar una parte grande del diluyente reciclado, o que puede únicamente tratar una pequeña parte para hacer disponible el diluyente libre de olefina usado en la preparación del catalizador. La Sección X comenta el sistema de descarga/extrusión que convierte las partículas de poliolefina de materia prima en pellas de poliolefina para la distribución al cliente. Finalmente, la Sección XI resume técnicas eficientes energéticamente a modo de ejemplo. Debería apreciarse que los ejemplos de las presentes técnicas que proporcionan la reducción del consumo energético en la producción de poliolefinas se comentan durante toda la divulgación. Además, aunque la discusión a veces pueda centrarse en la producción de polietileno y su copolímero, las técnicas divulgadas que se proporcionan permiten ventajas en cuanto a mayor eficiencia energética en la producción de otras poliolefinas, tal como polipropileno, polibutileno y similares. Finalmente, resultará evidente que se pueden aplicar diversas técnicas en una multiplicidad de combinaciones.

I. Introducción a los Ejemplos de Técnicas Energéticamente Eficientes

Las presentes técnicas proporcionan una mayor eficiencia energética en una amplia variedad de operaciones en el proceso de fabricación de poliolefinas. Dicha operación incluye, por ejemplo, el sistema de alimentación al reactor, el sistema del reactor, el sistema de recuperación de diluyente/monómero, el sistema de separación, y el sistema de descarga/extrusión. Estas técnicas de ahorro de energía se introducen en la presente sección y se comentan con detalle en las secciones siguientes.

A. Sistema de Alimentación al Reactor

En el sistema de alimentación del reactor de polimerización, por ejemplo, se usa un medidor de flujo másico, en lugar de un medidor de placa con orificios convencional, para medir el flujo de monómero, eliminando el precalentamiento del monómero. Además, se puede emplear un activador de catalizador más grande, reduciendo la cantidad de gas combustible consumido para activar la alimentación de catalizador de polimerización al reactor. Adicionalmente, el número de dispositivos de tratamiento que eliminan los venenos del catalizador a partir de las corrientes de alimentación del reactor se puede reducir, proporcionando una regeneración más eficiente de los dispositivos de tratamiento. Además, una técnica mejorada de regeneración de los dispositivos de tratamiento reduce la cantidad de componentes inertes (por ejemplo, nitrógeno) descargada hasta la cabecera de la antorcha. Como resultado de ello, se inyecta menos gas de combustible (por ejemplo, gas natural) en la cabecera de llama para mantener un contenido de combustible apropiado de la corriente de alimentación a la antorcha.

B. Sistema de Reactor de Polimerización

- En el propio sistema de reactor, una derivación continua (CTO) de la suspensión de poliolefina descargada a partir del reactor de polimerización, a la vista de la descarga intermitente convencional que emplea patas de sedimentación, permite la operación del reactor con una concentración de sólidos más elevada. Una concentración de poliolefina más grande en el reactor puede permitir una mayor velocidad de producción de la poliolefina. En general, los aumentos de la velocidad de producción pueden reducir el consumo normalizado de energía, en parte, por medio de la dispersión de los costes fijos energéticos sobre más libras de poliolefina producida. Otra ventaja de la descarga de CTO es que se pueden retirar más partículas finas de poliolefina (partículas relativamente pequeñas) o "finos" del reactor, en comparación con la configuración convencional de patas-sedimentación. Por tanto, con menos área superficial de partículas en el reactor, la mezcla de fluido opera a una viscosidad menor que facilita la circulación de los contenidos del reactor y la reducción de los requisitos de potencia de la bomba de circulación del reactor. Además, se pueden lograr velocidades de producción mayores, por ejemplo, con 2-3 CTO en operación normal para un reactor individual, con 1-2 CTO en reposo. Además, cada CTO puede tener un dispositivo de calentamiento instantáneo de tubería específico. No obstante, con la configuración convencional de patas de sedimentación, se pueden usar 12-14 durante la operación para obtener las mismas velocidades de producción, presentando cada pata de sedimentación un dispositivo de calentamiento instantáneo de tubería específico. De este modo, con los CTO, se proporciona velocidades de producción más elevadas de la poliolefina, pero con menor uso de vapor.

- Adicionalmente, se puede construir un reactor de fase líquida, tal como un reactor de suspensión de bucle, con un material (por ejemplo, aluminio de alta resistencia) que tenga una resistencia y/o conductividad térmica más elevada que los materiales de acero tradicionalmente utilizados en la fabricación del reactor de suspensión de bucle. Dichos materiales de alta resistencia más nuevos pueden proporcionar paredes de reactor más finas mejoradas, mayor transferencia térmica a través de las paredes, y un diámetro más grande del reactor de bucle, permitiendo una velocidad de producción de poliolefina elevada. Otro ejemplo del sistema de reactor es el uso de hélices de guía en la bomba de circulación del reactor, que proporcionan una eficiencia energética mejorada (menor consumo eléctrico) y mayor velocidad de producción de poliolefina. Finalmente, otro ejemplo es una técnica que especifica un aumento mayor de la temperatura (por ejemplo, de 10 °F (5,6 °C) tradicionales hasta los actuales 15-45 °F (8,3-25 °C) y más elevada) del refrigerante que fluye a través de las camisas del reactor. Dicha diferencia mayor de temperatura entre el suministro de refrigerante y el retorno confiere una capacidad de eliminación de calor sustancialmente igual pero a caudales de refrigerante más bajos. Por tanto, la bomba de circulación del refrigerante se puede dimensionar más pequeña, lo cual requiere menos potencia.

C. Sistema de Recuperación de Diluyente/Monómero

- En el sistema de recuperación de diluyente/monómero que procesa el efluente descargado del reactor de polimerización, se pueden conseguir ahorros de electricidad eliminando el sistema de vaporización instantánea de baja presión del diluyente y la compresión de reciclaje asociada. Se pueden lograr ahorros adicionales eliminando la columna de purga que retirar el hidrocarburo residual de las partículas de pelusa de poliolefina. En lugar de ello, la operación de retirada de hidrocarburo se puede llevar a cabo en el tanque de alimentación del extrusor aguas abajo en el sistema de extrusión/descarga. Esta mejora permite la utilización de la presión de proceso en una cámara de vaporización instantánea aguas arriba, en lugar de un sistema de transporte del dispositivo de insuflado que consume electricidad, para transportar las partículas de poliolefina hasta el tanque de alimentación del extrusor. La mejora también proporciona partículas de pelusa de poliolefina más calientes alimentadas al extrusor aguas abajo, reduciendo de este modo la carga energética sobre el extrusor.

D. Sistema de Extrusión/Descarga

- Además, se puede reducir el número de silos de pelusa de poliolefina intermedios entre el sistema de recuperación de diluyente/monómero y el sistema de extrusión/descarga, en parte, por medio de una operación mejorada del reactor de polimerización aguas arriba y el extrusor aguas abajo. Dicha reducción de los silos o recipientes de almacenamiento puede reducir el número de dispositivos de insuflado asociados y su consumo eléctrico. En el sistema de extrusión/descarga, se ahorra electricidad por medio del uso de una bomba de agua de pellas para transportar las pellas de poliolefina descargadas a partir del extrusor/dispositivo de formación de pellas hasta los silos de pellas en lugar del conjunto de transporte convencional del dispositivo de insuflado. De hecho, típicamente un requisito de potencia para la bomba de agua de pellas es un orden de magnitud inferior al de un dispositivo de insuflado de transporte neumático.

E. Sistema de Separación

- En el sistema de separación que procesa el monómero que no ha reaccionado recuperado y el diluyente procedente del reactor de polimerización y el sistema de recuperación de diluyente/monómero, se puede reducir el uso de vapor hasta en un 90 por ciento. Dicha reducción se permite por medio de reciclaje directo del diluyente y el monómero hasta el reactor de polimerización y por medio de derivación del sistema de separación, que permite de este modo columnas de separación e intercambiadores de calor de caldera de vapor más pequeños.

F. Representación de los Resultados a Modo de Ejemplo

La Tabla 1 siguiente muestra ejemplos de una eficiencia energética mejorada con la aplicación de las realizaciones de algunas de las técnicas presentes. En la Tabla 1 se proporcionan datos de consumo energético representativo para una tecnología de proceso de polietileno a modo de ejemplo que utiliza un reactor de suspensión de bucle, un dispositivo de extrusión de husillo gemelar y el equipo asociado típico. Los datos de consumo de electricidad se aportan en kilovatios-hora de electricidad consumida por tonelada métrica de polietileno producido. Los datos de consumo de vapor se aportan en kilogramos de vapor consumido por tonelada métrica de polietileno producido. Finalmente, los datos de consumo de gas combustible se aportan en kilogramos de gas combustible consumido por tonelada métrica de polietileno producido.

Tabla 1. Comparación de Consumo Energético

	<u>Promedio Industrial</u>	<u>Mejorado¹</u>	<u>Mejorado²</u>	<u>Promedio Mejorado</u>
Electricidad, kW-h/ton	458	325	350	338
Vapor, kg/tonelada	312	144	148	146
Gas comb., kg/tonelada	7,6	2,8	6,5	4,7

1 – Ejemplo Determinado Agosto, 2004; 2 – Ejemplo Determinado Agosto, 2005

Un número de consumo energético global a modo de ejemplo basado en la combinación de electricidad, vapor y gas combustible es 445 kW-h/tonelada basado en el primer ejemplo mejorado. El consumo de vapor (por ejemplo, 165 libras por 165 libras por pulgada cuadrada absoluta (11,61 kg/cm²) se puede expresar como 144 kg/tm x 900 Btu/lb x lb/0,454 kg x 0,000293 kw-h/Btu = 84 kw-h/tm. El consumo de gas combustible (basado en el contenido de combustible de aproximadamente 1.000 Btu por pie cúbico estándar) es de 2,8 kg/tm x 1000 Btu/scf x 359 scf/lb-mol x lb-mol/18 lbs x lb/0,454 kg x 0,000293 kw-h/Btu = 36 kw-h/tm. Por tanto, el consumo energético combinado es de 325 + 84 + 36 = 445 kw-h/tm. Similarmente, para el segundo ejemplo mejorado, el consumo de vapor es de 86 kw-h/tm y el consumo de gas combustible es de 84 kw-h/tm. Por tanto, para el segundo ejemplo mejorado, el consumo energético combinado basado en electricidad, vapor y gas combustible es de 350 + 86 + 84 = 520 kw-h/tm. De este modo, para el ejemplo 2, el componente de electricidad es de aproximadamente 2/3 del consumo energético, y el vapor y el gas combustible son cada uno de aproximadamente 1/6 del consumo energético. El promedio energético total de los dos ejemplos es de aproximadamente 483 kw-h/tm.

Finalmente, se debería apreciar, como se describe en la Tabla 2 siguiente, que las presentes técnicas proporcionan un uso menor de nitrógeno y diluyente (por ejemplo, isobutano). De hecho, las técnicas presentes de ahorro energético ofrecen ahorros significativos en el consumo de nitrógeno y diluyente. Por ejemplo, con menos bucles de transporte neumático para la pelusa y las pellas, se usa y se pierde menos nitrógeno. Otro ejemplo es con una mayoría del diluyente recuperado por medio de derivación del sistema de separación a través de reciclaje "directo" hasta el reactor de polimerización, se pierde menos diluyente. Los números de consumo a modo de ejemplo para nitrógeno y diluyente de la Tabla 2 se proporciona en metros cúbicos normales de nitrógeno perdido por tonelada métrica de poliolefina producida, y en kilogramos de diluyente de isobutano por tonelada métrica de poliolefina producida, respectivamente.

Tabla II. Pérdidas de Nitrógeno y Diluyente

	<u>Promedio Industrial</u>	<u>Mejorado</u>
Nitrógeno, Nm3/tonelada	76	26
Isobutano, kg/tonelada	13	1,7

II. Proceso de Producción de Poliolefinas - Resumen

En la producción de poliolefina, el(los) reactor(es) de polimerización, que polimeriza el monómero para dar lugar a la poliolefina, y el(los) extrusor(es), que convierte la poliolefina en pellas de poliolefina, son operaciones típicamente continuas. No obstante, se pueden emplear una diversidad de sistemas continuos y discontinuos durante todo el proceso de poliolefina. Una capacidad nominal a modo de ejemplo para una planta típica de poliolefina es de aproximadamente 600-800 millones de libras (270-360 x 10⁶ kg) de poliolefina producida al año. Las velocidades de diseño horarias a modo de ejemplo son de aproximadamente 85.000 a 90.000 libras (38-41 x 10³ kg) de poliolefina polimerizada a la hora, y de 90.000 a 95.000 libras (41-43 x 10³ kg) de poliolefina extruida a la hora. De nuevo, en general, los aumentos de la capacidad de producción pueden disminuir el consumo eléctrico en kilovatios-hora (kW-h) por libra de poliolefina.

Volviendo ahora a los dibujos, y en referencia inicialmente a la Figura 1, un diagrama de bloques muestra un proceso de fabricación 10 a modo de ejemplo para producir poliolefinas, tales como un homopolímero de polietileno, homopolímero de polipropileno y/u otros componentes. Diversos suministradores 12 pueden proporcionar corrientes 14 de alimentación de reactor al sistema de fabricación 10 por medio de tuberías, camiones, cilindros, tambores y similares. Los suministradores 12 pueden comprender instalaciones in situ y/o alejadas, que

incluyen plantas de olefinas, refinerías, plantas de catalizador y similares. Los ejemplos de corrientes de alimentación 14 posibles incluyen monómeros y comonómeros de olefina (tales como etileno, propileno, buteno, deceno, octeno y deceno), diluyentes (tales como propano, isobutano, n-hexano y n-heptano), agentes de transferencia de cadena (tales como hidrógeno), catalizadores (tales como catalizadores de Ziegler, catalizadores de Ziegler-Natta, catalizadores de cromo, y catalizadores de metaloceno), co-catalizadores (tales como trietilaluminio alquilo, trietilboro y metil aluminoxano) y otros aditivos. En el caso del monómero de etileno, se puede proporcionar la materia prima de etileno a modo de ejemplo por medio de una tubería de aproximadamente 800-1450 libras por pulgada cuadrada (psig) (56,30-102,04 kg/cm²) (55-100 bar manométricos) a 45-65 °F (7-18°C). La materia prima de hidrógeno a modo de ejemplo también se puede suministrar por medio de una tubería, pero a aproximadamente 900-1000 psig (62-69 bares manométricos) a 90-110 °F (32-43 °C). Por supuesto, puede existir una diversidad de condiciones de suministro para etileno, hidrógeno y otras materias primas 14.

A. Sistema de Alimentación

Los suministradores 12 típicamente proporcionan materias primas 14 al sistema 16 de alimentación del reactor, donde las materias primas 14 se almacenan, tal como en tanques de alimentación y de almacenamiento de monómeros, recipientes de diluyente, tanques de catalizador, cilindros de co-catalizador y tanques, y similares. En el sistema 16, las materias primas 14 se pueden tratar o procesar antes de su introducción como alimentación 18 en los reactores de polimerización. Por ejemplo, se pueden enviar las materias primas 14, tales como monómero, comonómero y diluyente a través de lechos de tratamiento (por ejemplo, lechos de tamiz molecular, rellenos de aluminio, etc.) para retirar los venenos de catalizador. Dichos venenos de catalizador pueden incluir, por ejemplo, agua, oxígeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono, y compuestos orgánicos que contienen azufre, oxígeno o halógenos. Los comonómeros y monómero de olefina pueden ser líquidos, gaseosos o un fluido supercrítico, dependiendo del tipo de reactor que se alimente. También, debería apreciarse que típicamente solo se utiliza una cantidad relativamente pequeña de diluyente de formación nuevo como materia prima 14, recuperándose la mayoría del diluyente alimentado al reactor de polimerización a partir del efluente del reactor. Además, las técnicas mejoradas para regenerar los lechos de tratamiento, como se explica a continuación, reducen la cantidad de componentes inertes (por ejemplo, nitrógeno) colocados en el interior del cabezal de antorcha y, de este modo, reducen la cantidad de gas combustible consumido por la misma.

El sistema de alimentación 16 prepara o acondiciona otras materias primas 14, tales como catalizadores, para la adición a los reactores de polimerización. Por ejemplo, se puede activar un catalizador y posteriormente se puede mezclar con un diluyente (por ejemplo, isobutano o hexano) o aceite mineral en tanques de preparación de catalizador. En el área de catalizador del proceso de fabricación 10, un ejemplo de mayor eficiencia energética, como se comenta a continuación, es el uso de un activador de catalizador de mayor tamaño que consume menos gas de combustible que el activador de tamaño tradicional. Además, el activador de mayor tamaño puede desplazar dos o más activadores más pequeños.

Además, el sistema de alimentación 16 típicamente proporciona la medición y controla la velocidad de adición de las materias primas 14 en el reactor de polimerización para mantener la estabilidad deseada del reactor y/o para lograr las propiedades de poliolefina o la velocidad de producción deseadas. En otro ejemplo de mayor eficiencia energética, también comentado a continuación, una técnica mejorada para la dosificación de flujo de monómero (por ejemplo, etileno) al reactor de polimerización consume menos energía. En lugar del tradicional medidor de flujo de orificio, que mide la presión diferencia a través de una placa de orificios y que generalmente requiere el precalentamiento con vapor (o condensado de vapor) del monómero para la medición precisa, se usa un medidor másico (por ejemplo, un medidor de Coriolis de MicroMotion, Inc. de Boulder, Colorado) para medir el flujo de etileno. Típicamente, los medidores másicos no requieren precalentamiento del monómero de etileno y, de este modo, ahorran energía en comparación con el medidor de flujo tradicional de orificios.

Además, durante la operación, el sistema de alimentación 16 también almacena, trata y dosifica el efluente de reactor recuperado para reciclaje al reactor. De hecho, las operaciones del sistema de alimentación 16 generalmente reciben tanto la materia prima 14 como las corrientes recuperadas de efluente de reactor. En total, las materias primas 14 y el efluente recuperado del reactor se procesan en el sistema de alimentación 16 y se alimentan como corrientes de alimentación 18 (por ejemplo, corrientes de monómero, comonómero, diluyente, catalizadores, co-catalizadores, hidrógeno, aditivos o combinaciones de los mismos) al sistema de reactor 20.

B. Sistema de Reactor

El sistema de reactor 20 puede comprender uno o más recipientes de reactor, tales como reactores de fase líquida o de fase gas. El sistema de reactor 20 también puede comprender una combinación de reactores de fase líquida y fase gas. Si los reactores múltiples comprenden el sistema de reactor 20, los reactores se encuentran dispuestos en serie, en paralelo, o en cualquier otra combinación apropiada o configuración. En los recipientes de reactor de polimerización, se polimerizan uno o más monómeros de olefina para formar un producto que comprende partículas poliméricas, típicamente denominadas pelusas o gránulos. La pelusa puede poseer una o más propiedades mecánicas y/o reológicas, físicas en masa fundida de interés, tales como densidad, índice en masa fundida (MI), caudal en masa fundida (MFR), contenido de copolímero o comonómero, módulo y cristalinidad. Las condiciones de reacción dentro, tales como temperatura, presión, caudal, agitación mecánica, derivación de producto, concentraciones de componente, velocidad de producción de polímero, y similares, se pueden seleccionar para

lograr las propiedades deseadas de la pelusa. Los ejemplos de mayor eficiencia energética por medio de menor consumo eléctrico en el sistema de reactor 20, tal y como se presentan a continuación, se proporcionan por medio de técnicas mejoradas para la refrigeración y la descarga de la mezcla de polimerización en el reactor.

5 Además de uno o más monómeros de olefina, se puede añadir un catalizador al reactor para facilitar la polimerización de los monómeros. El catalizador puede ser una partícula suspendida en el medio fluido dentro del reactor. En general, se pueden usar catalizadores de Ziegler, catalizadores de Ziegler-Natta, metallocenos y otros catalizadores de poliolefina bien conocidos, así como también co-catalizadores. Un ejemplo de dicho catalizador es un catalizador de óxido de cromo que contiene cromo hexavalente sobre un soporte de sílice.

