

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 416 314**

51 Int. Cl.:

**C08F 10/00** (2006.01)

**C08F 6/00** (2006.01)

**B01J 8/00** (2006.01)

**B01J 19/18** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.08.2005 E 05792293 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.03.2013 EP 1791875**

54 Título: **Procesos de producción de poliolefinas**

30 Prioridad:

**27.08.2004 US 604948 P**

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

**31.07.2013**

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, DONALD, W.;  
BURNS, DAVID, H.;  
TAIT, JOHN, H.;  
PEACOCK, RICHARD;  
HEIN, JAMES, E.;  
ROMIG, RALPH, W.;  
FENDERSON, CARL, W.;  
KUFELD, SCOTT, E.;  
GUPTA, ANURAG y  
ZELLERS, DALE, A.**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 416 314 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

Procesos de producción de poliolefinas.

Campo técnico

5 La presente invención se refiere en general a la producción de poliolefinas y, más específicamente, a técnicas que incrementan la eficiencia energética de procesos de producción de poliolefinas.

Antecedentes

10 Esta sección pretende introducir al lector aspectos de la técnica que pueden estar relacionados con aspectos de la presente invención, que se describen y/o reivindican a continuación. Se cree que esta discusión es útil para proporcionar al lector información básica que facilita un mejor conocimiento de los diversos aspectos de la presente invención. En consecuencia, se debe entender que se ha de leer esta exposición bajo este aspecto y no como reconocimiento de técnica anterior.

15 Como las tecnologías química y petroquímica han avanzado, cada vez están más extendidos en la sociedad los productos de estas tecnologías. En particular, como han avanzado las técnicas para unir bloques moleculares estructurales simples y formar cadenas más largas (o polímeros), cada vez se están incorporando productos poliméricos, típicamente en forma de diversos plásticos, en diversos artículos de uso diario. Por ejemplo, se usan polímeros de poliolefinas, como polietileno, polipropileno y sus copolímeros, en envases para productos farmacéuticos y de venta al por menor, envases para productos alimenticios y bebidas (como botellas de zumos y bebidas no alcohólicas), recipientes de uso doméstico (como cubos y cajas), artículos de uso doméstico (como accesorios, muebles, alfombras y juguetes), componentes del automóvil, tuberías, conductos y diversos productos industriales.

20 Tipos específicos de poliolefinas, como polietileno de alta densidad (HDPE), tienen aplicaciones particulares en la fabricación de artículos moldeados por inyección y moldeados por soplado, como envases para bebidas y productos alimenticios, películas y tuberías de plástico. También son adecuados para aplicaciones similares otros tipos de poliolefinas, 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, como resistencia a la tracción y densidad, y/o los requisitos químicos, como estabilidad térmica, peso molecular y reactividad química, determinan típicamente qué tipo de poliolefina es adecuado.

25 Un beneficio estructural de las poliolefinas, como se puede deducir de la lista anterior de usos, es que en general no es reactiva con artículos y productos con los que está en contacto. Esto permite usar poliolefinas en aplicaciones residenciales, comerciales e industriales, incluidos almacenamiento y transporte de bebidas y productos alimenticios, productos electrónicos de consumo, agricultura, transporte y construcción de vehículos. La amplia diversidad de usos de las poliolefinas en aplicaciones residenciales, comerciales e industriales se ha traducido en una demanda sustancial de poliolefinas brutas que pueden ser extrudidas, inyectadas, sopladas o conformadas en productos o componentes finales consumibles.

30 Para satisfacer esta demanda, existen diversos procesos mediante los cuales se pueden polimerizar olefinas para formar poliolefinas. Típicamente, estos procesos se realizan en o cerca de plantas petroquímicas, que tienen fácil acceso a moléculas de olefinas de cadena corta (monómeros y comonómeros), como etileno, propileno, buteno, penteno, hexeno, octeno, deceno y otros bloques estructurales de polímeros mucho más largos de poliolefinas. Estos monómeros y comonómeros se pueden polimerizar en reactores de polimerización de fase líquida y/o de fase gaseosa para formar un producto que comprende partículas sólidas de polímero (poliolefina), denominadas típicamente gránulos o polvo. El polvo puede tener una o más propiedades de fusión, físicas, reológicas y/o mecánicas de interés, como densidad, índice de fusión (MI), índice de fluidez en estado fundido (MFR), contenido de copolímero, contenido de comonómero, módulo y cristalinidad. Se pueden seleccionar las condiciones de reacción en el reactor, como temperatura, presión, concentraciones de productos químicos, velocidad de producción del polímero, etc., para conseguir las propiedades deseadas del polvo.

35 Además de la una o más olefinas usadas como monómeros, se debe añadir al reactor un catalizador para facilitar la polimerización de los monómeros. Por ejemplo, el catalizador puede ser un catalizador en partículas añadido como corriente de alimentación al reactor y, una vez añadido, suspendido en el medio fluido presente en el reactor. Un ejemplo de dicho catalizador es un óxido de cromo que contiene cromo hexavalente sobre un soporte de sílice. También se puede introducir en el reactor un diluyente. El diluyente puede ser un hidrocarburo inerte que sea líquido en las condiciones de la reacción, como isobutano, propano, n-pentano, i-pentano, neopentano y n-hexano. Sin embargo, algunos procesos de polimerización pueden no emplear un diluyente distinto, como en el caso de ejemplos seleccionados de producción de polipropileno en los que el propio monómero de propileno actúa como diluyente.

40 La descarga del reactor incluye típicamente el polvo del polímero así como componentes no poliméricos, como monómero (y comonómero) de olefina que no ha reaccionado, diluyente, etc. En el caso de la producción de polietileno, los componentes no poliméricos comprenden típicamente diluyente, como isobutano, que tiene una cantidad pequeña (por ejemplo, 5% en peso) de etileno que no ha reaccionado. Generalmente, esta corriente de

descarga se procesa, como por un sistema de recuperación de diluyente/monómero, para separar del polvo de polímero los componentes no poliméricos. El diluyente recuperado, monómero que no ha reaccionado y otros componentes no poliméricos procedentes del sistema de recuperación se pueden tratar, como por lechos de tratamiento y/o un sistema de fraccionamiento, y retornar finalmente al reactor como alimentación purificada o tratada. Algunos de los componentes se pueden quemar o retornar al suministrador, como a una planta de fabricación de olefinas o refinería de petróleo. Lo mismo que el polímero recuperado (sólidos), el polímero puede ser tratado para desactivar el catalizador residual, separar hidrocarburos contenidos, secar el polímero y granular el polímero en una extrusora, etc., antes de enviar el polímero al consumidor.

El negocio competitivo de la producción de poliolefinas lleva continuamente a los fabricantes a mejorar sus procesos para reducir costes de producción. En una industria en la que se producen anualmente billones de kilogramos de poliolefinas, pequeñas mejoras incrementales, por ejemplo, en actividad del catalizador, rendimiento de monómero, eficiencia energética, recuperación de diluyente, etc., pueden generar ahorros importantes de costes en la fabricación de poliolefinas. Afortunadamente, los avances tecnológicos de los últimos años en materias primas, diseño y funcionamiento de los equipos, etc., han proporcionado grandes progresos en reducción de costes fijos, de inversión y operativos de sistemas de fabricación de poliolefinas. Por ejemplo, investigaciones sobre catalizadores han producido catalizadores comerciales con valores de actividad de órdenes de magnitud mayores que los de hace dos a tres décadas, originando una reducción notable de la cantidad de catalizador consumido por kilogramo de polímero producido y reduciendo también la cantidad de tratamiento (y equipo) usado corriente abajo para desactivar y/o separar catalizador residual en el polímero producido. Además, ventajas en el diseño y funcionamiento del equipo han incrementado también la recuperación de diluyente por lo que se utiliza menos reposición de diluyente. Los avances tecnológicos han mejorado también el rendimiento de monómero, que es una medida de la conversión de monómero, como etileno o propileno, en un polímero o poliolefina, como polietileno o polipropileno. Adicionalmente, los avances han incrementado también la eficiencia energética en la fabricación de poliolefinas.