10 Además, se alimenta un diluyente al reactor, típicamente en un reactor de fase líquida. El diluyente puede ser un hidrocarburo inerte que es líquido en condiciones de reacción, tal como isobutano, propano, n-pentano, i-pentano, neopentano, n-hexano, ciclohexano, ciclopentano, metilciclopentano, etilciclopentano y similares. La finalidad del diluyente es generalmente suspender las partículas de catalizador y polímero dentro del reactor. Puede suceder que algunos procesos de polimerización no empleen un diluyente por separado, tal como en el caso de producción de polipropileno seleccionado, donde el propio monómero de propileno puede actuar como diluyente.

15 Puede estar presente un dispositivo móvil dentro del reactor en el sistema de reactor 20. Por ejemplo, dentro del reactor de fase líquida, tal como un reactor de suspensión de bucle, un propulsor puede crear una zona de mezcla turbulenta dentro del medio fluido. El propulsor puede estar accionado por un motor para impulsar el medio fluido así como también cualquier catalizador, pelusa de poliolefina, u otras partículas sólidas suspendidas dentro del medio fluido, a través del bucle cerrado del reactor. Similarmente, dentro del reactor de fase gas, tal como un reactor de lecho fluidizado o reactor de flujo pistón, se pueden usar uno o más álabes o agitadores para mezclar las partículas sólidas dentro del reactor. Un ejemplo de técnica para ahorrar energía es la aplicación de una fuerza motriz al medio de fluido en un reactor de suspensión de bucle por medio de una bomba individual más grande en lugar de dos bombas pequeñas (en serie), ahorrando de este modo costes eléctricos.

C. Recuperación de Diluyente/Monómero, Tratamiento y Reciclaje

20 La descarga 22 de los reactores dentro del sistema 20 incluye la pelusa polimérica así como también los componentes no poliméricos, tales como diluyente, comonómero/monómero que no ha reaccionado y catalizador residual. La descarga 22 se procesa posteriormente por medio de un sistema 24 de recuperación de monómero/diluyente para separar los componentes no poliméricos 26 (por ejemplo, el diluyente y el comonómero que no ha reaccionado) de la pelusa polimérica 28. En el sistema 24 de recuperación de diluyente/monómero, se han logrado aumentos de eficiencia energética disminuyendo el consumo eléctrico por medio de eliminación de las etapas de procesamiento, tales como la eliminación de una vaporización instantánea con recuperación a baja presión del diluyente/monómero y la compresión de reciclaje asociada.

25 Con y sin la vaporización instantánea de baja presión, los componentes 26 no poliméricos recuperados y no tratados se pueden procesar de forma adicional, tal como por medio de un sistema de separación 30 para retirar los componentes ligeros y pesados no deseados. Las corrientes 32 de producto separadas se pueden devolver de nuevo al sistema de reactor 20 por medio del sistema de alimentación 16. De acuerdo con la presente invención, los componentes no poliméricos 26 se reciclan directamente al sistema de alimentación 16 (como se indica por medio del número de referencia 34), derivando el sistema de separación 30 y, de este modo, evitando el consumo de energía del sistema de separación 30. De hecho, en determinadas realizaciones, hasta un 80-95 % del diluyente descargado del reactor experimenta derivación del sistema de separación de camino al reactor de polimerización. Como resultado de ello, el tamaño de las columnas de separación y el consumo de vapor asociado en el sistema de separación 30 aguas abajo se pueden reducir en un 70-90 %.

30 Como para el caso de la pelusa 28, se procesa de forma adicional dentro del sistema de recuperación 24 y en el sistema de extrusión/descarga 36, para prepararla para el transporte, en forma de pellas 38, para el cliente 40. Aunque no se ilustra, el intermedio polimérico en forma de gránulos del sistema de recuperación 24 y que típicamente contiene el catalizador residual activo puede devolverse al sistema de reactor 20 para polimerización adicional, tal como en un tipo de reactor diferente o en condiciones de reacción diferentes. La polimerización y las partes de recuperación de diluyente del proceso 10 de fabricación de poliolefina pueden denominarse extremo "húmedo" 42 o lado de "reacción" del proceso 10, y la parte de extrusión/descarga 36 del proceso de poliolefina 10 puede denominarse extremo "seco" 44 o lado de "terminación" del proceso de poliolefina 10.

35 Las técnicas a modo de ejemplo destinadas a aumentar la eficiencia energética pueden incluir la utilización de una presión de proceso, en lugar de una fuerza motriz mecánica-eléctrica (por ejemplo, un dispositivo de insuflado o compresor), para transportar la pelusa polimérica 28 desde el sistema de recuperación 24 hasta el sistema de extrusión/descarga 36. Las técnicas mejoradas también incluyen la operación del sistema de reactor 20 para proporcionar un acoplamiento más directo en la operación del sistema de reactor 20 y el sistema de recuperación 24 hasta el sistema de extrusor/descarga 36. Dicho acoplamiento operativo directo o "próximo" puede reducir la necesidad de tiempo de residencia de proceso de la pelusa 28. De este modo, se pueden reducir el número de recipientes de almacenamiento de pelusa intermedios (por ejemplo, silos) y sistemas asociados de dispositivo de insuflado/compresor y el consumo eléctrico.

D. Sistema de Extrusión/Descarga

En los sistemas de extrusión/descarga 36, típicamente se somete la pelusa 28 a extrusión para producir las pellas poliméricas 38 con las características mecánicas, físicas y en masa fundida deseadas. La corriente de alimentación del extrusor puede comprender aditivos, tales como inhibidores de UV y peróxidos, que se añaden a los productos de pelusa 28 para conferir las características deseadas a las pellas poliméricas 32 sometidas a extrusión. Un extrusor/dispositivo de formación de pellas recibe la corriente de alimentación del extrusor, que comprende uno o más productos de pelusa 28 y cualesquiera aditivos añadidos. El extrusor/dispositivo de formación de pellas calienta y funde la corriente de alimentación del extrusor que, posteriormente se puede extruir (por ejemplo, por medio de un extrusor de husillo gemelar) a través de una boquilla de dispositivo de formación de pellas bajo presión para formar pellas de poliolefina. Dichas pellas típicamente se enfrían en un sistema con agua dispuesto en la descarga del dispositivo de formación de pellas en las proximidades del mismo. La presente técnica de ahorro energético incluye el uso de una bomba de agua de pellas (por ejemplo, que tiene un motor de 15-50 caballos de potencia) para transportar las pellas sometidas a extrusión en el agua de pellas hasta el área de descarga. Esto contrasta con el enfoque tradicional de empleo de un bucle de transporte convencional que típicamente usa un dispositivo de insuflado de pellas que opera a aproximadamente 250-500 caballos de potencia.

En general, las pellas de poliolefina se transportan a continuación hasta una zona de descarga de producto en la que se pueden almacenar, mezclar con otras pellas y/o carga en vagones de ferrocarril, camiones, bolsas, y similares, para la distribución al cliente 40. En el caso de polietileno, las pellas 38 transportadas hasta el cliente 40 pueden incluir polietileno de baja densidad (LDPE), polietileno lineal de baja densidad (LLDPE), polietileno de media densidad (MDPE), polietileno de alta densidad (HDPE) y polietileno mejorado. Se pueden comercializar diversos tipos y calidades de pellas de polietileno 30, por ejemplo, con los nombres comerciales polietileno Marlex® o polietileno MarFlex™ de Chevron-Phillips Chemical Company, LP, de The Woodlands, Texas, EE.UU.

E. Clientes, Aplicaciones y Usos Finales

Las pellas de poliolefina 38 (por ejemplo, polietileno) se pueden usar en la fabricación de una diversidad de productos, componentes, objetos domésticos y otros objetos, incluyendo adhesivos (por ejemplo, aplicaciones adhesivas en masa fundida caliente), cables eléctricos, películas agrícolas, películas retráctiles, películas de estiramiento, películas para el envasado de alimentos, envases para alimentos flexibles, recipientes para leche, envases para alimentos congelados, revestimientos para latas y residuos, bolsas para ultramarinos, bolsas resistentes, botellas de plástico, equipos de seguridad, revestimientos, juguetes y series de recipientes y productos plásticos. Además, se debería enfatizar que las poliolefinas diferentes de polietileno, tales como polipropileno, pueden formar dichos componentes y productos por medio de los procesos comentados a continuación.

Finalmente, los productos y componentes formados a partir de pellas de poliolefina 38 (por ejemplo, polietileno) se pueden procesar de forma adicional y se pueden agrupar para distribución y venta al cliente. Por ejemplo, se puede rellenar una botella de leche de polietileno con leche para su distribución al cliente, o se puede montar el depósito de combustible en un automóvil para su distribución y venta al cliente.

Para formar los productos o componentes finales a partir de pellas 38, generalmente se somete las pellas 38 a un procesamiento adicional, tal como moldeo por soplado, moldeo por inyección, moldeo rotacional, película soplada, película moldeada, extrusión (por ejemplo, extrusión de láminas, tuberías y extrusión corrugada, extrusión por revestimiento/laminado, etc.) y similares. El moldeo por soplado es un proceso para producir partes plásticas huecas. Típicamente, el proceso emplea un equipo de moldeo por soplado, tal como máquinas de husillo recíproco, máquinas de cabezal de acumulador y similares. El proceso de moldeo por soplado se puede adaptar para satisfacer las necesidades del cliente, y para fabricar productos que varían desde botellas de plástico para leche hasta los depósitos de combustible para automóviles mencionados con anterioridad. Similarmente, en el moldeo por inyección, se pueden moldar productos y componentes para una amplia gama de aplicaciones, incluyendo recipientes, envases para alimentos y sustancias químicas, juguetes, automóviles, cajas, tapas y cierres, por citar algunos.

También se pueden usar procesos de extrusión. Se puede someter una tubería de polietileno, por ejemplo, a extrusión a partir de resinas de pellas de polietileno y se pueden usar en un surtido de aplicaciones debido a su resistencia química, facilidad relativa de instalación, durabilidad y ventajas de costes y similares. De hecho, las tuberías de polietileno de plástico han acaparado un uso significativo para conducciones de agua, distribución de gas, alcantarillado para pluviales y sanitario, fontanería para interiores, tubos eléctricos, conductos de electricidad y comunicaciones, tuberías para enfriamiento de agua, tuberías para pozos, por citar algunas aplicaciones. En particular, el polietileno de alta densidad (HDPE), que generalmente constituye el volumen más grande del grupo de plásticos de poliolefina usados para tuberías, es tenaz, resistencia a la abrasión y flexible (incluso a temperaturas por debajo de congelación). Además, las tuberías de HDPE se pueden usar en tuberías de pequeño diámetro y en tuberías de hasta más de 8 pies (2,44 m) de diámetro. En general, las pellas de polietileno (resinas) se pueden suministrar para mercados de tuberías de presión, tales como la distribución de gas natural, y para mercados de tuberías que no necesitan presión, tales como conductos y tuberías corrugadas.

El moldeo rotacional es un proceso de baja presión y alta temperatura usado para formar partes huecas a través de la aplicación de calor a moldes rotados en sentido biaxial. Generalmente, las resinas de pellas de polietileno

aplicables en el presente proceso son aquellas resinas que fluyen juntas en ausencia de presión cuando se funden para formar una parte libre de burbujas. Las pellas 38, tales como determinadas resinas Marlex® HDPE y MDPE, ofrecen dichas características de flujo, así como una amplia ventana de procesamiento. Además, estas resinas de polietileno apropiadas para moldeo rotacional pueden exhibir una resistencia a impacto de baja temperatura deseable, buenas propiedades portantes de carga y buena estabilidad ultravioleta (UV). Por consiguiente, las aplicaciones de las resinas de Marlex® moldeadas por rotación incluyen tanques para agricultura, tanques químicos industriales, tanques de almacenamiento de agua potable, recipientes para residuos industriales, equipos recreativos, productos marinos y muchos más.

La extrusión de láminas es una técnica para preparar láminas de plástico a partir de una diversidad de resinas de pellas 38. Las láminas de calibre relativamente fino generalmente se someten a termo-conformación para dar lugar a aplicaciones de envasado tales como copas para bebidas, recipientes para productos de charcutería, bandejas para productos, recipientes para toallitas húmedas de bebé y tubos para margarina. Otros mercados para la extrusión de láminas de poliolefina incluyen los que emplean láminas relativamente gruesas para aplicaciones industriales y recreativas, tales como revestimientos para suelos de camión, palés, equipajes de automóvil, equipamiento para parques infantiles y barcos. Un tercer uso de la lámina sometida a extrusión, por ejemplo, es en geomembranas, en las que el material de polietileno de lámina plana se suelda para dar lugar a sistemas de contención de gran tamaño para aplicaciones de minería y eliminación de residuos municipales.

El proceso de película soplada es un sistema de conversión relativamente diverso usado para polietileno. La American Society for Testing and Materials (ASTM) define películas como menos de 0,254 milímetros (10 milésimas de pulgada) de espesor. No obstante, el proceso de película soplada puede producir materiales con un espesor de 0,5 milímetros (20 milésimas de pulgada) y mayor. Además, el moldeo por soplado junto con las tecnologías de coextrusión de multicapa y/o monocapa sienta las bases para aplicaciones diversas. Las propiedades ventajosas de los productos de moldeo por soplado pueden incluir transparencia, resistencia, capacidad de desgarro, propiedades ópticas y tenacidad, por citar algunas. Las aplicaciones pueden incluir envasado de alimentos y productos al por menor, envasado industrial, y aplicaciones que no son de envasado, tales como películas agrícolas, películas higiénicas y similares.

El proceso de película moldeada puede diferir del proceso de película soplada en el enfriamiento rápido y las capacidades virtuales de orientación unidireccional. Estas características permiten que un revestimiento de película moldeada, por ejemplo, opere a velocidades de producción más elevadas al tiempo que se producen materiales ópticos ventajosos. La aplicación en el envasado de alimentos y productos al por menor se aprovecha de estas ventajas. Finalmente, las pellas de poliolefina también se pueden suministrar para revestimiento por extrusión y la industria de laminado.

III. Sistema de Alimentación de Reactor de Polimerización

A. Corriente de Alimentación Monomérica

En referencia a la Figura 2, se muestra un diagrama de flujo de proceso de un sistema 16 de alimentación al reactor a modo de ejemplo (de la Figura 1). En la presente realización, el monómero 50 (por ejemplo, etileno) se alimenta a través de dispositivos 52 de tratamiento de monómero al reactor de fase líquida (por ejemplo, un reactor de suspensión de bucle) en el sistema de reactor 20. Además, se usa un medidor 53 de flujo másico, en lugar de un medidor de placa de orificios, para medir el caudal de etileno al reactor.

De hecho, general y típicamente el caudal de monómero de etileno 50 al reactor se mide (y se controla) con el fin de facilitar las condiciones de operación (por ejemplo, la densidad de suspensión, la relación de comonómero/monómero, velocidad de producción, etc.) en el reactor y para proporcionar las propiedades deseadas de polietileno formado en el reactor. El medidor 53 de flujo másico usado para medir el flujo de monómero de etileno puede ser un medidor de Coriolis, por ejemplo. Típicamente, un medidor de Coriolis no utiliza precalentamiento de etileno para la medición precisa del caudal de flujo de etileno. Por el contrario, como se aprecia por parte de los expertos en la técnica, el medidor de placa de orificios generalmente utiliza el precalentamiento de etileno ya que las condiciones de materia prima típicas de etileno pueden operar cerca del punto crítico de etileno (es decir, la presión crítica y la temperatura crítica). Por ejemplo, con la placa de orificios, típicamente la indicación de flujo es imprecisa si el etileno opera cerca de su punto crítico, debido al cambio rápido de la densidad del fluido cerca del punto crítico. Por el contrario, el medidor de flujo másico de Coriolis es tolerante con los cambios de densidad o incluso con los cambios de fase, debido a que su principal tarea consiste en la medición de la masa en lugar de la disminución de presión como en la placa de orificios (que se ve influenciada por la densidad o la fase del fluido). Además de ahorrar vapor o condensado de vapor y no precisar precalentamiento de la corriente de alimentación de monómero de etileno, evitar el calentamiento de etileno tiene como resultado una corriente de alimentación más fría en el reactor de polietileno, y de este modo menos necesidad de retirada del reactor durante la polimerización, lo que se traduce en ahorros energéticos adicionales.

Los medidores de flujo de Coriolis se encuentran fácilmente disponibles y proporcionan una caída de presión baja, facilidad de instalación, limpieza y capacidad de drenaje. Típicamente la precisión de los medidores de Coriolis está dentro del intervalo de un 0,05 % a un 0,4 % con relaciones de rechazo de hasta 200. Los principales suministradores de medidores másicos de Coriolis incluyen, por ejemplo: MicroMotion Company de Boulder,

Colorado; Endress Hauser Company de Greenwood, Indiana; FMC/ Direct Measurement Company, Longmont, Colorado; y Liquid Controls, Inc., de Lake Bluff, Illinois.

B. Otras Corrientes de Alimentación

5 El diluyente de reciclaje 54 (por ejemplo, isobutano) con una cantidad relativamente pequeña de monómero retenido retorna desde el sistema 24 de recuperación de diluyente/monómero (por ejemplo, que corresponde a la corriente 34 de la Figura 1) y se envía al reactor de polimerización. En el ejemplo de reciclaje "directo" al reactor, el diluyente reciclado 54 se puede enfriar y se hace pasar a través de un recipiente 56 de eliminación de fracciones pesadas, donde se eliminan los componentes pesados de una descarga de parte inferior y se envían por medio de una bomba centrífuga 58, por ejemplo, en forma de alimentación 60 hasta el sistema de separación 30. La

10 cabecera 62 del recipiente de eliminación 56 se puede enfriar de forma adicional en un intercambiador de calor 66 y se puede recoger en un tanque 68 de compensación de diluyente de reciclaje para la alimentación al reactor. Aguas abajo, una bomba centrífuga 70 puede proporcionar el diluyente 72 a través de dispositivos 74 de tratamiento de diluyente de reciclaje hasta el reactor de suspensión de bucle. Debería apreciarse que se puede añadir una cantidad relativamente pequeña de diluyente nuevo (no mostrado) en el sistema de separación 30, por ejemplo,

para compensar las pérdidas de diluyente en el proceso de fabricación 10. Además, se puede añadir el comonómero 76 (por ejemplo, 1-hexeno) a la succión de la bomba 70 o en otros puntos del circuito de diluyente de reciclaje para adición al reactor. Los dispositivos 52 de tratamiento de monómero y los dispositivos 58 de diluyente de reciclaje pueden incluir un tamiz molecular o envase de aluminio, por ejemplo, configurados para retirar los venenos del catalizador del monómero, diluyente de reciclaje, corrientes de alimentación de comonómero y otras corrientes de alimentación.

15 Se pueden añadir otros componentes de alimentación al reactor de suspensión de bucle. Por ejemplo, se puede añadir hidrógeno 60 para controlar el peso molecular de la poliolefina formada en el reactor. Además, se pueden inyectar otros aditivos, tales como materiales antiestáticos, en el reactor, como se indica por medio del número de referencia 78. Se pueden combinar las diversas corrientes de componentes en una corriente 80 individual de alimentación para la alimentación al reactor de suspensión de bucle. Además, como se comenta anteriormente, el diluyente 82 que está sustancialmente libre de olefina se puede reciclar a partir del sistema de separación 30 a través de los dispositivos de tratamiento 84 para su uso en la preparación del catalizador que se alimenta al reactor. De hecho, el diluyente 82 puede actuar como vehículo de la corriente de catalizador 88 descargado del sistema 86 de preparación del catalizador de camino al reactor de suspensión de bucle.

C. Dispositivos de Tratamiento de Corriente de Alimentación

20 Tradicionalmente, se han empleado hasta 12-15 dispositivos de tratamiento para procesar las diversas corrientes de alimentación. Por ejemplo, se han usado dispositivos de tratamiento adicionales para retirar los venenos del comonómero, isobutano nuevo e hidrógeno. No obstante, el número total de dispositivos de tratamiento se reduce a seis o menos dispositivos de tratamiento, como se ilustra en la Figura 2. La presente reducción en el número de dispositivos de tratamiento se puede aplicar por medio de la combinación del tratamiento del diluyente nuevo con el diluyente de reciclaje, y usando hidrógeno de calidad de reactor que se encuentra relativamente libre de venenos, y similares. Además, tal y como se ilustra, las corrientes de monómero y diluyente pueden estar configuradas, cada una de ellas, con un dispositivo de tratamiento y un dispositivo de tratamiento de repuesto, para un total de cuatro

25 dispositivos de tratamiento. Nótese que los seis dispositivos de tratamiento ilustrados se pueden reducir de forma adicional a cinco dispositivos de tratamiento compartiendo un dispositivo de tratamiento de repuesto entre las corrientes 50 y 72 de monómero y diluyente. Se pueden emplear otras configuraciones incluso con menos dispositivos de tratamiento. En general, una reducción del número de dispositivos de tratamiento reduce los costes de capital y ahorra energía por medio de la reducción del consumo eléctrico, debido a un escalado más eficaz en la regeneración de los dispositivos de tratamiento (que típicamente usa calor eléctrico).