En general, la producción de poliolefinas es un proceso intensivo energéticamente, que consume electricidad, vapor de agua, gas combustible, etc. Una manera común de expresar el consumo de energía en una tecnología o proceso conocido de fabricación es en unidades de energía por masa de poliolefina producida. En una planta típica de polietileno, el consumo eléctrico puede ser 460 kilovatios.hora por tonelada métrica (kWh/t) de polietileno o más. En el caso de vapor de agua, el consumo puede ser mayor que 8 kilogramos por tonelada métrica (kg/t) de polietileno, equivalente a 320 kWh/t de polietileno. Igualmente, el consumo de gas combustible en una planta típica de poliolefinas, como una planta de polietileno, puede ser 8 kg/t o más. De nuevo, este consumo de energía significa un coste importante en la producción de poliolefinas, así como de los productos producidos corriente abajo distribuidos al consumidor.

Una diversidad de equipo y operaciones en el proceso de fabricación de poliolefina puede consumir energía. Hay que mencionar que equipos consumidores de electricidad en una planta de poliolefina pueden incluir, por ejemplo, las bombas que hacen circular la mezcla líquida de reacción en los reactores de polimerización (por ejemplo, reactores en suspensión de circuito cerrado), las bombas que hacen circular el medio de refrigeración (por ejemplo, agua tratada) por las camisas del reactor de polimerización, los compresores que presurizan y retornan diluyente (y/o monómero) reciclado al reactor de polimerización, las soplantes usadas para transportar polvo y gránulos y las extrusoras que convierten el polvo de poliolefina en gránulos de poliolefina. Equipos consumidores importantes de vapor de agua en una planta típica de poliolefina pueden incluir calentadores que separan líquido en el efluente del reactor de polimerización y columnas de fraccionamiento que procesan diluyente y/o monómero recuperado. Procesos consumidores relativamente grandes de gas combustible pueden incluir procesos de activación (que pueden utilizar mucho calor) del catalizador de polimerización y operaciones que mantienen el contenido adecuado de combustible en la cabeza del quemador de la planta (en la alimentación al quemador). En general, se requiere mucha energía para polimerizar el monómero y comonómero a polvo de poliolefina, procesar efluente reciclado procedente del reactor y convertir el polvo de poliolefina en gránulos.

La patente WO-A-10044007566 describe un proceso y aparato para pasar un efluente de polimerización que comprende polímero, monómero que no ha reaccionado, diluyente y cantidades pequeñas de contaminantes a un separador a alta presión donde la mayoría de los componentes fluidos se separan y donde se separa del grueso de los componentes fluidos separados una corriente de deslizamiento que comprende diluyente y cantidades menores de monómero. El grueso de los componentes fluidos separados se recicla directamente a la zona de polimerización sin separación de olefinas costosas, aunque opcionalmente se puede realizar un tratamiento para separar otros contaminantes. El polímero y fluido atrapado pasan a una zona de separación a baja presión donde el fluido se separa, se comprime y se une con los componentes separados procedentes del depósito de separación a alta presión. Como el grueso de los fluidos se separa a alta presión, la compresión y enfriamiento de fluidos antes de ser reciclados se mantiene a un mínimo.

La patente US-A-2004007566 describe un proceso y aparato para separar sólidos poliméricos, fluidos del tipo de hidrocarburos y gas de purga en una zona intermedia de presión y una zona de purga. El gas de purga de la zona de purga se usa para separar de los sólidos poliméricos fluidos del tipo de hidrocarburos y una corriente que contiene hidrocarburos, y el gas de purga se pasa a una zona de recuperación de hidrocarburos/gas de purga. El gas de purga de alta pureza procedente de la zona de recuperación se usa eficientemente pasando de nuevo una porción a la zona de purga y otra porción a la zona de alimentación de una extrusora. Los fluidos del tipo de hidrocarburos

separados de los sólidos poliméricos en la zona intermedia de presión y en la zona de recuperación de hidrocarburos/gas de purga se licuan y pasan a una zona de reciclado y los hidrocarburos (típicamente diluyente líquido y/o monómero que no ha reaccionado) se reciclan al reactor sin fraccionamiento.

5 La patente US-A-5.314.579 describe un proceso para separar hidrocarburos de suspensiones de polímeros. El proceso incluye alimentar una suspensión de un polímero que contiene hidrocarburos a un depósito de separación para separar de la suspensión una porción de los hidrocarburos. Después, la suspensión resultante se alimenta a un secador de lecho fluido en el que se separa del polímero hidrocarburos adicionales. Posteriormente, el polvo resultante del polímero se transfiere a un silo de polvo en el que se separa del polímero más hidrocarburos utilizando un gas caliente de purga que circula en contracorriente con respecto al polvo de polímero. El polímero de salida  
10 tiene preferiblemente un contenido bajo de hidrocarburos, del orden de 100 ppm o menos.

La patente US-A-200424146 se refiere a procesos y plantas de polimerización continua en solución. Dichas plantas y procesos incluyen un generador de presión, un reactor de polimerización corriente abajo del citado generador de presión, un dispositivo de despresurización corriente abajo del citado reactor de polimerización y un separador corriente abajo del citado dispositivo de despresurización, en los que el citado generador de presión es suficiente  
15 para proporcionar presión a la citada mezcla de reacción durante el funcionamiento de la citada planta del proceso para producir una mezcla reacción de una sola fase líquida en el citado reactor y una mezcla de reacción de dos fases líquida-líquida en el citado separador en ausencia de generadores adicionales de presión entre el citado reactor y el citado separador.

La patente WO-A-2004027264 describe un proceso y aparato de polimerización de olefinas en los que se hace circular en un reactor continuo de circuito cerrado, mediante dos o más bombas, una suspensión fluida que comprende monómero, diluyente y catalizador. El proceso y aparato permiten realizar la reacción con un contenido de sólidos significativamente mayor en la suspensión fluida circulante. En una realización preferida, se hace circular la suspensión fluida mediante dos impulsores dispuestos de modo que el impulsor corriente abajo se beneficia de la energía de rotación impartida por el impulsor corriente arriba. El proceso de polimerización de olefinas que funciona  
20 con mayor contenido de sólidos en el reactor debido a la circulación más intensa tiene mayores eficiencias, particularmente en reactores de volumen grande.

Breve descripción de los dibujos

Las ventajas de la presente invención pueden ser evidentes tras la lectura de la siguiente descripción detallada y por referencia a los dibujos en los que:

30 la figura 1 es un diagrama de flujos de bloques que representa un ejemplo de sistema de fabricación de poliolefinas para producir poliolefinas de acuerdo con una realización de las presentes técnicas,

la figura 2 es un diagrama de flujos del proceso de un ejemplo de sistema de alimentación del sistema de fabricación de poliolefinas de la figura 1 de acuerdo con una realización de las presentes técnicas,

35 la figura 3 es un diagrama de flujos del proceso de un ejemplo de circuito de regeneración de un purificador de acuerdo con una realización de las presentes técnicas,

la figura 4 es un diagrama de bloques de un ejemplo de método para regenerar un purificador de acuerdo con una realización de las presentes técnicas,

la figura 5 es un diagrama de flujos del proceso de un ejemplo de sistema de preparación del catalizador del sistema de alimentación de la figura 2 de acuerdo con una realización de las presentes técnicas,

40 la figura 6 es un diagrama de flujos del proceso de un ejemplo de sistema de activación del catalizador de acuerdo con una realización de las presentes técnicas,

la figura 7 es un diagrama de flujos del proceso de un ejemplo de sistema de reactor y sistema de recuperación de diluyente/monómero del sistema de fabricación de poliolefinas de la figura 1 de acuerdo con una realización de las presentes técnicas,

45 la figura 8 es una representación esquemática del ejemplo de reactor de polimerización de la figura 7 que muestra la circulación del medio de refrigeración por la camisa del reactor de acuerdo con una realización de las presentes técnicas,

la figura 9 es un diagrama de flujos del proceso de un ejemplo de sistema de refrigeración usado en el control de temperatura del reactor de polimerización de la figura 8 de acuerdo con una realización de las presentes técnicas,

50 la figura 10 es una representación esquemática de un ejemplo de descarga continua de salida del reactor de polimerización de la figura 7 de acuerdo con una realización de las presentes técnicas,

la figura 11 es una sección transversal a lo largo de la línea 11-11 de la figura 10, que muestra una disposición de válvula de compuerta en el conjunto de descarga continua de salida de acuerdo con una realización de las presentes técnicas,

5 la figura 12 es una representación esquemática de una localización tangencial del conjunto de descarga continua de acuerdo con una realización de las presentes técnicas,

la figura 13 es un diagrama de flujos del proceso del sistema de fraccionamiento de la figura 1 de acuerdo con una realización de las presentes técnicas, y

la figura 14 es un diagrama de flujos del proceso del sistema de extrusora/descarga de la figura 1 de acuerdo con una realización de las presentes técnicas.