Además, una técnica mejorada para regenerar los diversos dispositivos de tratamiento 52, 74 y 84, así como también otros dispositivos de tratamiento, implica la reducción de la carga de componente inerte sobre el sistema de la antorcha con el fin de reducir el consumo de gas. Esto se logra por medio de la descarga de nitrógeno de regeneración a partir de los dispositivos de tratamiento a la atmósfera, en lugar de al cabezal de antorcha. En general, se usa nitrógeno para regenerar los diversos dispositivos de tratamiento. Este nitrógeno se ha colocado tradicionalmente en el cabezal de antorcha, lo cual aumenta la carga de componente inerte sobre la antorcha. Como se aprecia por parte del experto en la técnica, generalmente el contenido de combustible, es decir, Unidades Térmicas Británicas (BTU), de la corriente de alimentación a la antorcha se mantiene en un nivel mínimo aceptable para evitar una operación que afecta negativamente a la antorcha. Por tanto, para tener en cuenta una mayor concentración de componentes inertes en el cabezal de antorcha (por ejemplo, debido a la inyección de nitrógeno de regeneración en el cabezal), se añade gas combustible (por ejemplo, gas natural) al cabezal de antorcha. La presente técnica proporciona para la descarga menos del nitrógeno usado para la regeneración en el cabezal y, de este modo, se reduce el consumo de gas combustible.

30

35

En referencia a la Figura 3, se muestra un diagrama de flujo de proceso de un sistema 100 de regeneración de dispositivo de tratamiento. Se hace pasar nitrógeno 102 a través de un intercambiador cruzado 104, donde se precalienta por medio del nitrógeno caliente que se descarga de los dispositivos de tratamiento (por ejemplo, 52, 74 y 84). El nitrógeno precalentado 106 penetra a continuación en el dispositivo 108 de calentamiento de regeneración,

donde un elemento eléctrico 110 calienta el nitrógeno por medio de un controlador 112. En general, el nitrógeno 102 puede suministrarse a partir de un cabezal de nitrógeno principal, por ejemplo, a una presión manométrica nominal de 150 libras por pulgada cuadrada (psig) (10,3 bares de presión manométrica) y temperatura ambiente. El nitrógeno se puede calentar en el dispositivo 110 de regeneración eléctrica hasta aproximadamente 600 °F (316 °C) para la regeneración. El nitrógeno caliente 114 penetra en los dispositivos de tratamiento para regenerar el tamiz molecular o desecante. El nitrógeno caliente 116 que contiene los venenos de catalizador retirados de los dispositivos de tratamiento penetra en el intercambiador cruzado 104, abandonando en forma de corriente gastada 118 que se puede descargar hasta la antorcha 120.

Por otra parte, el nitrógeno limpio que abandona durante el enfriamiento posterior de los dispositivos de tratamiento puede descargarse a la atmósfera 122. En general, la regeneración de los dispositivos de tratamiento tiene lugar mientras se hace circular el nitrógeno caliente a través de los dispositivos de tratamiento. Tras completar la regeneración, típicamente se hace circular el nitrógeno frío a través de los dispositivos de tratamiento para enfriar el dispositivo de tratamiento en la preparación de la operación normal.

En referencia a la Figura 4, se muestra un método 130 de regeneración del dispositivo de tratamiento. Tras la saturación del relleno del tamiz molecular con veneno de los catalizadores y otros componentes, se pueden regenerar los diversos dispositivos de tratamiento. Inicialmente, el proceso hace que el dispositivo de tratamiento saturado quede fuera de servicio y cambie la operación al dispositivo de tratamiento de repuesto, como se evidencia en el bloque 132. Se puede hacer pasar el nitrógeno caliente a través del dispositivo de tratamiento gastado, y el nitrógeno caliente se descarga hasta la antorcha (bloque 134). La cantidad de tiempo que el nitrógeno caliente se hace pasar a través del dispositivo de tratamiento puede verse afectada por una diversidad de factores, tales como las temperaturas de lecho del dispositivo de tratamiento. En general, la regeneración caliente se interrumpe, y el dispositivo de tratamiento preparado para el enfriamiento, cuando la temperatura de salida del lecho alcanza 450 a 500 °F (232-260 °C), y se mantiene a esa temperatura durante al menos dos horas. Dichos procedimientos, no obstante, pueden variar de una planta a otra. Además, el tiempo total de regeneración puede depender también del dispositivo de tratamiento/tamaño de lecho, capacidad del dispositivo de calentamiento de regeneración, flujo de nitrógeno, peso y calidad y espesor del aislamiento que rodea a los dispositivos de tratamiento, y similares. En el ejemplo de un dispositivo 52 de tratamiento de monómero de etileno y/o un dispositivo 74 de tratamiento de diluyente de reciclaje, se puede hacer pasar el nitrógeno caliente a través del dispositivo de tratamiento durante aproximadamente 18-30 horas.

Tras disipar los venenos del catalizador a partir del lecho del dispositivo de tratamiento por medio de la regeneración de nitrógeno caliente, se prepara el dispositivo de tratamiento para el enfriamiento. Se hace pasar el nitrógeno caliente a través del dispositivo de tratamiento para enfriarlo antes de la colocación del mismo de nuevo en operación (bloque 136). En el ejemplo de un dispositivo 54 de tratamiento de monómero de etileno y/o un dispositivo 72 de tratamiento de diluyente reciclado, el tiempo de enfriamiento con nitrógeno es de aproximadamente 8-16 horas. No obstante, de nuevo, el tiempo de ciclo de enfriamiento puede variar considerablemente de una planta a otra. Tradicionalmente, este nitrógeno limpio que abandona el dispositivo de tratamiento se ha descargado hasta el cabezal de antorcha, como con el nitrógeno caliente. La presente técnica, no obstante, proporciona la descarga de nitrógeno limpio a la atmósfera en lugar de al cabezal de antorcha y, de este modo, se reduce la carga inerte sobre la antorcha. De este modo, como se ha comentado, disminuye el consumo de gas combustible.

D. Catalizador de Polimerización

En referencia a la Figura 5, se muestra un diagrama de flujo de proceso del área 86 de preparación de catalizador. Un tanque 140 de mezcla de catalizador recibe el catalizador 142, por ejemplo, a partir de un recipiente portátil. El monómero 82 libre de olefina se mezcla con el catalizador en el tanque 140 de mezcla del catalizador. Un agitador 144 que tiene un motor y un accionamiento 146 y un álabe 148 puede facilitar la mezcla del diluyente 82 y el catalizador 142 en el tanque de mezcla 140. El catalizador de proceso 150 se descarga del tanque de mezcla 140 y puede penetrar, por ejemplo, en el tanque 152 de operación de catalizador para su dosificación en el reactor de suspensión de bucle. El tanque de operación 152 también puede tener un agitador 154 que tiene un motor/accionamiento 156 y un álabe agitador 158 para mantener el catalizador mezclado con el diluyente. El catalizador se puede dosificar, por ejemplo, por medio de una bomba 160 de desplazamiento positivo, en el interior del reactor de suspensión de bucle en forma de corriente de alimentación 88. Adicionalmente, se pueden añadir aditivos, tales como co-catalizadores (por ejemplo, trietilaluminio) 162, al catalizador 88 alimentado al reactor. Finalmente, se debería apreciar que antes de la mezcla y la dosificación del catalizador, se puede activar el catalizador. Por ejemplo, en el caso de un catalizador de óxido de cromo, el activador de catalizador puede convertir el cromo Cr3+ en Cr6+ para la inyección al interior del reactor de polimerización. Mientras se encuentra en el reactor y en contacto con el monómero de etileno, por ejemplo, el Cr6+ se puede reducir hasta Cr2+.

En referencia a la Figura 6, se muestra un diagrama de flujo de proceso de un sistema 170 de activador de catalizador. El producto de catalizador activado del sistema 170 se alimenta al tanque 140 de mezcla de catalizador (catalizador 142) de la Figura 5. En la Figura 6, el activador de catalizador incluye un recipiente interno 172 que contiene el catalizador, y un horno externo 174. El catalizador procedente del suministrador se puede mantener en un recipiente de contención 176 y se puede alimentar al recipiente interno por medio de una válvula de apertura/cierre 178, por ejemplo. Se puede añadir el combustible 180 por medio de un dispositivo de purga o piloto

182, por ejemplo, al interior del horno 180, y se puede combinar el combustible 180 con aire 184 inyectado en el interior del horno por medio de un filtro de aire 186 y un dispositivo 188 insuflado de aire. La combustión puede tener lugar dentro del horno en la región 190, por ejemplo. La región 192 que rodea al recipiente interno 172 puede experimentar temperaturas de operación en un intervalo de ejemplo de 800 a 1700 °F (427-927 °C). El fluido caliente procedente de esta región 192 se puede descargar a la atmósfera 194, como se muestra por medio de la flecha 196.

Además de un calor elevado, el oxígeno se puede suministrar para activar el catalizador. Se puede inyectar aire 198 en la parte inferior del recipiente interno 172 para proporcionar la presencia de oxígeno en el interior del recipiente, con calor proporcionado por medio del horno adyacente 174. El aire que penetra en el recipiente 172 puede abandonar por la parte superior por medio de un filtro 200 de aire interno, por ejemplo, y posteriormente se puede descargar a la atmósfera, como viene indicado por medio del número de referencia 202. El catalizador activado puede descargarse del recipiente 172 en un recipiente 206 de carga de catalizador u otro recipiente. Además, el nitrógeno 208 puede facilitar la descarga del catalizador activado en el interior del recipiente de carga 206, y también puede proporcionar una atmósfera inerte en el recipiente de carga 206.

En general, los procesos de activación de catalizador incluyen hacer pasar aire seco a través del lecho de catalizador a una velocidad constante, al tiempo que se aplica calor, hasta que el catalizador alcance la temperatura deseada, momento en el que el catalizador se mantiene a la temperatura de activación durante un período de tiempo apropiado. Una técnica para mejorar la eficiencia energética de activación del catalizador consiste en aumentar el diámetro del recipiente interno 172. Convencionalmente, el diámetro interno nominal del recipiente 172 es de aproximadamente 42 pulgadas (1,1 metros) o menos. La presente técnica proporciona el aumento del diámetro interno nominal (DI) del recipiente 172 hasta 48-72 pulgadas (1,2-1,8 metros).

Para el ejemplo de un DI nominal de 60 pulgadas (1,5 metros), la tasa de rendimiento de catalizador puede aumentar en un 50-100 %, mientras que el gas combustible 180 consumido en el horno permanece esencialmente constante o aumenta de forma ligera (es decir, menos de un 10 % de aumento). De este modo, la capacidad de activación del catalizador aumenta en un 50-100 %, al tiempo que el valor de utilización del horno permanece en aproximadamente el valor tradicional de 5 millones de BTU por hora. La técnica proporciona una mejora significativa de la eficiencia de gas combustible en el proceso de fabricación 10. De hecho, en determinadas realizaciones, el sistema 170 de activación del catalizador generalmente es el de mayor consumo de gas combustible en el proceso 10 de fabricación de poliolefina.

IV. Sistema de Reactor de Polimerización

En referencia a la Figura 7, se muestran un diagrama de flujo de proceso de un sistema 20 de reactor de polimerización (de la Figura 1) y un sistema 24 de recuperación de diluyente/monómero (también de la Figura 1). Como se ha comentado anteriormente, el sistema de reactor 20 puede comprender uno o más reactores de polimerización, que a su vez pueden ser del mismo tipo o de tipos diferentes. Además, en los sistemas de reactor múltiple, los reactores pueden estar dispuestos en serie o en paralelo. Cualesquiera que sean los tipos de reactores que comprenden el sistema de reactor 20, se genera un producto de poliolefina en forma de partículas, genéricamente denominado como "pelusa" en la presente memoria. Para facilitar la explicación, los siguientes ejemplos se limitan en cuanto a su alcance a tipos específicos de reactor, que se consideran familiares por parte de los expertos en la técnica, y a reactores individuales o combinaciones sencillas. Para el experto común en la técnica de uso de la presente divulgación, no obstante, las presentes técnicas se pueden aplicar de forma simple y fácil a configuraciones de reactor más complejas, tales como las que implican reactores adicionales, diferentes tipos de reactores y/o la ordenación alternativa de reactores o tipos de reactores.

Un tipo de reactor comprende reactores dentro de los cuales tiene lugar la polimerización en una fase líquida. Los ejemplos de dichos reactores en fase líquida incluyen autoclaves, reactores de grupo-líquido de ebullición, reactores de suspensión de bucle (verticales u horizontales) y similares. Por cuestiones de simplicidad, el reactor 42 de suspensión de bucle que produce la poliolefina, tal como polietileno, polipropileno, y sus copolímeros, se comenta en el contexto de las presentes técnicas, aunque se considera que las presentes técnicas se pueden aplicar similarmente a otros tipos de reactores en fase líquida.

El reactor 210 de suspensión de bucle generalmente está formado por segmentos de tubería conectados por pliegues o codos suaves. Una configuración de reactor 210 a modo de ejemplo incluye ocho patas de tubería vertical con camisa, de aproximadamente 24 pulgadas (0,6 metros) de diámetro y aproximadamente 200 pies (61 metros) de longitud, conectadas por medio de codos de tubería en la parte superior e inferior de las patas. Como se comenta a continuación, normalmente se proporciona las camisas de reactor 212 para retirar calor de la polimerización exotérmica por medio de circulación de un medio de refrigeración, tal como agua tratada, a través de las camisas del reactor 212.

El reactor 210 se puede usar para llevar a cabo la polimerización de poliolefinas en condiciones de suspensión en las cuales se forman partículas insolubles de poliolefina en un medio fluido y se suspenden en forma de suspensión hasta su retirada. Un dispositivo móvil, tal como una bomba 214, hace circular la suspensión fluida en el reactor 210. Un ejemplo de bomba 214 es una bomba de flujo axial en línea con un propulsor de bomba dispuesto dentro del reactor 210 para crear una zona de mezcla turbulenta dentro del medio de fluido. El propulsor puede también

ayudar a la propulsión del medio de fluido a través del bucle cerrado del reactor a una velocidad suficiente para mantener las partículas sólidas, tal como el producto de poliolefina o el catalizador, en suspensión dentro del medio de fluido. El propulsor puede accionarse por medio de un motor 216 u otra fuerza motriz.

El medio de fluido del reactor 210 puede incluir monómeros de olefina y comonómeros, diluyente, co-catalizadores (por ejemplo, alquilos, trietilboro, metil aluminoxano, etc.), agentes de control de peso molecular (por ejemplo, hidrógeno) y otros co-reaccionantes o aditivos deseados. Dichos monómeros de olefina y comonómeros generalmente son 1-olefinas que tienen hasta 10 átomos de carbono por molécula y típicamente no tienen ramificación alguna más cerca del doble enlace que la posición 4. Los ejemplos de monómeros y comonómeros incluyen etileno, propileno, buteno, 1-penteno, 1-hexeno, 1-octeno y 1-deceno. De nuevo, los diluyentes típicos son hidrocarburos que son inertes y líquidos en condiciones de reacción, e incluyen, por ejemplo, isobutano, propano, n-pentano, i-pentano, neopentano, n-hexano, ciclohexano, ciclopentano, metilciclopentano, etilciclopentano y similares. Estos componentes se añaden al interior del reactor por medio de entradas o conductos en ubicaciones especificadas, tales como las descritas en la corriente de alimentación 80, que generalmente corresponde a una de las corrientes de alimentación 18 de la Figura 1. De igual forma, se puede añadir un catalizador, tal como los comentados previamente, al reactor 210 por medio de un conducto en una ubicación apropiada, tal como la descrita en la corriente de alimentación 88, que puede incluir un vehículo diluyente y que también puede corresponder generalmente a una de las corrientes de alimentación 18 de la Figura 1. En total, generalmente los componentes añadidos están compuestos de un medio de fluido dentro del reactor 210 en cuyo interior el catalizador está en forma de partícula suspendida.

Las condiciones de reacción, tales como temperatura, presión y concentraciones de reaccionante, se regulan para facilitar las propiedades deseadas y la velocidad de producción de la poliolefina en el reactor, para controlar la estabilidad del reactor, y similares. Típicamente, se mantiene la temperatura por debajo de un valor en el cual el producto polimérico se incorporaría a la disolución. Como viene indicado, debido a la naturaleza exotérmica de la reacción de polimerización, se puede hacer circular un fluido de refrigeración a través de las camisas 212 alrededor de partes del reactor 210 de suspensión de bucle, para retirar el exceso de calor, manteniendo de este modo la temperatura dentro del intervalo deseado, generalmente entre 150 °F y 250 °F (de 65 °C a 121 °C). De igual forma, se puede regular la presión dentro de un intervalo de presión deseado, generalmente de 100 a 800 psig (de 6,9 a 55 bares de presión manométrica), resultando típico un intervalo de 450-700 psig (31-48 bares de presión manométrica). Para reducir el consumo eléctrico en el sistema de reactor 20, se puede reducir el tamaño de la bomba de refrigerante que hace circular el agua tratada a través de las camisas 212, reduciendo el caudal de agua (por ejemplo, a la mitad) y permitiendo un ΔT de aumento de temperatura mayor del agua (por ejemplo, un ΔT dentro del intervalo de 15 a 45 °F (8,3-25 °C), en lugar del valor típico de 10 °F (5,6 °C)). De este modo, en una realización, la potencia del motor de bomba de refrigerante (véase las Figuras 8 y 9) se puede reducir en un 30-70 %.

A medida que transcurre la reacción de polimerización dentro del reactor 210, el monómero (por ejemplo, etileno) y los comonómeros (por ejemplo, 1-hexeno) polimerizan para formar polímeros de poliolefina (por ejemplo, polietileno) que son sustancialmente insolubles en el medio fluido a la temperatura de reacción, formando de este modo una suspensión de partículas sólidas dentro del medio. Estas partículas sólidas de poliolefina se retiran del reactor 210 por medio de salida continua, como se muestra en la corriente de descarga 22. En el procesado aguas abajo, el polietileno descargado del reactor se puede extraer de la suspensión y se puede purificar.

V. Sistema de Recuperación de Diluyente/Monómero

A. Cámara de Vaporización Instantánea

La descarga 22 procedente del reactor 210 puede fluir a través de un dispositivo 222 de calentamiento instantáneo en línea al interior de una cámara 224 de vaporización instantánea. El dispositivo 222 de calentamiento instantáneo en línea puede ser un conducto adyacente que usa vapor o condensado de vapor, por ejemplo, como medio de calentamiento para proporcionar un calentamiento indirecto a la descarga 22. De este modo, el efluente del reactor 210 de suspensión de bucle (descarga 22) se calienta antes de su introducción en la cámara 224 de vaporización instantánea. De igual forma, antes de que la descarga 22 penetre en la cámara 224 de vaporización instantánea, se pueden inyectar agua u otro veneno de catalizador en la descarga 22 para desactivar cualesquiera catalizadores residuales en la corriente de descarga 22. Debido a que estos componentes inyectados son venenos de catalizador por definición, típicamente se retiran por completo, o al menos se retiran de forma sustancial, partir de cualquier material recuperado (por ejemplo, monómero o diluyente) reciclado al reactor 210.