10 Mejor modo de realizar la invención

De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema de fabricación para producir una poliolefina, que comprende:

- un sistema de alimentación que comprende un caudalímetro de masa configurado para medir el caudal de monómero alimentado al reactor de polimerización,
- 15 – un sistema de reactor de poliolefina que tiene un reactor de polimerización, en el que el reactor de polimerización comprende una descarga continua,
- un sistema de recuperación de diluyente/monómero configurado para tratar el efluente descargado del reactor de polimerización, en el que el efluente comprende partículas de poliolefina y diluyente y en el que el sistema de recuperación de diluyente/monómero está configurado para facilitar el reciclado directo de por lo menos el
- 20 80% en peso del diluyente recuperado en el sistema de recuperación de diluyente/monómero al reactor de polimerización sin fraccionamiento,
- un sistema de fraccionamiento configurado para procesar una porción del diluyente, y
- un sistema de extrusión/descarga que tiene una extrusora,

25 en el que el sistema de fabricación está configurado para consumir menos de 144 kilogramos de vapor de agua por tonelada métrica de poliolefina producida.

En una realización, el sistema de alimentación comprende un caudalímetro de masa configurado para medir el caudal de etileno alimentado al reactor de polimerización.

En otra realización, el reciclado directo comprende condensar el diluyente, pasar el diluyente por un purificador y retornar el diluyente al reactor de polimerización.

30 De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un método de funcionamiento de un proceso de fabricación de una poliolefina, que comprende:

- alimentar un monómero, un diluyente y un catalizador a un reactor de polimerización,
- medir con un caudalímetro de masa el caudal de monómero alimentado al reactor de polimerización,
- polimerizar el monómero en el reactor de polimerización para formar partículas de poliolefina,
- 35 – descargar en continuo del reactor de polimerización una suspensión, en la que la suspensión comprende monómero, diluyente y partículas de poliolefina,
- recuperar de la suspensión partículas de poliolefina separando de la suspensión por lo menos la mayor parte del diluyente,
- reciclar directamente al reactor de polimerización una primera porción que comprende por lo menos el 80% en
- 40 peso del diluyente separado, sin fraccionar la primera porción,
- fraccionar una segunda porción del diluyente separado, para proporcionar diluyente exento sustancialmente de monómero,
- extrudir y granular las partículas de poliolefina recuperada, para formar gránulos de poliolefina,
- transportar los gránulos de poliolefina a una zona de descarga, y
- 45 – consumir menos de 144 kilogramos de vapor de agua por tonelada métrica de gránulos de poliolefina producida.

En una realización, el método comprende medir con un caudalímetro de masa el caudal de monómero de etileno alimentado al reactor de polimerización.

5 En otra realización, reciclar directamente al reactor de polimerización una primera porción que comprende por lo menos el 80% en peso del diluyente separado sin fraccionar la primera porción comprende condensar la primera porción, pasar la primera porción por un purificador y retornar la primera porción al reactor de polimerización.

10 A continuación se describirán una o más realizaciones específicas de la presente invención. En un esfuerzo para proporcionar una descripción exacta de estas realizaciones, no todas las características de una implementación actual se describen en la memoria. Se debe apreciar que en el desarrollo de cualquier implementación actual, como en cualquier proyecto de ingeniería o diseño, se deben hacer numerosas decisiones específicas de dicha implementación para conseguir los objetivos específicos de los desarrolladores, como conformidad con limitaciones relacionadas con el sistema o relacionadas con el asunto, que pueden variar de una implementación a otra. Además, se debe apreciar que dicho esfuerzo de desarrollo puede ser complejo y necesitar tiempo pero no obstante debería ser un compromiso rutinario de diseño y fabricación para los expertos ordinarios que se benefician de esta descripción.