En la cámara 224 de vaporización instantánea, la mayoría de los componentes no sólidos de la descarga de reactor 22 se extraen por encima en forma de vapor en el gas desprendido 226. Nótese que el gas 226 desprendido reciclado experimenta derivación con respecto al sistema de separación en el camino hasta el reactor 210 (es decir, por medio del sistema de alimentación 16). En la producción de polipropileno, este vapor es de forma típica principal un diluyente, tal como isobutano u otros diluyentes comentados con anterioridad. También puede contener la mayoría del monómero que no ha reaccionado (por ejemplo, etileno) y otros componentes ligeros, así como el comonómero que no ha reaccionado (por ejemplo, 1-hexeno, buteno, 1-penteno, 1-octeno y 1-deceno) y otros componentes pesados (por ejemplo, hexano y oligómeros). En general, los componentes ligeros o "fracciones ligeras" se pueden definir como aquellos componentes ligeros con puntos de ebullición más bajos que el diluyente

5 empleado. Al contrario, los componentes pesados o "fracciones pesadas" se pueden definir como aquellos componentes con puntos de ebullición más altos que el diluyente empleado. Una composición aproximada a modo de ejemplo del gas desprendido 226 es de un 94 % en peso de isobutano, un 5 % en peso de etileno y un 1 % en peso de otros componentes. Se puede mantener un nivel o volumen de pelusa en la cámara 224 de vaporización instantánea para proporcionar un tiempo de residencia adicional de la pelusa en la cámara 224 con el fin de facilitar la separación del líquido y vapor retenidos en las partículas de pelusa porosas.

10 El gas desprendido 226 se puede procesar en un equipo tal como ciclones, filtros de mangas, etc., donde se retiran los sólidos de pelusa retenidos y se devuelven a la cámara 224 de vaporización instantánea o al equipo aguas abajo, tal como la columna de purga comentada a continuación. El gas desprendido 226 también puede viajar a través de un lecho de desoxigenación, por ejemplo. Además, el gas desprendido 226 se puede enfriar o se puede condensar en un intercambiador de calor (por ejemplo, construcción de tipo carcasa-y-tubo) antes de su reciclaje al sistema de alimentación 16 o sistema de separación 30. Para reducir el consumo de vapor en el sistema de separación 30, el gas desprendido 226 experimenta derivación con respecto al sistema de separación 30 y vuelve más directamente al reactor 210 por medio del sistema de alimentación 16.

15 Como para los sólidos (polímero) de la cámara 224 de vaporización instantánea, se extraen con una pequeña cantidad de diluyente retenido (y monómero) y se envían a una columna de purga 228 por medio de la descarga de sólidos 230. Como se puede apreciar por parte de los expertos en la técnica, el conducto 230 de descarga de sólidos puede incluir configuraciones de válvula que permitan que el polímero fluya en sentido descendente a través del conducto, al tiempo que se reduce el potencial de flujo del vapor entre la columna de purga 60 y la cámara 56 de vaporización instantánea. Por ejemplo, se pueden disponer uno o más válvulas de ciclado o rotatorias sobre el conducto de descarga de sólidos 230. Además, también se puede disponer una cámara de pelusa relativamente pequeña sobre el conducto. Tradicionalmente, los sólidos de pelusa procedentes de la cámara de vaporización instantánea se descargan en el interior de una cámara de vaporización instantánea de baja presión, siendo necesaria la compresión del gas desprendido de baja presión para lograr el reciclaje hasta el sistema de separación 30 y el reactor. No obstante, las presentes técnicas proporcionan la eliminación de la vaporización instantánea a baja presión y la compresión asociada (un consumo significativo de electricidad) y la descarga de los sólidos de la pelusa procedentes de la cámara 224 de vaporización instantánea hasta la columna de purga 228. Dicha descarga hasta la columna de purga puede incluir configuraciones de válvula apropiadas, una cámara de compensación o simplemente un conducto y similares. Nótese que determinadas realizaciones proporcionar una descarga de pelusa continua procedente de la cámara de vaporización instantánea, que elimina una o más válvulas de ciclado relativamente grandes y el consumo energético asociado.

B. Columna de Purga

25 La alimentación de sólidos principal a la columna de purga 228 es típicamente la descarga de sólidos 230 (pelusa de poliolefina) que abandona la cámara 224 de vaporización instantánea. Una finalidad de la columna de purga 228 es retirar el hidrocarburo residual de las corrientes de sólidos que entran y proporcionar una pelusa de polímero 232 sustancialmente limpia. La pelusa 232 se puede transportar al sistema 36 de extrusión/descarga para la conversión en pellas 38, y para distribución y venta en forma de resina de pella de poliolefina para el cliente 40. En general, las partículas poliméricas tratadas descargadas de la columna de purga 228 en forma de pelusa polimérica 232 se pueden procesar en una operación de acabado convencional, tal como un extrusor de husillo, en el sistema de extrusión/descarga 36 (Figura 1).

30 En el sistema de columna de purga a modo de ejemplo ilustrado, se hace circular nitrógeno a través de la columna de purga 228 para retirar los hidrocarburos residuales por medio de la descarga de cabecera 234. La descarga 234 se puede enviar a través de una unidad de separación 236, tal como una unidad de recuperación de membrana, unidad de adsorción de oscilación de presión, unidad de refrigeración y similares, para recuperar nitrógeno por medio de la corriente de nitrógeno 238 y para descargar la corriente 240 de hidrocarburo separado en forma de corriente de alimentación al sistema de separación 30. En la técnica, la unidad de separación 236 puede resultar conocida como Unidad de Recuperación de Nitrógeno e Isobutano (INRU). Además, se puede añadir nitrógeno nuevo 242 al circuito de nitrógeno para compensar las pérdidas de nitrógeno en el sistema 228 de columna de purga. Finalmente, se debería apreciar que la corriente de hidrocarburo 240 puede proporcionar de forma ventajosa una corriente de alimentación al sistema de separación 30 (véase la Figura 13). Por ejemplo, la corriente de hidrocarburo 240 que se descarga de la unidad de separación 236 hace que la corriente de alimentación de hidrocarburo se encuentre disponible y se pueda procesar para proporcionar el diluyente libre de olefina usado en la preparación del catalizador.

C. Configuraciones Alternativas

35 Como se aprecia por parte de los expertos en la técnica, se pueden emplear una diversidad de configuraciones en el sistema 24 de recuperación de diluyente/monómero. Por ejemplo, se puede enviar la descarga de sólidos 230 procedente de la cámara 224 de vaporización instantánea a otro reactor (por ejemplo, un reactor en fase gas) en lugar de a la columna de purga 228 o a la cámara de vaporización instantánea de baja presión. Si se descarga a otro reactor, es posible que el veneno de catalizador no se inyecte aguas arriba de la descarga 22 y, de este modo, queden catalizadores activos residuales para polimerización adicional

En otra configuración, la columna de purga 228 se puede eliminar del sistema de recuperación 20 y se puede combinar con el tanque de alimentación aguas abajo. La unidad de separación 236 asociada a la columna de purga 228 se puede reubicar para adaptarla al tanque de alimentación del extrusor si se desea. De este modo, se puede utilizar el proceso de presión elevada en la cámara 224 de vaporización instantánea para transportar las partículas de pelusa en la descarga de sólidos 230 hasta el sistema 36 de extrusión/descarga, eliminando un sistema de dispositivo de insuflado (y el consumo eléctrico asociado) tradicionalmente usado para transportar la pelusa 232 hasta el sistema de extrusión/descarga. Además, el calor de las partículas de pelusa puede quedar retenido ya que las partículas no se someten al efecto de refrigeración típico del nitrógeno en un bucle de transporte de dispositivo de insuflado convencional. De este modo, se puede usar menos calentamiento de las partículas de pelusa en el sistema de alimentación del extrusor aguas abajo. Finalmente, se puede usar la presión del proceso de la cámara 224 de vaporización instantánea para transportar las partículas de pelusa en una configuración de transporte de fase densa, rebajando de este modo la velocidad de las partículas que fluyen y reduciendo el daño de las partículas debido al transporte.

VI. Enfriamiento del Reactor

Una técnica mejorada para la refrigeración del reactor proporciona una bomba de refrigerante más pequeña y un motor asociado y, de este modo, una reducción del consumo eléctrico. Para lograr la instalación y operación de una bomba de refrigerante más pequeña (es decir, bomba de agua de refrigeración), se permite que la temperatura del agua de refrigeración a través de las camisas del reactor aumente más que la especificación de diseño convencional de 10 °F (5,6 °C). De este modo, se puede reducir el flujo de agua de refrigeración (y el tamaño de la bomba de refrigerante).

A. Reactor de Suspensión de Bucle

La Figura 8 muestra un reactor 210 de polimerización a modo de ejemplo de la Figura 7 y muestra un esquema de flujo en contra-corriente de medio de refrigeración a través de las camisas del reactor 212A-H. De nuevo, generalmente el reactor de bucle 210 está formado por segmentos de tubería conectados por pliegues o codos suaves. Un dispositivo móvil, tal como una bomba 214, hace circular la suspensión fluida en el reactor 210. Un ejemplo de bomba 214 es una bomba de flujo axial en línea con un propulsor de bomba dispuesto dentro del reactor 210. Un sistema de refrigerante 250 retira calor del reactor de bucle 210 por medio de las camisas de reactor 212A-H. El sistema de refrigerante 250 proporciona un suministro de refrigerante 252 (por ejemplo, agua tratada) y procesa un retorno de refrigerante 254.

A medida que transcurre la reacción de polimerización dentro del reactor 210, se pueden controlar las condiciones de reacción para facilitar el grado deseado de polimerización y la velocidad de reacción deseada, al tiempo que se mantiene la temperatura por debajo del valor en el cual el producto polimérico se incorporaría a la disolución. Como se ha mencionado, debido a la naturaleza exotérmica de la reacción de polimerización, se pueden proporcionar camisas de refrigeración 212A-H alrededor de las partes del sistema de bucle cerrado a través del cual se hace circular el fluido de refrigeración según sea necesario, para retirar el exceso de calor (calor de reacción), manteniendo de este modo la temperatura dentro del intervalo deseado, generalmente entre 150 °F y 250 °F (de 65 °C a 121 °C).

En general, la temperatura del reactor varía linealmente con cambios en las condiciones de operación del sistema de reactor. Una suposición aceptada en la técnica es que el calor generado en el reactor por medio de polimerización exotérmica es lineal con la velocidad de producción de poliolefina (es decir, libras por hora de poliolefina polimerizada). De este modo, la temperatura del reactor, que es un indicativo de la energía o calor del reactor, varía linealmente con la velocidad de producción. Como se aprecia por parte del experto en la técnica, el control típico de la temperatura del reactor puede suponer un algoritmo proporcional de integral-derivada (PID).

B. Sistema Refrigerante de Reactor

En referencia a la Figura 9, se muestra un diagrama de flujo de proceso de un sistema refrigerante 250 para el reactor 210 de suspensión de bucle de la Figura 8. El sistema de refrigerante 250 proporciona un suministro de refrigerante 252 a las camisas del reactor 212A-H. El sistema de refrigerante 250 recibe el retorno de refrigerante 254 procedente de las camisas del reactor 212A-H. Se puede usar una diversidad de refrigerantes para retirar o añadir calor al sistema de reactor. En esta realización ilustrativa, se usa condensado de vapor (agua desmineralizada) como refrigerante. El retorno de refrigerante 254 "transporta" el calor retirado a partir del reactor. El sistema de refrigerante 250 transfiere este calor a un medio refrigerante de instalación, tal como agua de mar o agua de la torre de refrigeración. El sistema de refrigerante proporcionar un suministro 252 de refrigerante "enfriado" a las camisas del reactor. Las temperaturas típicas del suministro de refrigerante 252 varían de 105 °F a 150 °F (41-66 °C) y las temperaturas típicas del retorno de refrigerante 254 varían de 130 °F a 190 °F (54-88 °C).

Se puede hacer circular un flujo de refrigerante a través del sistema de refrigerante 250 y a través de las camisas del reactor 212A-H, por ejemplo, por medio de una bomba centrífuga, como se ilustra por medio de la bomba de refrigerante 256. Una base de diseño a modo de ejemplo de una bomba de refrigerante 256 es de aproximadamente 50 a 60 libras por pulgada cuadrada (psi) (3,4-4,1 bares) proporcionados en cabeza a un valor de 3 a 12 millones de libras (1,4-5,4 x 10⁶ kg) por hora de refrigerante. Una configuración de ejemplo de las camisas

del reactor 212A-H (Figura 8) son dos intercambiadores de doble tubo en contra-corriente operados en paralelo, con el tubo interno (el reactor) con un diámetro interno de aproximadamente 22 pulgadas (0,56 metros) y el tubo externo (la camisa) con un diámetro interno de aproximadamente 28 pulgadas (0,7 metros). En el presente ejemplo, el área total de transferencia de calor de las camisas del reactor 212A-H es de aproximadamente 5.000 pies cuadrados (460 m²).

La circulación de refrigerante puede ser un sistema hidráulicamente completo de bucle cerrado. Se puede emplear un tambor de compensación 28 en el circuito de refrigerante (es decir, en la succión de la bomba 256 o en las proximidades) para mantener el líquido del circuito lleno y reducir las oscilaciones de presión del sistema de refrigerante por medio de la compensación de la expansión hidráulica provocada por las oscilaciones de temperatura del refrigerante. De este modo, se puede mantener la presión en un valor sustancialmente constante en la succión de la bomba 256 por medio del control de nivel y la presión del tambor de compensación.

Típicamente, el caudal total de circulación de refrigerante a través del sistema de refrigerante y las camisas del reactor se mantiene constante y se puede medir en el elemento de flujo 258. El elemento de flujo 258 puede representar, por ejemplo, una placa de orificios instalada en la tubería de refrigerante. Un sistema de control de flujo puede calcular el caudal de circulación en base al tamaño de orificio y las presiones medidas aguas abajo y aguas arriba. Se puede recibir la indicación de caudal a partir del elemento de flujo 258 por medio del controlador de flujo 260, que puede ser un bloque de control en un sistema de control distribuido (DCS). Para mantener el flujo total constante, el rendimiento del controlador de flujo 260, usando una señal de control 266, puede ajustar la posición de la válvula 262 en una línea 264 de derivación de flujo. Un ejemplo de sistema de control distribuido bien conocido en la técnica es el sistema de control Honeywell TDC-3000. Normalmente, resulta deseable minimizar el movimiento de la posición de la válvula 262 para evitar el ciclado de la bomba de refrigerante 26. De este modo, un medio adicional en otros puntos del sistema puede contribuir a mantener el caudal total de circulación de refrigerante en un valor constante.

Durante la operación normal de un reactor 210 de suspensión de bucle, se retira calor de los contenidos del reactor, y se somete el calor a intercambio en un dispositivo de refrigeración 250, que puede representar uno o más dispositivos de refrigeración. Se retira calor del refrigerante en el dispositivo de refrigeración 274 para enfriar el suministro de refrigerante 252 a las camisas del reactor 212A-H. El dispositivo de refrigeración 250 puede ser, por ejemplo, un intercambiador de calor de carcasa y tubo o un intercambiador de calor de placa y bastidor. Un medio de refrigeración, tal como agua de mar o agua de la torre de refrigeración, fluye a través del dispositivo de refrigeración opuesto al refrigerante, retirando calor a través del área superficial de transferencia de calor pero sin mezclarse con el refrigerante. El flujo del medio de refrigeración viene representado en el presente ejemplo por el suministro 272 de agua de refrigeración y el retorno 274 de agua de refrigeración. La torre de refrigeración (no mostrada) puede procesar el medio de refrigeración circulante retirando calor del retorno 272 de agua de refrigeración y proporcionando un suministro 274 de agua de refrigeración. De este modo, el agua de la torre de refrigeración retira calor del refrigerante, lo que a su vez retira calor del reactor 210. En un ejemplo, el dispositivo de refrigeración 268 representa cuatro dispositivos de refrigeración de intercambiador de placa y bastidor que operan en paralelo, presentando cada dispositivo de refrigeración aproximadamente 200 placas de acero inoxidable (304) y aproximadamente una superficie de 1600 pies cuadrados (150 m²) de transferencia de calor, con un coeficiente de transferencia de calor que varía de aproximadamente 200 a más de 800 Btu /h/pie cuadrado/° F (de 1.135,6 a 4.542,3 W/m² °C) como función del caudal de refrigerante. El calor retirado es de aproximadamente 15,5 millones de BTU/h, retirado por cada dispositivo de refrigeración con una disminución de presión de diseño de aproximadamente 3 psi (0,2 bar) en el lado del refrigerante. Para el control de la temperatura, el controlador de refrigerante 276 (controlador de temperatura de refrigerante) mantiene la temperatura del suministro del refrigerante a la camisa del reactor. El controlador de refrigerante 276 envía una señal de salida 278 para ajustar las posiciones de la válvula 270 (y potencialmente otras válvulas).

C. Flujo de Refrigerante Reducido

Como se ha mencionado, el caudal de refrigerante a través de las camisas del reactor 212A-H se puede reducir permitiendo un mayor aumento de la temperatura del refrigerante. Tradicionalmente se ha mantenido la diferencia de temperatura, ΔT , entre el suministro de refrigerante 252 y el retorno de refrigerante 254 en un valor de 10 °F (5,6 °C). En otras palabras, posteriormente se ha permitido el aumento de la temperatura del retorno de refrigerante 254 únicamente hasta una temperatura de aproximadamente 10 °F (5,6 °C) por encima de la temperatura del suministro de refrigerante 252. Actualmente, no obstante, se permite el aumento de la temperatura del retorno de refrigerante 254 más de 10 °F (5,6 °C) (por ejemplo, 15-45 °F (8,3-25 °C) y más) por encima de la temperatura del suministro de refrigerante 252. De este modo, el circuito de refrigeración puede absorber la misma cantidad de calor o más procedente del reactor 210 con menos flujo de refrigerante a través de las camisas del reactor. Para el ejemplo de un valor de ΔT de 20 °F (11 °C) con respecto al ΔT habitual de 10 °F (5,6 °C), el caudal se reduce a aproximadamente la mitad. De este modo, se puede reducir el tamaño del motor de la bomba de refrigerante 256 (por ejemplo de 1250 caballos a 600 caballos de potencia).

VIII. Hélices de Guía para la Bomba de Reactor de Bucle

Las presentes técnicas proporcionan el uso de hélices de guía en la bomba del reactor de bucle que hacen circular los contenidos del reactor. Dicho uso de hélices de guía mejora la eficiencia de la bomba, reduce el consumo

- eléctrico y disminuye el uso eléctrico normalizado a través del aumento de la velocidad de producción de poliolefina. Además de la eficiencia de bomba mejorada, la aplicación de hélices de guía mejora las varias características de rendimiento del reactor de bucle y la bomba de reactor de bucle. Se obtienen aumentos, por ejemplo, en la velocidad de circulación, la presión diferencia de la bomba, la capacidad de operación de sólidos esperada en el reactor de bucle, y como se ha mencionado, la velocidad de producción de poliolefina en el reactor y similares. En el caso del reactor de bucle de 24 pulgadas (0,6 metros) de diámetro interno, el uso de hélices de guía en la bomba del reactor puede proporcionar una producción de poliolefina dentro del intervalo de 1,1 a 1,3 miles de millones de libras (0,5-0,6 x 10⁹ kg) de poliolefina al año. Se pueden emplear hélices de guía en las nuevas instalaciones o en el acondicionamiento de las bombas de reactor de bucle ya existentes, con el fin de producir una velocidad más elevada de suspensión y cabeza de la bomba, lo cual permita un tiempo de residencia y un nivel de sólidos más elevado en el reactor. Los aumentos en la cabecera de la bomba pueden variar, por ejemplo, de un 5 a un 25 %.
- Se pueden utilizar las hélices de guía, por ejemplo, en bombas de bucle que tienen un diámetro externo nominal dentro del intervalo de 24 pulgadas a 32 pulgadas (0,6-0,8 metros). Las condiciones a modo de ejemplo de dichas bombas son de 240-300 pies (73-91 metros) de calor a 35.000-40.000 galones (13-15 x10⁵ litros) por minuto (gpm) con una mejora de la eficiencia de bomba dentro del intervalo de un 1-4 %. Las hélices de guía permiten un reactor de mayor tamaño que tenga la misma velocidad de circulación que un reactor más pequeño. En el ejemplo específico de una bomba de 30 pulgadas (0,76 metros), la bomba que tiene hélices de guía proporciona una circulación apropiada en un reactor de 45.000-55.000 galones (17-21 x10⁵ litros). Otras configuraciones para aumentos incluso mayores del volumen del reactor pueden incluir diámetros de bomba más grandes, el uso de dos bombas de reactor, o el aumento del diámetro del reactor para acortar la longitud del mismo, y similares.
- En general, se pueden emplear de tres a seis hélices de guía, que tienen un ángulo de hélice relativo dentro del intervalo de 0 a 30 grados. Como se apreciará por parte de los expertos en la técnica, el ángulo relativo de hélice es el ángulo de la hélice de guía relativo al ángulo de borde frontal del impulsor de bomba. En otras palabras, el ángulo de hélice relativo es la diferencia en el promedio del ángulo de salida de la hélice de guía y el ángulo frontal del álabe de la bomba, con respecto al plano de rotación del impulsor. Un número positivo grande del ángulo de hélice relativo generalmente significa que la suspensión del reactor rota menos por medio de las hélices de guía pre-turbulentas, mientras que un número pequeño o negativo generalmente significa que la suspensión rota más. La dirección de rotación pre-turbulenta de la suspensión es la dirección opuesta a la de rotación del impulsor de la bomba.
- Se puede soldar una hélice de guía típica a la pared de la tubería del reactor aguas arriba del impulsor de la bomba. La colocación de las hélices de guía puede ser de 0,1 a 2 diámetros de tubería aguas arriba del impulsor de bomba. Las hélices de guía se pueden colocar lejos del centro del impulsor y aguas arriba del borde del reactor que conecta con la succión de la bomba. En este caso, el desmontaje de la tubería de succión de bomba puede verse facilitado, cuando las hélices de guía no se extienden aguas abajo del borde.
- En un ejemplo, las hélices de guía comienzan a aproximadamente 24 pulgadas (0,6 metros) de longitud, 6-7 pulgadas (150-180 mm) de alto, y 0,6-0,9 pulgadas (15-23 mm) de grosor. Las hélices de guía se pueden curvar y doblar de forma que sean sustancialmente paralelas a la dirección de flujo y el extremo de descarga se encuentra con el ángulo relativo deseado, al tiempo que siguen a lo largo del interior de la tubería de succión de la bomba. El borde aguas arriba de las hélices de guía puede estar inclinado de forma que los residuos de fragmentos de polímeros grandes (por ejemplo, "cordones" o "cuerdas" de polímero) alcancen el borde aguas arriba, los residuos o fragmentos tienen tendencia a deslizarse ventajosamente hasta el centro de la tubería y por tanto quedan libre de las hélices de guía.