15 Las presentes técnicas incrementan la eficiencia energética en la fabricación de una poliolefina, como polietileno o polipropileno. Dicha reducción de requisitos energéticos se puede conseguir, por ejemplo, reduciendo etapas del proceso, eliminando equipo y usando otras técnicas que mejoren la eficiencia. Como se discute en la descripción, ejemplos de técnicas que pueden aumentar la eficiencia energética incluyen reducción del fraccionamiento y compresión del diluyente reciclado y otros componentes, la combinación de recipientes en usos dobles, etc. En general, dicha reducción de la energía requerida para producir un kilogramo de poliolefina es beneficiosa para instalaciones de producción de todo el mundo, con mayores beneficios en partes del mundo donde la energía es relativamente costosa.

25 Para facilitar la discusión de las presentes técnicas, se presenta la descripción en secciones. La sección I introduce ejemplos de técnicas eficientes energéticamente en el proceso de fabricación de poliolefinas. La sección II proporciona una visión general de un ejemplo de proceso de producción de poliolefinas. La sección III discute el sistema de alimentación al reactor de polimerización. La sección IV discute el sistema del reactor de polimerización. La sección V discute el sistema de recuperación de diluyente/monómero que puede recuperar diluyente y monómero que no ha reaccionado del efluente que se descarga del reactor de polimerización. La sección VI está enfocada hacia la refrigeración del reactor de polimerización. La sección VII discute el uso de álabes en la bomba de circulación del reactor para mejorar la eficiencia de bombeo e incrementar la velocidad de producción de la poliolefina. La sección VIII discute la implementación de una salida continua para la descarga del reactor de polimerización. La sección IX discute un ejemplo de sistema de fraccionamiento que puede procesar una porción grande del diluyente reciclado o que puede tratar sólo una porción pequeña para proporcionar diluyente exento de olefina usado en la preparación del catalizador. La sección X discute el sistema de extrusión/descarga que convierte las partículas de poliolefina bruta en gránulos de poliolefina para su distribución al consumidor. Finalmente, la sección XI resume ejemplos de técnicas eficientes energéticamente. Se debe indicar que en la descripción se discuten ejemplos de las presentes técnicas que proporcionan reducción del consumo de energía en la producción de la poliolefina. También, aunque la discusión se pueda enfocar a veces hacia la producción de polietileno y sus copolímeros, las técnicas descritas proporcionan beneficios de mayor eficiencia energética en la producción de otras poliolefinas, como polipropileno, polibutileno, etc. Finalmente, debe ser evidente que las diversas técnicas pueden ser implementadas en una multiplicidad de combinaciones.

#### *1. Introducción a ejemplos de técnicas eficientes energéticamente*

45 Las presentes técnicas proporcionan mayor eficiencia energética en una amplia gama de operaciones en el proceso de fabricación de poliolefinas. Dichas operaciones incluyen, por ejemplo, el sistema de alimentación al reactor, sistema de reactor, sistema de recuperación de diluyente/monómero, sistema de fraccionamiento y sistema de extrusión/descarga. Estas técnicas de ahorro energético se introducen en esta sección y se discuten en detalle en secciones siguientes.

#### *A. Sistema de alimentación al reactor*

50 En el sistema de alimentación al reactor de polimerización, para medir el caudal de monómero se usa, por ejemplo, un caudalímetro de masa en lugar del caudalímetro convencional de placa perforada, eliminando el precalentamiento del monómero. También, se puede emplear un activador más grande del catalizador, reduciendo la cantidad de gas combustible consumido para activar el catalizador de polimerización alimentado al reactor. Adicionalmente, se puede reducir el número de purificadores que eliminan venenos del catalizador de las corrientes de alimentación al reactor, proporcionando una regeneración más eficiente de los purificadores. Además, una técnica mejorada de regenerar los purificadores reduce la cantidad de componentes inertes (por ejemplo, nitrógeno) descargados a la cabeza del quemador. Como resultado, se inyecta menos gas combustible (por ejemplo, gas natural) a la cabeza del quemador para mantener un contenido apropiado de combustible de la alimentación al quemador.