IX. Derivación Continua de la Descarga de Efluente del Reactor

A. Configuración y Ventajas

- En las Figuras 10-12 se ilustra un mecanismo de derivación continua de la descarga de reactor 22. En referencia a la Figura 10, se muestra un mecanismo 280 de derivación continua dispuesto en un codo de tubería del reactor 210 de suspensión de bucle. El mecanismo 280 de derivación continua incluye un cilindro de derivación 282, una línea 284 de extracción de suspensión, una válvula 285 de desconexión de emergencia, una válvula 286 de motor proporcional para regular el flujo y una línea de lavado 287. El reactor 210 se puede operar lleno de "líquido", y debido a que los contenidos de líquido del reactor son ligeramente compresibles, se puede lograr el control de presión del líquido a través del sistema por medio de una válvula. Además, cuando la entrada de diluyente se mantiene sustancialmente constante, se puede usar la válvula 58 de motor proporcional para controlar la velocidad de extracción continua y para mantener la presión total de reactor dentro de los puntos de referencia.
- En referencia a la Figura 11, que se toma a lo largo de la línea de sección 11-11 de la Figura 10, se muestra un codo de tubería ligeramente curvado que tiene el mecanismo 280 de derivación continua. De este modo, se puede considerar que el codo de tubería ilustrado es un codo que transporta un apéndice. Como se muestra, el mecanismo incluye un cilindro de derivación 282 que se encuentra unido, en este ejemplo, con un ángulo recto a una tangente a la superficie externa del codo. Además, el acoplamiento del cilindro 282 es la línea 284 de extracción de suspensión. Se dispone una válvula de pistón 288 dentro del cilindro de derivación 282, la cual puede servir al menos para dos fines. En primer lugar, puede proporcionar un mecanismo de limpieza para el cilindro de

derivación, en caso de obstrucción con el polímero, por ejemplo. En segundo lugar, puede servir como válvula de desconexión para el conjunto completo de derivación continua.

La Figura 12 muestra la orientación del cilindro de derivación 282 que se encuentra fijado tangencialmente a la curvatura del codo y en un punto justo antes de que el flujo de suspensión se vuelva en sentido ascendente. La abertura puede ser elíptica hacia la superficie interior, por ejemplo, y además se puede incorporar un alargamiento para mejorar la derivación de sólidos. Finalmente, debería apreciarse que es posible incorporar una diversidad de orientaciones de unión del cilindro de derivación 282.

La derivación continua de la suspensión de producto de una reacción de polimerización llevada a cabo en un reactor de bucle en presencia de un diluyente inerte permite la operación del reactor a una concentración de sólidos mucho más elevada que la correspondiente a la(s) pata(s) de sedimentación convencional(es) usada(s) para descargar el polímero. Por ejemplo, la producción de polímeros predominantemente de etileno (polietileno) en diluyente de isobutano generalmente se ha limitado a una concentración máximo de sólidos en el reactor de un 37-40 por ciento en peso (% en peso) con la configuración de patas de sedimentación. No obstante, se ha comprobado que la derivación continua (CTO) permite aumentos significativos de la concentración de sólidos. Como resultado de ello, se puede aplicar una concentración de sólidos mayor de un 50 % en peso en el reactor con la derivación continua. Debería enfatizarse que en una operación comercial, un pequeño aumento en porcentaje de la concentración de sólidos es de principal importancia. Dicho aumento, por ejemplo, permite velocidades de producción de polietileno más elevadas y, de este modo, generalmente proporciona una mayor eficiencia energética normalizada. Además, menos líquido en la descarga del reactor 22 puede incorporar menos carga a los sistemas 22 y 24 de recuperación y separación aguas abajo y, de este modo, se reduce el consumo energético aguas abajo. Adicionalmente, esta técnica puede suponer ahorros de consumo eléctrico, ya que la descarga de derivación continua retira más finos del reactor que la descarga convencional. Con menos área superficial de partículas en el reactor, la mezcla de fluidos puede operar a una viscosidad menor, proporcionando una circulación más sencilla de la mezcla a través del reactor y, de este modo, requisitos de potencia asociada y bombeo menos exigentes.

B. Tamaño de Partícula de Poliolefina

Además, el aumento de la capacidad de transporte de sólidos del reactor también aumenta la capacidad de operación del reactor con un rendimiento espacio-tiempo más elevado (por ejemplo, 2,6 deseado o más), tal y como se mide en libras de producto polimérico producido por hora por cada galón (3,8 litros) de volumen de reactor o medidas equivalentes. Dicho aumento del rendimiento espacio-tiempo junto con una menor incidencia de obstrucciones en el reactor puede tener como resultado una mayor producción de poliolefinas y rendimiento del reactor 10.

Para aumentar la capacidad de transporte de sólidos del reactor, puede resultar deseable producir partículas poliméricas en el intervalo de tamaño deseado, de forma que las partículas poliméricas sean más susceptibles de mantenerse en suspensión, permitiendo de este modo alcanzar un mayor porcentaje en peso de sólidos en el reactor. Por ejemplo, se puede usar un catalizador de Englehard Lynx 100, que produce en promedio partículas poliméricas más pequeñas que las producidas usando el catalizador de Cromo Davidson 969 MS, para lograr un contenido de sólidos más elevado en el reactor sin inducir obstrucción alguna. En el presente ejemplo, las partículas poliméricas producidas por el catalizador Lynx 100 pueden hacerse circular con niveles de sólidos más elevados en comparación con las partículas poliméricas producidas por el catalizador 969 MS.

El intervalo de tamaño deseado puede variar dependiendo del producto polimérico y las condiciones de reacción. En una realización, para mantener las condiciones de reacción apropiada en el reactor de suspensión de bucle que opera en condiciones de reacción tal como las comentadas con respecto a la Figura 1, menos de un 1 % en peso de las partículas poliméricas son mayores de 1.500 μ . En otra realización, menos de un 5 % en peso de las partículas poliméricas son mayores de 1.000 μ . En otra realización, menos de un 0,1 % en peso de las partículas poliméricas son mayores de 1.500 μ y/o menos de un 0,5 % en peso de las partículas poliméricas son mayores de 1.000 μ .

En el otro extremo, para evitar problemas asociados con un número excesivo de partículas finas, en una realización, menos de un 5 % en peso de las partículas poliméricas son menores de 100 μ y, en otra realización, menos de un 0,5 % en peso de las partículas poliméricas son menores de 100 μ . Además, en otra realización, más de un 70 % en peso de las partículas poliméricas están entre 300 μ y 500 μ y, en una realización adicional, más de un 80 % en peso de las partículas poliméricas están entre 300 μ y 500 μ . En otra realización, más de un 90 % en peso de las partículas poliméricas son están entre 300 μ y 500 μ .

La producción de partículas poliméricas que tienen distribuciones de tamaño de acuerdo con estas preferencias se puede lograr por medio de una diversidad de técnicas. Por ejemplo, se puede emplear un catalizador que, debido al tamaño de catalizador, forma, área superficial reactiva, u otras características de catalizador, produzca partículas poliméricas dentro del intervalo de tamaño deseado. En particular, el tamaño de las partículas poliméricas producidas por el catalizador generalmente varía proporcionalmente con el tamaño de partícula del catalizador; es decir, los catalizadores pequeños generalmente producen partículas poliméricas pequeñas. El porcentaje en peso de partículas poliméricas de tamaño diferente puede variar entre catalizadores y generalmente se corresponde con el tamaño de partícula del catalizador. Por ejemplo, un catalizador EP30X de 25 μ no produce cantidades medibles

de partículas poliméricas mayores de 1190 μ , a diferencia de los catalizadores grandes. Similarmente, los catalizadores menores de 100 μ producen más de un 5 % en peso de partículas poliméricas mayores de 1,000 μ . Aunque el tamaño de catalizador sea un factor que determina el tamaño de partícula polimérica, otros factores, tales como la morfología, accesibilidad de sitio activo, y similares, también pueden contribuir al intervalo de tamaños de partículas poliméricas producido por medio de un catalizador concreto.

X. Sistema de Separación

A. Purificación de Diluyente

Una finalidad del sistema de separación 30 en la producción de poliolefinas es purificar el diluyente descargado del sistema de reactor (por ejemplo, a partir de un reactor 210 de suspensión de bucle) y que se vaporiza de forma instantánea/recupera en el subsistema 24 de recuperación de diluyente/monómero. Inicialmente, no obstante, debería apreciarse, que el diluyente sometido a vaporización instantánea procedente del sistema 24 de recuperación de diluyente/monómero puede condensarse y hacerse pasar a través de un dispositivo de tratamiento, tal como un sistema de tamiz molecular, y se puede reciclar directamente hasta el reactor 210 de suspensión de bucle, por medio de derivación del sistema de separación 30. El dispositivo de tratamiento puede retirar los componentes no deseados, tales como el veneno del catalizador (por ejemplo, agua) inyectados aguas arriba de la cámara 44 de vaporización instantánea de alta presión en la descarga del reactor 22.

Por otra parte, parte del diluyente recuperado a partir del sistema 24 de recuperación de diluyente/monómero se puede enviar a través de las columnas de separación al sistema de separación 30 para retirar los componentes pesados, tales como hexeno, hexano y oligómeros. Las columnas también pueden retirar los componentes ligeros, tales como etano que penetra con la materia prima de etileno, nitrógeno procedente de la columna de purga 228, etileno que no ha reaccionado procedente del reactor 210 y similares. En una configuración, el subsistema de separación retira inicialmente los componentes pesados en una columna para componentes pesados (también denominada columna de reciclaje de diluyente, columna de isobutano de reciclaje, y similares) y posteriormente retira los componentes más ligeros en una columna posterior para componentes ligeros (también denominada columna de separación de diluyente, columna de purificación de isobutano y similares).

B. Columna de Componentes Pesados

Para retirar los componentes pesados, la primera columna (columna de componentes pesados o columna de reciclaje de diluyente) puede descargar los componentes pesados (por ejemplo, hexeno, hexano y oligómeros) fuera de la parte inferior de la columna hasta la antorcha. En determinadas configuraciones, la primera columna puede también producir una corriente secundaria de producto de diluyente (por ejemplo, isobutano) que típicamente contiene una cantidad medible de componentes ligeros (por ejemplo, etileno) pero que se recicla de forma aceptable hasta el reactor 210 de suspensión de bucle. En configuraciones más antiguas, esta corriente de producto de diluyente reciclada al reactor 210 puede comprender el volumen del diluyente recuperado recibido por el sistema de separación 30 desde el subsistema 24 de recuperación de diluyente/monómero. La primera columna también puede producir una corriente de componentes ligeros de cabecera que comprende principalmente diluyente, componentes inertes, y etileno, que se puede condensar de forma parcial. Los componentes no condensados (por ejemplo, nitrógeno, etileno) se pueden someter a combustión o se pueden reciclar al suministrador, o se pueden purgar como corriente de alimentación hasta la segunda columna aguas abajo (componentes ligeros). Los componentes condensados de la corriente de cabecera se pueden usar como reflujo a la primera columna y como reflujo o alimentación a la segunda columna, dependiendo de la configuración empleada en la instalación de poliolefina particular.

C. Columna de Componentes Ligeros

Para retirar los componentes ligeros, la segunda columna (columna de purificación de diluyente o componentes ligeros) retira los componentes ligeros (por ejemplo, etileno, etano y nitrógeno) para proporcionar un producto diluyente puro que puede estar sustancialmente libre de olefinas (con los componentes pesados ya retirados en la columna de aguas arriba). Típicamente, la segunda columna procesa una cantidad menor de diluyente que la primera columna. La corriente pequeña de diluyente libre de monómero (libre de olefina) puede abandonar la parte inferior de la segunda columna y se puede usar en la preparación del catalizador, suministro de catalizador, lavados de catalizador, lavados de reactor, en los que está presente el catalizador y similares. La disponibilidad de diluyente libre de monómero resulta beneficiosa para estas funciones relacionadas con el catalizador ya que puede resultar importante que el monómero de olefina no entre en contacto con el catalizador fuera del reactor 210. Dicho contacto puede tener como resultado la polimerización en partes no deseadas del proceso, que pueden bloquear el equipo, generar problemas de operabilidad, gastar el catalizador y similares.

D. Proceso y Equipo de Sistema de Separación

En referencia a la Figura 13, se muestra un diagrama de flujo de proceso de un sistema de separación 30. Se ilustran la columna 290 de componentes pesados y la columna 292 de componentes ligeros, que presentan cada una de ellas las partes internas 294 y 296 (por ejemplo, relleno, bandejas de destilación, etc.). Una corriente de gas desprendido, o en la presente ilustración, la corriente de hidrocarburo 240 (principalmente diluyente) procedente de

la columna de purga 228 se alimenta a la columna 290 de componentes ligeros, que puede operar típicamente a una presión dentro del intervalo de 125-175 psig (8,6-12,1 bar de presión manométrica) y una temperatura dentro del intervalo de 140-350 °F (60-177 °C). La columna 290 de componentes ligeros separa el monómero que no ha reaccionado (por ejemplo, etileno) y los componentes más ligeros (por ejemplo, etano, propano, nitrógeno, etc.) en la cabecera, así como los componentes más pesados tales como hexano-1 y oligómeros, a partir del diluyente (por ejemplo, isobutano) en la descarga de la parte inferior. La cabecera 298 de la columna 290 se puede condensar de forma parcial en el condensador 300, tal como un intercambiador de calor que utiliza un medio de refrigeración (por ejemplo, agua de una torre de refrigeración). Además, se debería apreciar que se puede añadir diluyente nuevo 302 al circuito aguas abajo del condensador 300.

Los vapores no condensados 304 se pueden separar en el acumulador 306 y se pueden alimentar a la columna 292 de componentes ligeros. En una configuración alternativa, la totalidad o parte de los vapores 304 se pueden purgar hasta las operaciones de suministro aguas arriba (por ejemplo, planta de olefina, refinería de petróleo, etc.) o hasta la antorcha. El líquido condensado 308 procedente del acumulador 306 se puede devolver por medio de la bomba 310 en forma de reflujo 312 hasta la columna 290 de componentes pesados. El líquido 308 también se puede enviar en forma de reflujo o alimentación 314 hasta la columna 292 de componentes ligeros aguas abajo. Además, el líquido 308, que es de forma típica y principal diluyente, se puede reciclar al reactor 210, como viene indicado por el número de referencia 316 (por ejemplo, por medio de un recipiente de almacenamiento y una bomba). Finalmente, una cadera de vapor 318 (por ejemplo, un intercambiador de calor de tubo y carcasa) vaporiza los componentes pesados 320 (por ejemplo, hexano y oligómeros) que se descargan de la columna inferior 290, con una parte de los componentes 320 descargados a la antorcha.

La columna 292 de componentes ligeros puede recibir los componentes condensados 314 y los componentes no condensados 304, y puede separar una corriente 322 de componentes ligeros (por ejemplo, nitrógeno, etano, etileno) para el reciclaje al dispositivo de suministro, o como purga a la antorcha. En la parte inferior de la columna 292, se descarga el diluyente 324 "libre de olefina", que es un monómero sustancialmente libre de olefina, a partir de la columna 292 y se puede recoger en un tanque 326 de diluyente libre de olefina, por ejemplo. Posteriormente, se puede suministrar el diluyente 82 libre de olefinas por medio de una bomba 328 (por ejemplo, una bomba centrífuga, bomba de desplazamiento positivo, etc.) para el lavado del reactor y la dilución del catalizador (véase la Figura 2). Una caldera de vapor 330 vaporiza una parte del diluyente líquido 324 que se descarga procedente de la parte inferior de la columna 292 de componentes ligeros para proporcionar un flujo 332 de vapor de retorno hasta la columna 292. Además, la columna 292 puede someterse a reflujo por medio de un condensador refrigerado 334, suministrando el refrigerante 336 a partir de un sistema de refrigeración 338. En la realización ilustrada, el sistema de refrigeración 338 también procesa el retorno de refrigerante 339. Un refrigerante a modo de ejemplo que se puede usar es propileno líquido. La temperatura de operación de cabecera de la columna 292 en un ejemplo, está dentro del intervalo de -10 °F a 0 °F (-23 a -18 °C), y la temperatura de operación de la parte inferior está dentro del intervalo de 145 a 170 °F (63-77 °C).

Finalmente, como se comenta, con el reciclaje directo de un 80 a un 95 % en peso del diluyente y el monómero que no ha reaccionado recuperado a partir del sistema 24 de recuperación/monómero a los sistemas 16 y 20 de corriente de alimentación y de reactor. Por ejemplo, el gas desprendido 226 (Figura 7) que se descarga de la cabecera de la cámara 224 de vaporización instantánea, y que generalmente corresponde a la corriente de reciclaje 34 de la Figura 1, se envía como corriente 54 de diluyente de reciclaje (Figura 2) directamente al reactor 210 por medio del tanque de compensación 68. Dicho reciclaje directa reduce significativamente la carga del sistema de separación, incluyendo la carga de las columnas 290 de componentes pesados y la columna 92 de componentes ligeros. De este modo, estas columnas (y las columnas de separación similares) y las calderas 318 y 330 de vapor asociadas pueden reducir significativamente su tamaño (por ejemplo, un 5-20 % del tamaño convencional) para la misma capacidad de planta de poliolefina. De este modo, se reduce significativamente el uso de vapor y se ahorra una cantidad sustancial de energía mediante el empleo de columnas más pequeñas.

IX. Sistema de Extrusión/Descarga

En referencia a la Figura 14, se muestra un diagrama de flujo de proceso de un sistema 36 de extrusión/descarga de la Figura 1. Se puede transferir neumáticamente la pelusa de poliolefina 232 procedente de la columna de purga 228 (Figura 7), por ejemplo, usando un dispositivo de insuflado de fase diluida, a través de una válvula 340 en el sistema de extrusor/descarga 36, y bien al interior del conducto 342 hasta el silo de pelusa 344, o al interior del conducto 346 hasta el tanque 348 de alimentación del extrusor. El silo de pelusa 344 se puede usar para proporcionar una capacidad de compensación durante el apagado del extrusor (o de otras operaciones) en el sistema de extrusión/descarga 36. Por otra parte, el silo de pelusa 344 también puede acumular pelusa para permitir la operación a velocidad completa del extrusor, al tiempo que el reactor de polimerización 210 aguas arriba se actualiza durante el arranque del reactor 210. La pelusa de poliolefina del silo 344 se puede transferir neumáticamente hasta el tanque de alimentación del extrusor a través de una válvula rotatoria 350 con ayuda del sistema 351 del dispositivo de insuflado.

Típicamente, no obstante, el flujo principal de la pelusa de poliolefina 232 (que generalmente puede corresponder a la pelusa 28 de la Figura 1) es al tanque 348 de alimentación del extrusor por medio del conducto 346. Aguas abajo, la pelusa 352 de válvula rotatoria puede alimentar la pelusa de poliolefina 354 al extrusor 356, donde el extrusor calienta y presuriza la pelusa de poliolefina 354. Como se apreciará por parte del experto en la técnica, la pelusa

- 354 procedente del tanque 348 de alimentación del extrusor se puede dosificar al extrusor 356 con una diversidad de medidores, tal como uno de tipo medidor de flujo rápido, de tipo alimentador-maestro y similares. Además, se pueden inyectar aditivos en la corriente de pelusa 354 a una velocidad de adición que puede estar basada en la relación especificada con respecto al caudal másico de la pelusa 354. La presente relación o alimentación "esclava"
- 5 de aditivos con respecto a la pelusa 354 se puede especificar a un valor para generar una receta deseada, por ejemplo, para cada calidad de poliolefina o producto, y para proporcionar las propiedades deseadas de las pellas de poliolefina aguas abajo. Además, la adición de aditivo se puede lograr con un sistema de adición de líquidos, alimentadores de pérdida de peso y similares. En determinadas realizaciones, se pueden usar uno o más alimentadores de pérdida de peso para dosificar un lote de aditivo pre-mezclado alimentado a un recipiente bruto, por ejemplo, al extrusor 356 con la corriente de pelusa 354, y una tolva de alimentación de extrusor 354, directamente al extrusor 354 y similares.
- 10 En general, el extrusor 356 puede fundir, homogeneizar y bombear el polímero de poliolefina y los aditivos a través de un dispositivo 358 de formación de pellas, que puede incluir un paquete de tamices y un cabezal de boquilla caliente, por ejemplo, que da lugar a la formación de pellas de la mezcla de pelusa y aditivos. Además, las cuchillas del dispositivo de formación de pellas (es decir, sumergido) pueden cortar la masa fundida de poliolefina sometida a extrusión a través de la boquilla para dar lugar a las pellas. Típicamente, las pellas se inactivan con agua 360 y pueden viajar en una suspensión de pella-agua 362 desde el dispositivo 358 de formación de pellas hasta un dispositivo 364 de secado y deshidratación de pellas. El dispositivo de secado 364 puede separar el agua libre y posteriormente puede secar el agua superficial restante procedente de las pellas por medio de fuerza centrífuga. Las pellas secas 366 se pueden descargar sobre un tamiz de despелusado 368, por ejemplo, que retira las pellas con tamaños por encima y por debajo del deseado, de las pellas 370 bajo especificación.
- 15 Se puede suministrar el agua 360 al dispositivo 358 de formación de pellas a partir de un tanque de agua 372 por medio de una bomba centrífuga 374 y un dispositivo de enfriamiento 376 (por ejemplo, un intercambiador de calor de tubo y carcasa). El agua 378 retirada del dispositivo 364 de secado de pellas puede volver al tanque de agua 372. Las pellas de poliolefina 370 que abandonan el tamiz de despелusado 368 pueden caer por gravedad a través de una válvula rotatoria 380 al interior de una línea 382 de transporte neumático de fase densa, por ejemplo, y se pueden transportar hasta los silos de pellas 384. Los silos de pellas pueden incluir tanques de almacenamiento, mezcladores, tanques de almacenamiento fuera de especificación y similares. En la realización ilustrada, el conjunto 386 de ancla de leva proporciona nitrógeno y/o aire 388 para transportar las pellas 370 por medio de la línea de transporte 382 hasta los silos de pellas 386. Las pellas de poliolefina 390 pueden introducirse en vagones de ferrocarril 392, vehículos con tolva, camiones, recipientes de carga, bolsas y similares. Los palés 390 se pueden cargar en vehículos con tolva, por ejemplo, usando un sistema de carga de contenedores múltiples, con asistencia neumática y de tipo gravedad. Dicho sistema puede permitir la carga automática del vehículo con tolva a una velocidad mayor que la velocidad de producción por extrusión y polimerización. De este modo, se puede aprovechar el "tiempo" extra generado por las velocidades elevadas de descarga para proporcionar tiempo para mover los vehículos con tolva o los vagones de ferrocarril tras el llenado 372, y para colocar el siguiente vehículo vacío 372.
- 20 Se puede aplicar una diversidad de técnicas energéticamente competentes en el sistema 36 de extrusión/descarga. Por ejemplo, como se ha comentado anteriormente, se puede combinar una columna 228 de purga aguas arriba con el tanque 348 de alimentación de extrusor. De este modo, el sistema de transporte para transportar la pelusa 232, y con ello el consumo eléctrico asociado del dispositivo de insuflado del sistema de transporte, se pueden eliminar. Además, en el presente ejemplo, la pelusa 232 está más caliente (por ejemplo, 450 °F (232 °C)) que si tiene lugar un efecto de refrigeración (por ejemplo, enfriamiento hasta 80-100 °F (27-38 °C) de nitrógeno o aire en un sistema de transporte habitualmente aplicado. Con la combinación de la columna de purga 228 en el interior del tanque 348 de alimentación de extrusor, la pelusa 232 (se convierte en la pelusa 354) se alimenta al extrusor a una temperatura más caliente que la alimentación tradicional al extrusor 356. Por tanto, se consume menos vapor en el extrusor para calentar y fundir la pelusa entrante 354.
- 25 En general, se puede reducir el número de silos o recipientes de almacenamiento entre el sistema 24 de recuperación de diluyente/monómero y el sistema 36 de extrusión/descarga. En la realización ilustrada, se muestran dos recipientes, un silo de pelusas 344 y un tanque 348 de alimentación de extrusor. Tradicionalmente, no obstante, se han provisto hasta 10 a 15 recipientes de almacenamiento y sistemas de reciclaje/mezcla y transporte de dispositivo de insuflado asociado para almacenar, mezclar, y alimentar la pelusa al extrusor 356. De este modo, en la realización ilustrada, se consume menos electricidad con respecto a la operación tradicional de alimentación y almacenamiento de pelusa.
- 30 Además, el último silo de pelusa 344 que queda se puede eliminar y, de este modo, se puede eliminar el conjunto inferior 351 asociado y el consumo eléctrico. Para eliminar el silo de pelusa 344 y ceder el tiempo de residencia de pelusa asociado, el extremo húmedo 42 se puede acoplar más estrechamente en operación con el extremo seco 44 (véase la Figura 1). En otras palabras, se pueden aplicar técnicas mejoradas en la operación del reactor de polimerización 210 en el sistema de reactor 20 (Figura 1), para permitir que el reactor 210 se "aparte" de la velocidad de producción de la pelusa de poliolefina, por ejemplo, para hacer frente a los contratiempos en el sistema 36 de extrusión/descarga aguas abajo a los que normalmente se hace frente por medio de la capacidad de compensación del silo de pelusa 344. Por ejemplo, si el extrusor 356 se apaga de forma temporal, se puede someter el reactor de polimerización 210 a una "mini-muerte" o una "muerte parcial", donde se inyecta una parte relativamente pequeña (por ejemplo, intervalo de partes por billón) de veneno de catalizador, tal como monóxido de
- 35

carbono, en el reactor 210 para "matar" temporalmente la polimerización. De este modo, si tiene lugar el apagado temporal del extrusor 356 u otro equipo en el sistema 36 de extrusión/descarga, la descarga de la pelusa de poliolefina 232 se detiene o reduce temporalmente desde la descarga 22 del reactor 210 debido a la ausencia de polimerización en el reactor 210. Por tanto, el tiempo de residencia en el tanque 348 de alimentación de extrusor puede resultar adecuado para retener la pelusa entrante 232 hasta que se produzca el re-arranque de la operación del extrusor.

Finalmente, debería apreciarse que se puede eliminar otro conjunto de transporte del dispositivo de insuflado en el sistema 36 de extrusión/descarga y, de este modo, proporcionar una reducción adicional del consumo eléctrico. Se usa la bomba 374 de agua de pella para transportar las pellas 362 y 370 al interior de los silos de pellas 384, y así, se puede eliminar el sistema 386 de conjunto de dispositivo de insuflado. Se reduce significativamente el consumo eléctrico debido a que el tamaño típico del motor 374 de la bomba de agua de pella es únicamente de 25 caballos de potencia, en comparación con las especificaciones de potencia del motor del dispositivo de insuflado que varía de 250 a 500 caballos de potencia y más. Debería apreciarse que cuando se usa la bomba 374 de agua de pella para transportar la suspensión 360 de agua de pella hasta por encima de los silos 386, se pueden reubicar el dispositivo 364 de secado de pellas y el tamiz de despelusado 368 por encima de los silos 386 y, de este modo, permitir el drenaje por gravedad de las pellas 366 desde el dispositivo de secado 364 a través del dispositivo de despelusado 376 en el interior de los silos de pellas 386.

X. Resumen de las Técnicas de Eficiencia Energética

A continuación se detallan algunas técnicas de eficiencia energética.

A. En el sistema de alimentación del reactor de polimerización, se usa un medidor de flujo másico, en lugar de un medidor de placa de orificios convencional, para medir el flujo de monómero, eliminando la necesidad de precalentamiento del monómero.

B. Además, se puede emplear un activador de catalizador más grande, reduciendo la cantidad de gas combustible consumido (sometido a combustión) para activar la alimentación de catalizador de polimerización al reactor.

C. Adicionalmente, el número de dispositivos de tratamiento que eliminan los venenos del catalizador a partir de las corrientes de alimentación del reactor se puede reducir, proporcionando un escalado más eficiente en la regeneración de los dispositivos de tratamiento y un menor consumo eléctrico.

D. Además, se puede usar una técnica mejorada de regeneración de los dispositivos de tratamiento para reducir la cantidad de componentes inertes (por ejemplo, nitrógeno) descargados hasta la cabecera de la antorcha. Esto reduce la cantidad de gas combustible (por ejemplo, gas natural) inyectado al interior del cabezal de antorcha para mantener un contenido apropiado de combustible de la alimentación a la antorcha.

E. En el propio sistema de reactor, una derivación continua (CTO) de la suspensión de poliolefina descargada a partir del reactor de, en lugar de la descarga intermitente convencional que emplea patas de sedimentación, proporciona una mayor concentración de sólidos en el reactor. Una concentración más grande de poliolefina en el reactor puede permitir una velocidad de producción mayor de la poliolefina y, con ello, reducir el consumo normalizado de energía, en parte, por la dispersión de los costes fijos de energía sobre más libras de poliolefina producida. Además, una descarga de derivación continua retirar más finos del reactor que las descargas de patas de sedimentación convencionales, y por tanto con menos área superficial de partículas en el reactor, la mezcla de fluidos opera a una viscosidad menor proporcionando una circulación más sencilla de los contenidos del reactor. Por tanto, se puede infradimensionar la bomba de circulación del reactor, utilizando menos potencial.

F. Adicionalmente, se puede construir un reactor de fase líquida, tal como un reactor de suspensión de bucle, con un material (por ejemplo, aluminio de alta resistencia) que tenga una resistencia y/o conductividad térmica más elevada que los materiales de acero tradicionalmente utilizados en la fabricación del reactor de suspensión de bucle. Dichos materiales de alta resistencia más nuevos pueden proporcionar paredes de reactor más finas mejoradas, mayor transferencia térmica a través de las paredes, y un diámetro más grande del reactor de bucle, permitiendo una velocidad de producción de poliolefina más elevada.

G. Otro ejemplo del sistema de reactor es el uso de hélices de guía en la bomba de circulación del reactor, que proporcionan una eficiencia de bombeo mejorada (menor consumo eléctrico) y mayor velocidad de producción de poliolefina.

H. Otro ejemplo del sistema de reactor es una técnica que especifica un aumento mayor de la temperatura (por ejemplo, de 10 °F (5,6 °C) tradicionales hasta 15-45 °F (8,3-25 °C) y más) del refrigerante que fluye a través de las camisas del reactor. Dicha diferencia mayor de temperatura entre el suministro de refrigerante y el retorno confiere una la misma capacidad de eliminación de calor a caudales de refrigerante más bajos. Por tanto, la bomba de circulación del refrigerante se puede dimensionar más pequeña, lo cual requiere menos caballos de potencia.

I. En el sistema de recuperación de diluyente/monómero que procesa el efluente descargado del reactor de polimerización, se pueden conseguir ahorros de electricidad eliminando el sistema de vaporización instantánea de baja presión del diluyente y la compresión de reciclaje asociada.

5 J. Se pueden lograr ahorros adicionales eliminando la columna de purga que retira el hidrocarburo residual de las partículas de pelusa de poliolefina. En lugar de ello, la operación de retirada de hidrocarburo se puede llevar a cabo en el tanque de alimentación del extrusor aguas abajo en el sistema de extrusión/descarga. Esta mejora permite la utilización de la presión de proceso en una cámara de vaporización instantánea aguas arriba, en lugar de un sistema de transporte del dispositivo de insuflado que consume electricidad, para transportar las partículas de poliolefina hasta el tanque de alimentación del extrusor. La mejora también proporciona partículas de pelusa de poliolefina más calientes (por ejemplo 450 °F (232 °C) frente a 80-100 °F (27-38 °C) de la pelusa del sistema de transporte tradicional) alimentadas al extrusor aguas abajo, reduciendo la carga energética sobre el extrusor.

10 K. Además, se puede reducir el número de silos de pelusa de poliolefina intermedios entre el sistema de recuperación de diluyente/monómero y el sistema de extrusión/descarga, en parte, por medio de una operación mejorada del reactor de polimerización aguas arriba y el extrusor aguas abajo. Dicha reducción de los silos o recipientes de almacenamiento puede reducir el número de dispositivos de insuflado asociados y su consumo eléctrico.

15 L. En el sistema de extrusión/descarga, se puede ahorrar electricidad por medio del uso de una bomba de agua de pellas para transportar las pellas de poliolefina que se descargan del extrusor/dispositivo de formación de pellas hasta los silos de pellas en lugar del conjunto de transporte de dispositivo de insuflado convencional. De hecho, el requisito de potencia de la bomba de agua de pellas es un orden de magnitud menor que el de un dispositivo de insuflado de transporte neumático.

M. En el sistema de fraccionamiento que procesa el monómero que no ha reaccionado recuperado y el diluyente procedente del reactor de polimerización y el sistema de recuperación de diluyente/monómero, se puede reducir el uso de vapor hasta en un 90 por ciento. Dicha reducción se permite por medio de reciclaje directo del diluyente y el monómero hasta el reactor de polimerización, por medio de derivación del sistema de separación, que permite de este modo columnas de separación e intercambiadores de calor de caldera de vapor más pequeños.

20

25

30

35

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de fabricación para la producción de poliolefina, que comprende:

5 un sistema de alimentación para un reactor de polimerización, donde el sistema de alimentación tiene seis o menos dispositivos de tratamiento de alimentación configurados para eliminar los venenos de catalizador de las corrientes de alimentación del reactor de polimerización, donde el sistema de alimentación comprende un dispositivo de tratamiento de alimentación configurado para utilizar nitrógeno durante un ciclo de regeneración y para descargar nitrógeno sustancialmente limpio a la atmósfera durante la parte de enfriamiento del ciclo de regeneración, donde el sistema de alimentación comprende un activador de catalizador que comprende un recipiente interno que tiene un diámetro interno nominal dentro del intervalo de 48 pulgadas (1,2 m) a 72 pulgadas (1,8 m) y un medidor de masa configurado para medir el caudal de etileno alimentado al reactor de polimerización;

10 un sistema de reactor que comprende el reactor de polimerización, donde el reactor de polimerización está configurado para polimerizar un monómero de olefina en presencia de un catalizador y un diluyente para formar una suspensión que comprende partículas de poliolefina y un diluyente, donde el reactor de polimerización comprende una derivación continua configurada para descargar dicha suspensión que comprende partículas de poliolefina y un diluyente, donde el reactor de polimerización comprende una bomba de circulación de suspensión que tiene hélices de guía, donde el sistema de reactor de poliolefina comprende una bomba de refrigerante configurada para hacer circular agua a través de una camisa del reactor de polimerización, donde la temperatura de salida del agua que abandona la camisa es de 15 °F (8,3 °C) a 45 °F (25 °C) mayor que la temperatura de entrada del agua que penetra en la camisa;

15 un sistema de recuperación de diluyente/monómero configurado para separar una mayoría del diluyente de la suspensión descargada del reactor de polimerización, donde el sistema de recuperación de diluyente/monómero está configurado para facilitar el reciclaje de al menos un 80 % en peso del diluyente recuperado en el sistema de recuperación de diluyente/monómero hasta el reactor de polimerización sin separación, donde el sistema de recuperación de diluyente/monómero comprende un recipiente de vaporación instantánea de alta presión sin un compresor de gas desprendido asociado;

un sistema de separación configurado para procesar una parte del diluyente descargado a partir del sistema de recuperación de diluyente/monómero y para proporcionar un diluyente recuperado sustancialmente libre de monómero de olefina; y

20 un sistema de extrusión/descarga que tiene un extrusor/dispositivo de formación de pellas configurado para extruir y formar pellas de partículas de poliolefina recuperadas a partir de la suspensión en el sistema de recuperación de diluyente/monómero, donde el sistema de extrusión/descarga está configurado para recibir partículas de poliolefina descargadas a partir de la columna de purga en el sistema de recuperación de diluyente/monómero sin obstrucción intermedia de las partículas de olefina, y donde el sistema de extrusión/descarga comprende una bomba de agua de pellas configurada para facilitar el transporte de las pellas de poliolefina descargadas a partir del extrusor/dispositivo de formación de pellas hasta un silo de pellas;

25 donde el sistema de fabricación está configurado para consumir menos de 325 kilovatios-hora de electricidad por tonelada métrica de poliolefina producida, menos de 144 kilogramos de vapor por tonelada métrica de poliolefina producida, y menos de 2,8 kilogramos de gas combustible por tonelada métrica de poliolefina producida.

2. El sistema de fabricación de la reivindicación 1, donde el sistema de fabricación está configurado para producir al menos 600 millones de libras ($2,7 \times 10^8$ kg) de poliolefina al año.

3. Un método de operación de un proceso de fabricación de poliolefinas, que comprende:

30 alimentar un monómero, un diluyente y un catalizador a un reactor de polimerización, donde la alimentación del diluyente al reactor de polimerización comprende retirar los venenos de catalizador del diluyente en un dispositivo de tratamiento de alimentación, que además comprende regenerar el dispositivo de tratamiento de alimentación con nitrógeno y descargar nitrógeno sustancialmente limpio a la atmósfera procedente del dispositivo de tratamiento de alimentación durante la regeneración, que además comprende operar un dispositivo de tratamiento de alimentación como repuesto tanto para retirar los venenos del catalizador en la alimentación de monómero al reactor de polimerización como para retirar los venenos de catalizador en la alimentación de diluyente hasta el reactor de polimerización, que comprende además activar el catalizador en un activador de catalizador antes de alimentar el catalizador al reactor de polimerización, donde el activador de catalizador comprende un recipiente interno que tiene un diámetro interno nominal dentro del intervalo de 48 pulgadas (1,2 m) a 72 pulgadas (1,8 m) y que además comprende medir el caudal de monómero de etileno alimentado al reactor de polimerización con un medidor másico;

35 polimerizar el monómero en el reactor de polimerización para formar partículas de poliolefina y que además comprende hacer circular un refrigerante a través de una camisa del reactor de polimerización y mantener un aumento de temperatura del refrigerante a través de la camisa en el intervalo de 15 °F (8,3 °C) a 45 °F (25 °C);

descargar la suspensión del reactor de polimerización, donde la suspensión comprende un monómero, diluyente y partículas de poliolefina, donde la descarga de una suspensión procedente del reactor de polimerización comprende descargar de forma sustancialmente continua la suspensión del reactor de polimerización asociado;

5 recuperar partículas de poliolefina de la suspensión por medio de separación de al menos una mayoría del diluyente a partir de la suspensión,

donde: la separación del diluyente a partir de la suspensión comprende vaporizar de forma instantánea el diluyente a partir de la suspensión y condensar el diluyente vaporizado de forma instantánea sin compresión;

reciclar una primera parte del diluyente separado hasta al reactor de polimerización sin separar la primera parte, donde la primera parte del diluyente separado comprende al menos un 80 % en peso de la descarga de diluyente en la suspensión a partir del reactor de polimerización;

10 separar una segunda parte de diluyente separado para proporcionar un diluyente sustancialmente libre de monómero;

transportar las partículas de poliolefina separadas de la suspensión hasta un tanque de alimentación de extrusor sin obstrucción intermedia sustancial de las partículas de poliolefina transportadas;

someter a extrusión y formar pellas de las partículas de poliolefina recuperadas para formar pellas de poliolefina;

15 donde el transporte de las pellas de poliolefina hasta un área de descarga comprende transportar las pellas de poliolefina hasta un silo de pellas por medio de una bomba de agua de pellas dispuesta en una descarga de un extrusor/dispositivo de formación de pellas aguas arriba; y

consumir menos de 325 kilovatios-hora de electricidad por tonelada métrica de poliolefina producida, menos de 144 kilogramos de vapor por tonelada métrica de poliolefina producida, y menos de 2,8 kilogramos de gas combustible por tonelada métrica de poliolefina producida.

4. El método de la reivindicación 3, que comprende producir al menos 600 millones de libras ($2,7 \times 10^8$ kg) de pellas de poliolefina al año.

20

25

30

35

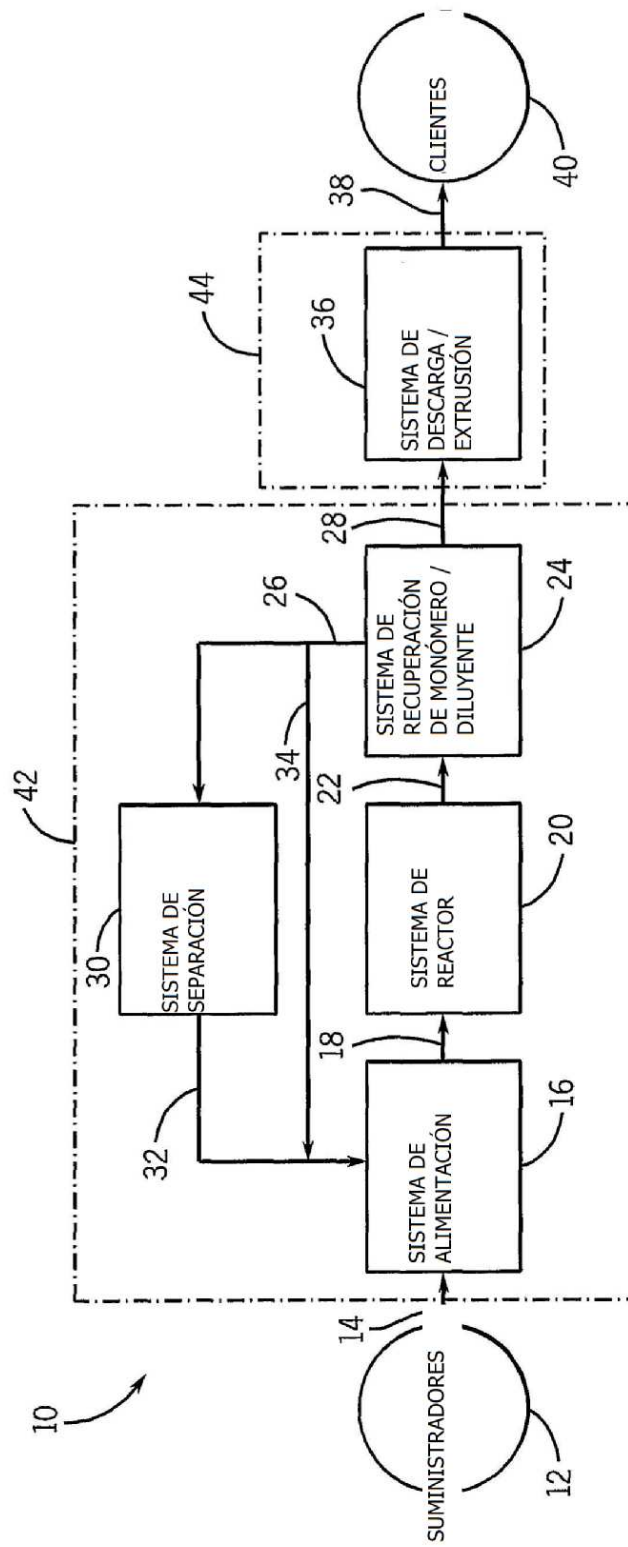


FIG. 1

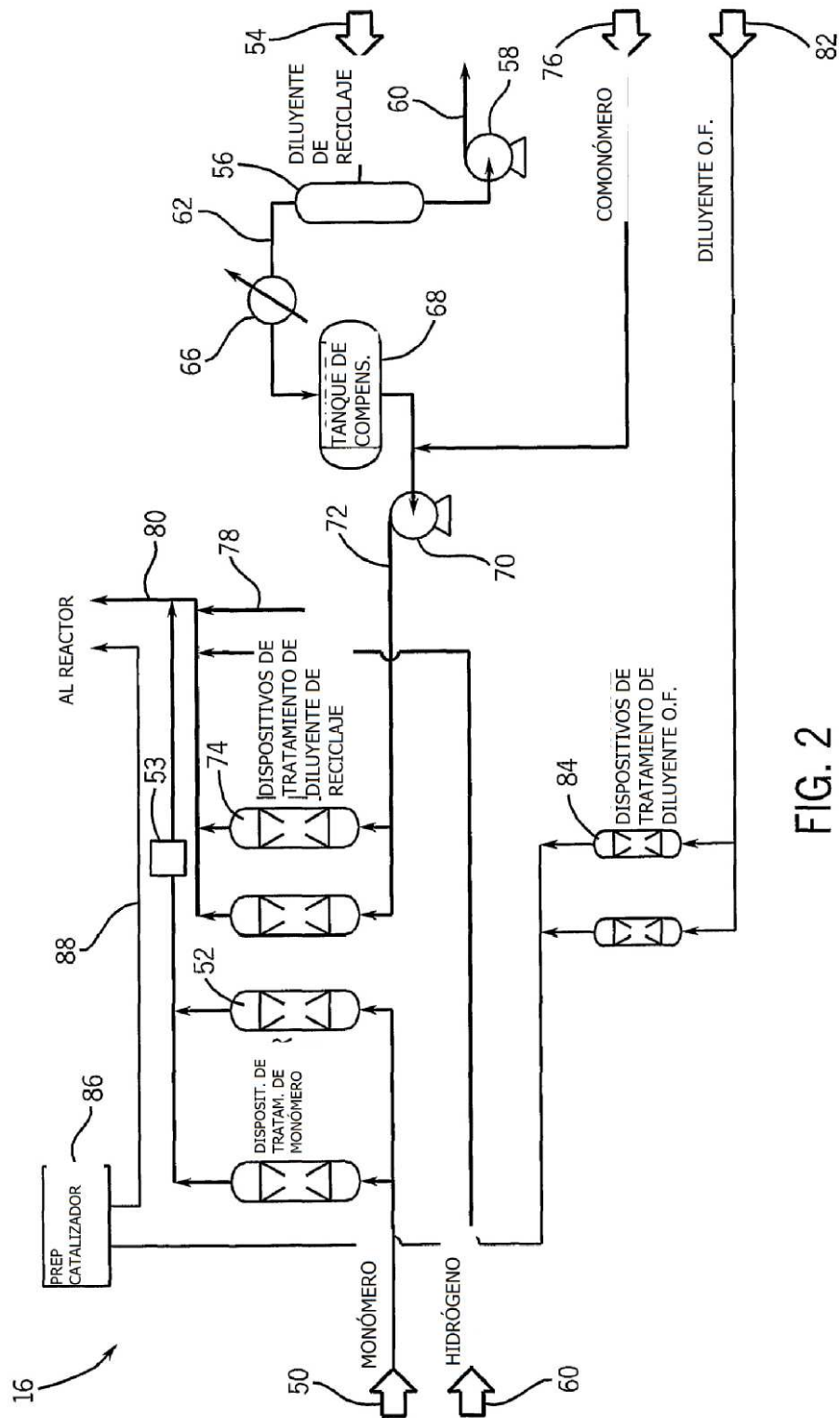
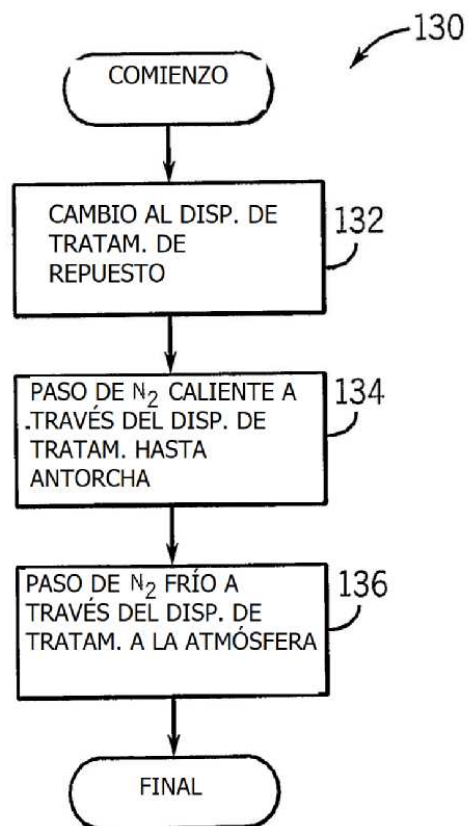
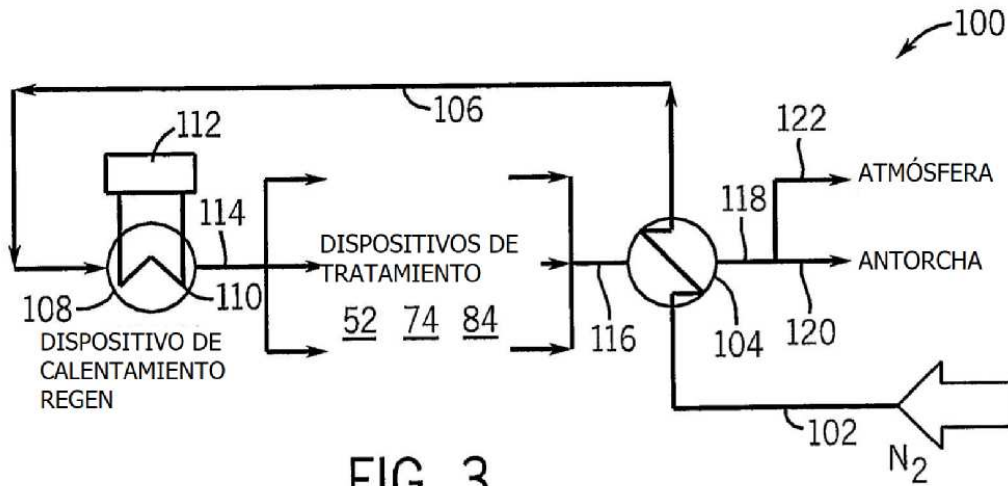


FIG. 2



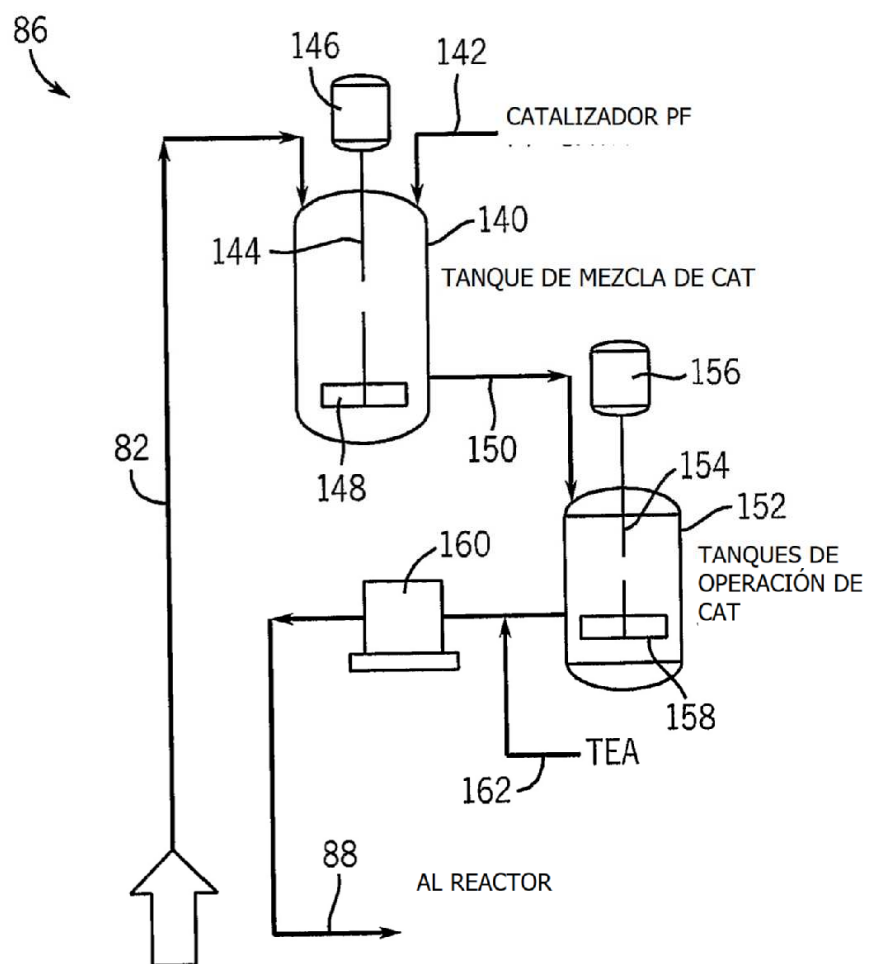


FIG. 5

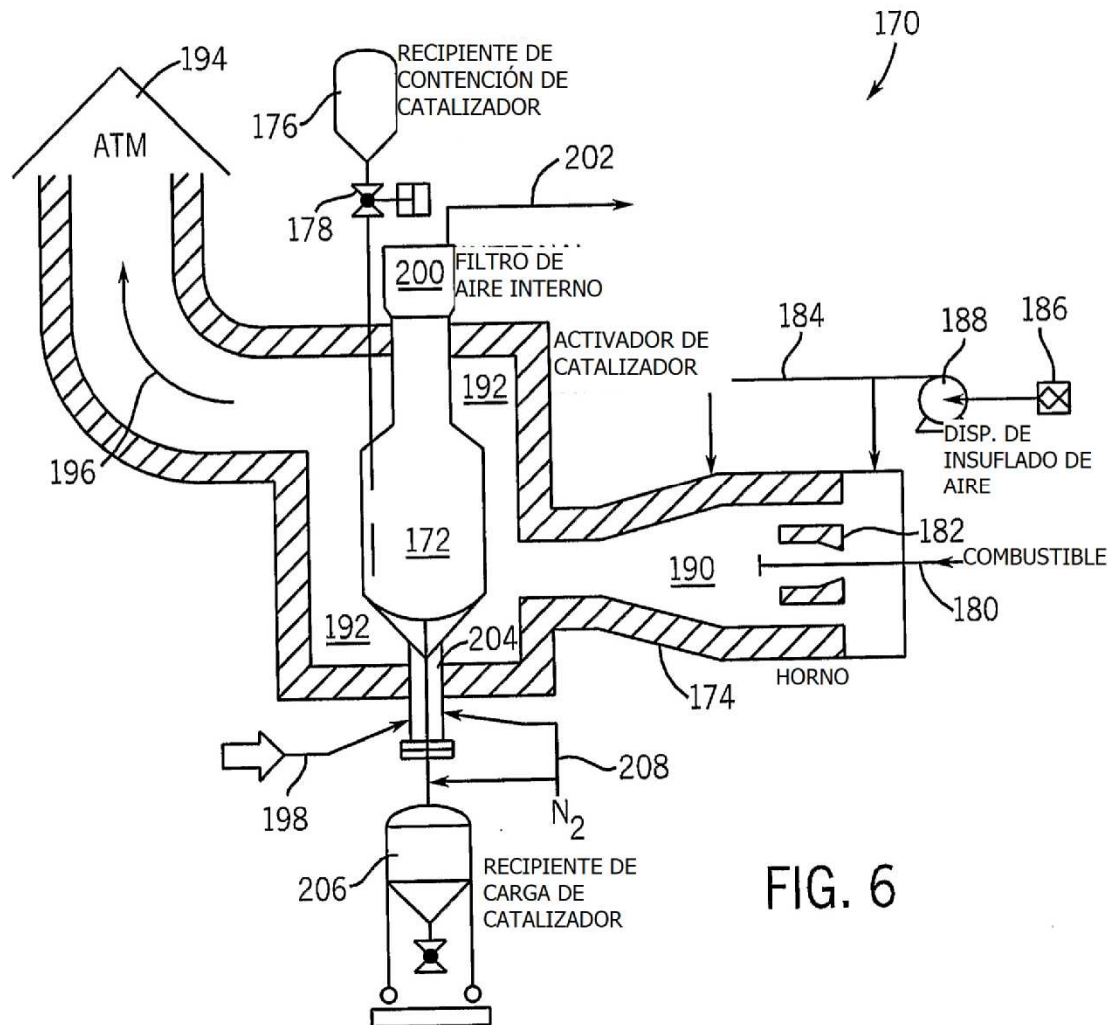
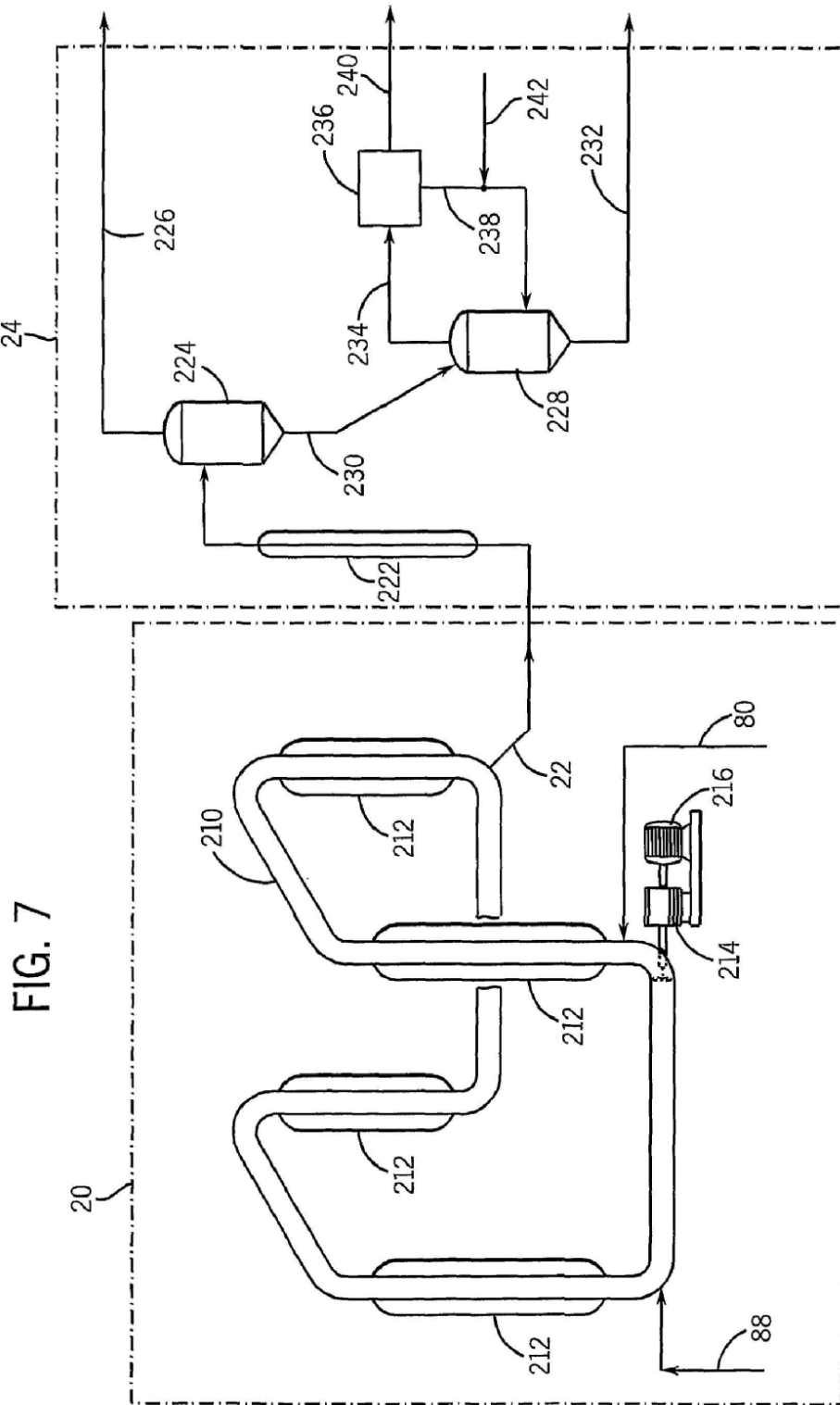


FIG. 6



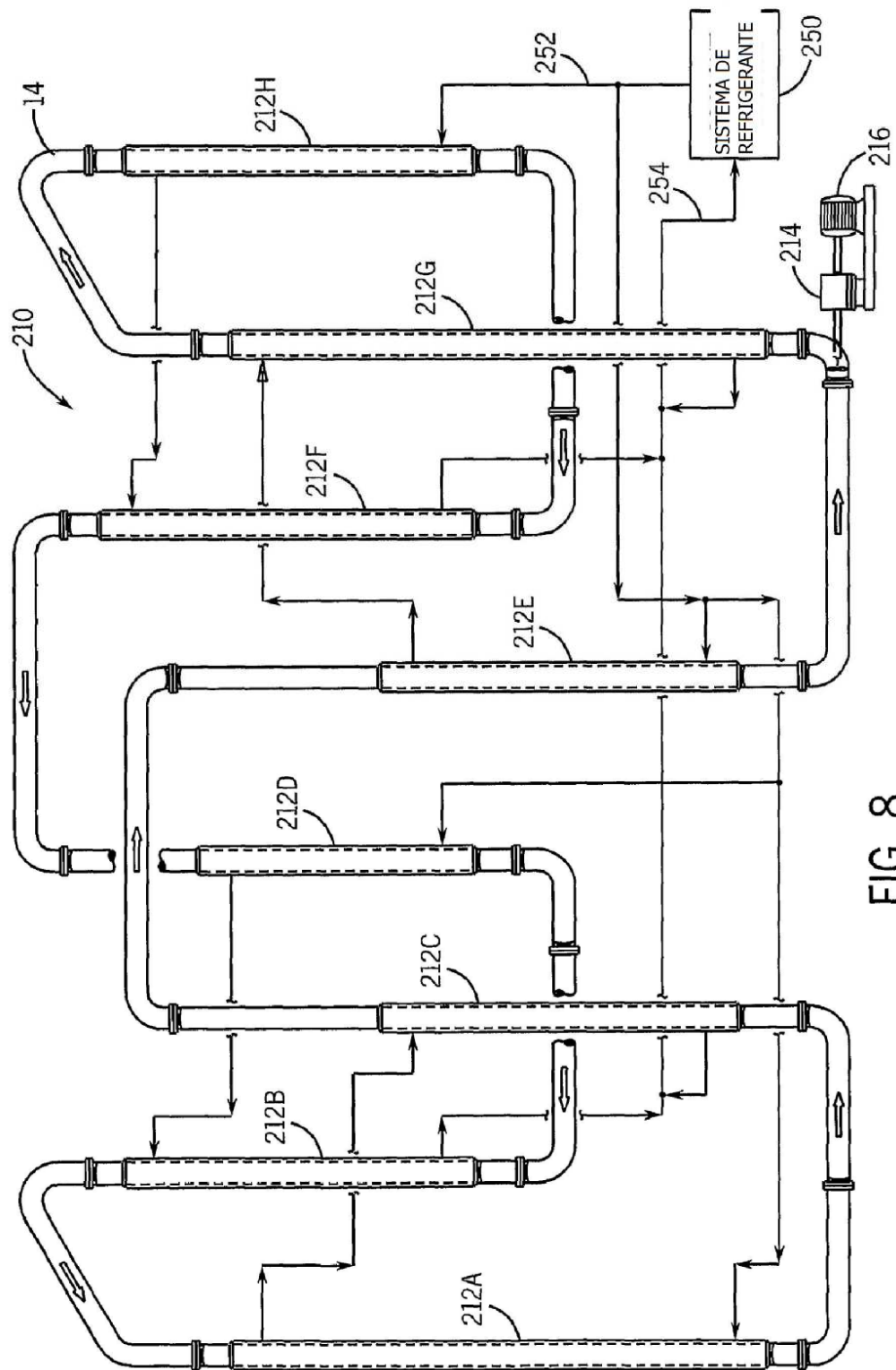


FIG. 8

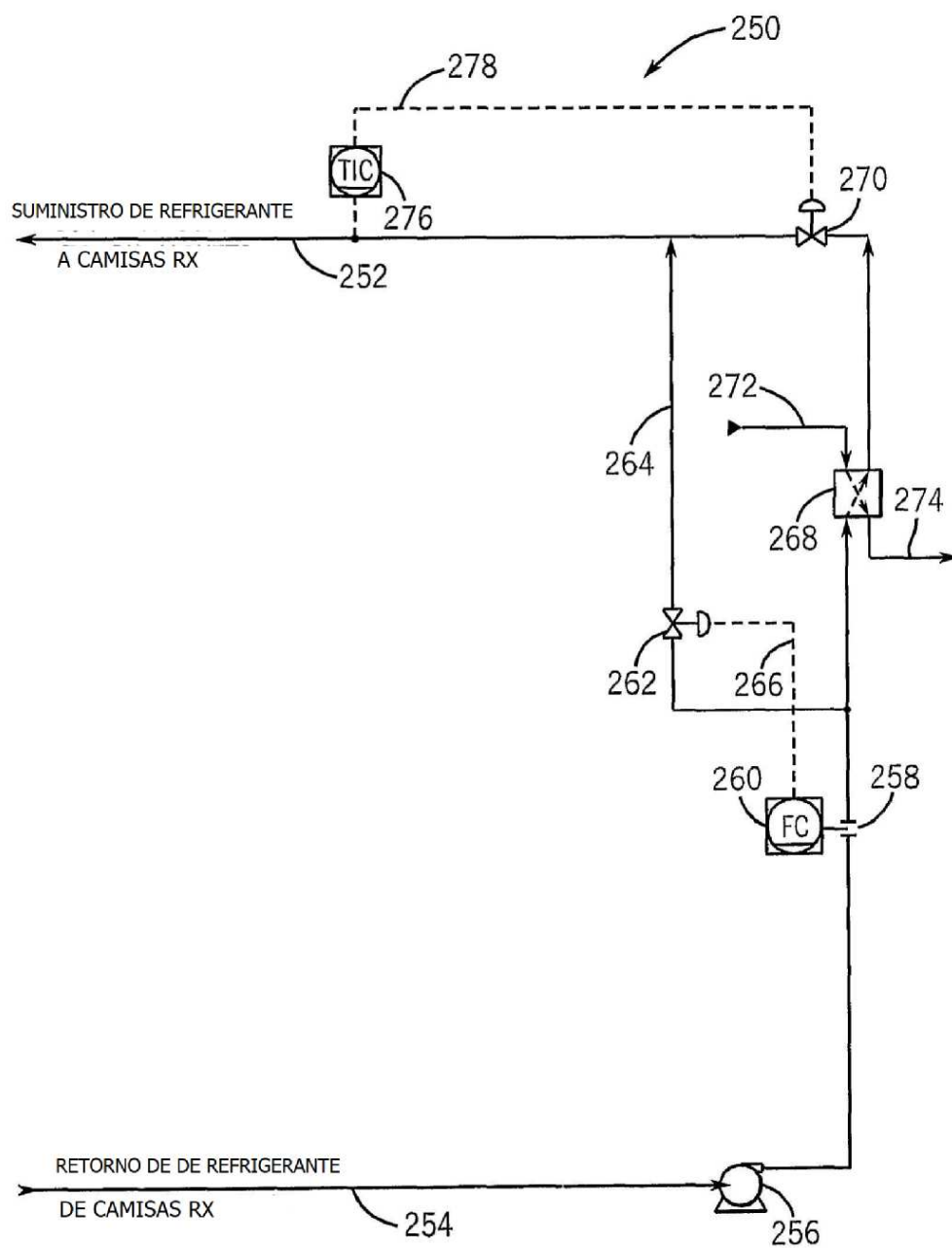
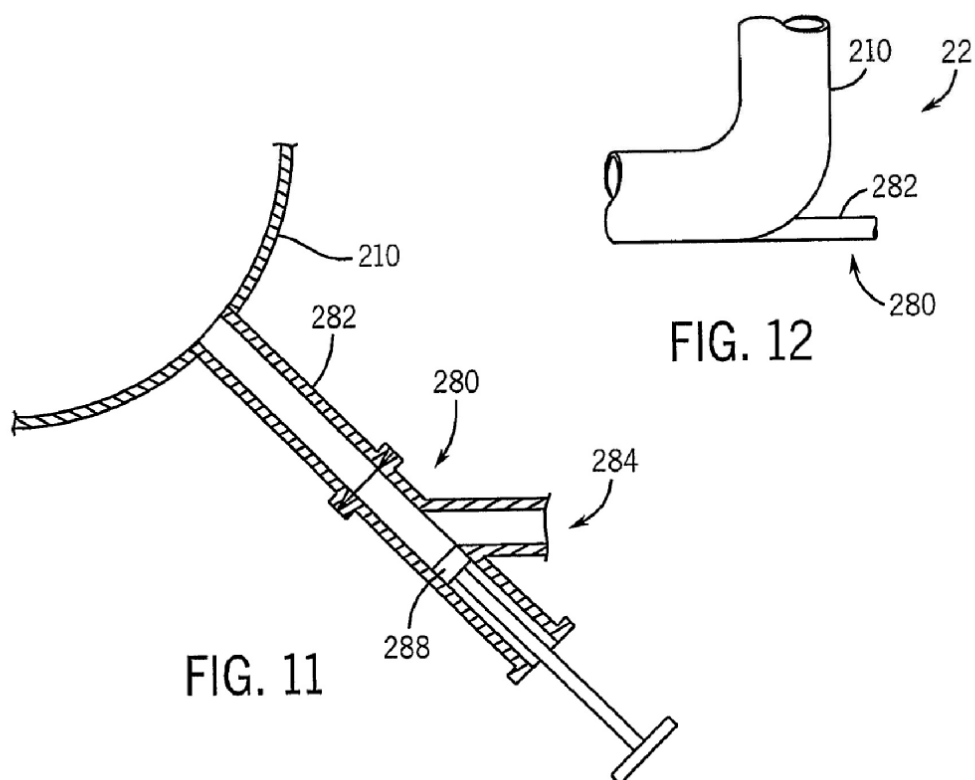
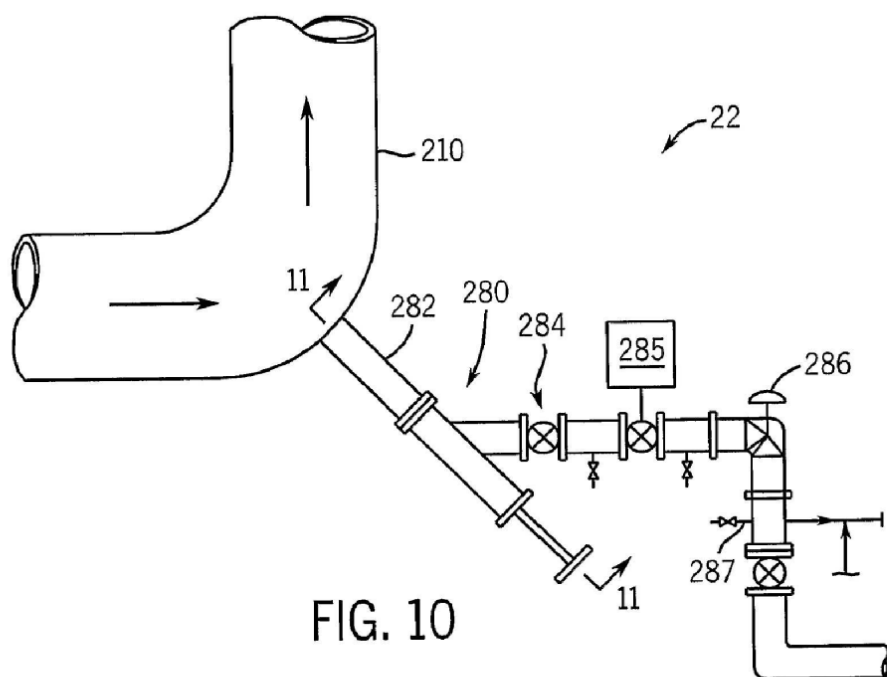
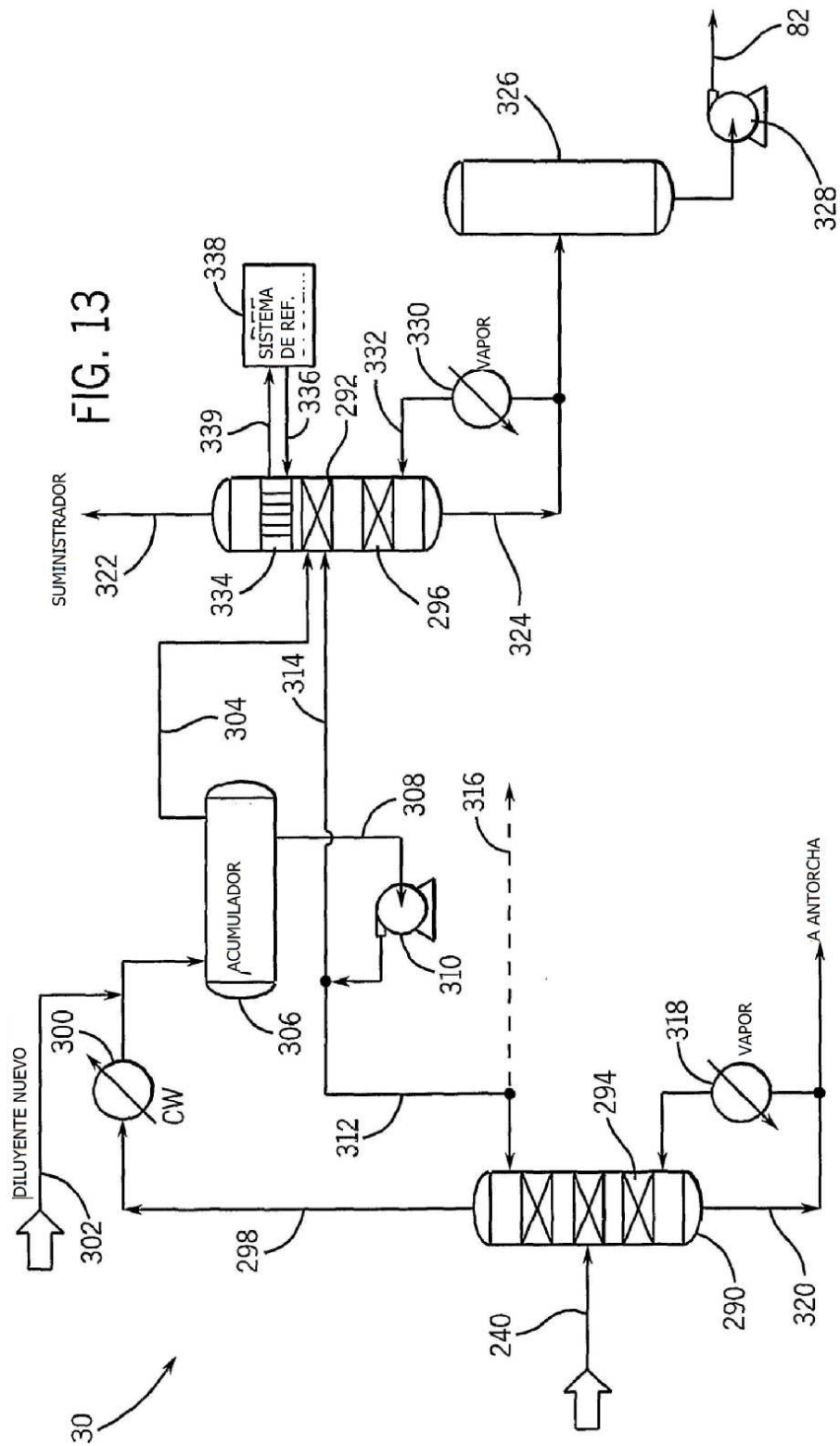


FIG. 9





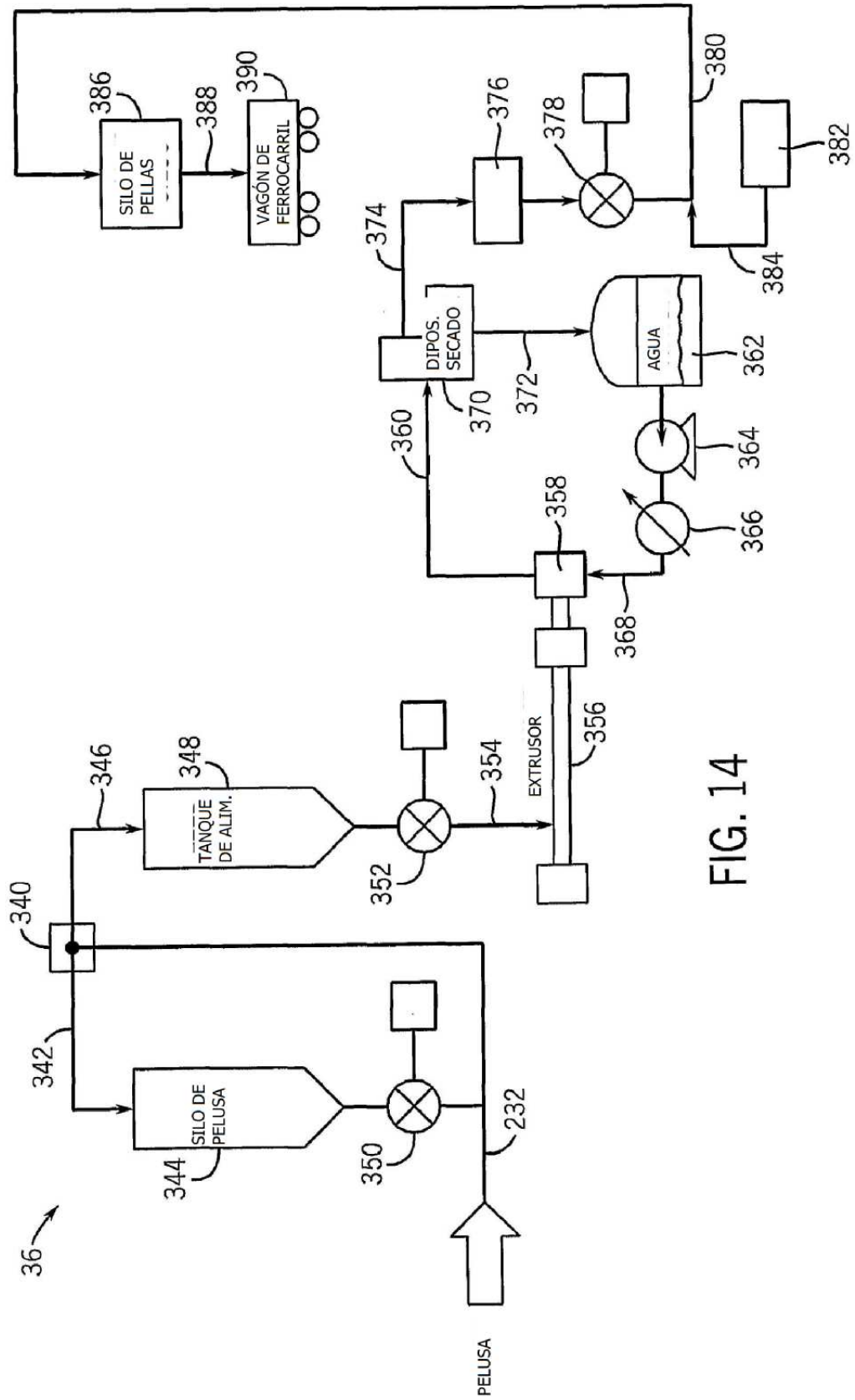


FIG. 14