### B. Sistema de reactor de polimerización

En el propio sistema de reactor, una retirada continua (CTO) de la suspensión de poliolefina descargada del reactor de polimerización, en lugar de la descarga intermitente convencional que emplea tubos de sedimentación, permite que el reactor funcione con una concentración mayor de sólidos. Una concentración mayor de poliolefina en el reactor puede permitir una velocidad mayor de producción de la poliolefina. En general, incrementos de la velocidad de producción pueden reducir el consumo normalizado de energía, en parte por repartir costes fijos de energía en más kilogramos de poliolefina producida. Otro beneficio de la descarga CTO es que se pueden separar del reactor más partículas finas de poliolefina (partículas relativamente pequeñas) o "finos" que con la configuración convencional de tubos de sedimentación. Por lo tanto, con menos superficie de partículas en el reactor, la mezcla fluida funciona a una viscosidad menor facilitando la circulación del contenido del reactor y disminuyendo la potencia de la bomba de circulación del reactor. Además, se pueden conseguir velocidades mayores de producción, por ejemplo, con 2-3 CTO en funcionamiento normal para un único reactor y 1-2 CTO en estado de espera. También, cada CTO puede tener un calentador dedicado en la línea de separación. Sin embargo, con la configuración convencional de tubos de sedimentación, pueden estar en funcionamiento tanto como 12-14 CTO para obtener las mismas velocidades de producción, teniendo cada tubo de sedimentación un calentador dedicado en la línea de separación. Así, con las CTO se obtienen mayores velocidades de producción de la poliolefina, con menos uso de vapor de agua.

Adicionalmente, se puede construir un reactor de fase líquida, como un reactor en suspensión de circuito cerrado, de un material (por ejemplo, aluminio de alta resistencia) que tiene mayor resistencia y/o conductividad térmica que los materiales de acero utilizados tradicionalmente en la fabricación de reactores en suspensión de circuito cerrado. Dichos materiales más nuevos de alta resistencia pueden proporcionar paredes del reactor mejoradas más finas, mayor transferencia de calor a través de las paredes y un diámetro mayor del reactor, permitiendo una mayor producción de poliolefina. También otro ejemplo en el sistema de reactor es el uso de álabes de guía en la bomba de circulación del reactor que proporcionan mayor eficiencia de bombeo (menor consumo eléctrico) y mayor velocidad de producción de poliolefina. Finalmente, otro ejemplo es una técnica que especifica un incremento mayor de la temperatura (por ejemplo, de los 5-6°C tradicionales a los 8-25°C actuales y más) del refrigerante que circula por las camisas del reactor. Dicha mayor diferencia de temperatura entre el aporte y el retorno de refrigerante imparte sustancialmente la misma capacidad de eliminación de calor pero a caudales menores de refrigerante. Por lo tanto, se puede dimensionar una bomba más pequeña de circulación de refrigerante, requiriendo menos potencia.

### C. Sistema de recuperación de diluyente/monómero

En el sistema de recuperación de diluyente/monómero que trata el efluente descargado del reactor de polimerización, se pueden conseguir ahorros de electricidad eliminando una separación del diluyente a baja presión y la compresión asociada del reciclado. Se pueden conseguir más ahorros eliminando la columna de purga que separa de las partículas de polvo de poliolefina hidrocarburos residuales. La operación de separar hidrocarburos se puede realizar en el depósito de alimentación de la extrusora corriente abajo en el sistema de extrusión/descarga. Esta mejora permite la utilización de la presión del proceso en la cámara de separación corriente arriba, en lugar de un sistema de transporte por soplante que consume electricidad, para transportar las partículas de poliolefina al depósito de alimentación a la extrusora. La mejora proporciona también partículas de polvo de poliolefina más calientes alimentadas a la extrusora corriente abajo, reduciendo así la carga energética en la extrusora.

### D. Sistema de extrusión/descarga

También se puede reducir el número de silos de polvo de poliolefina intermedios entre el sistema de recuperación de diluyente/monómero y el sistema de extrusión/descarga, en parte por un funcionamiento mejorado del reactor de polimerización corriente arriba y de la extrusora corriente abajo. Dicha reducción de silos o depósitos de almacenamiento puede reducir el número de soplantes asociados y su consumo de electricidad. En el sistema de extrusión/descarga, se puede ahorrar electricidad usando una bomba de agua para transportar los gránulos de poliolefina descargados de la extrusora/granuladora a los silos de gránulos en lugar del conjunto convencional de transporte por soplante. En efecto, la potencia de la bomba de agua para el transporte de los gránulos es típicamente de un orden de magnitud menor que el de una soplante de transporte neumático.

### E. Sistema de fraccionamiento

En el sistema de fraccionamiento que procesa el monómero que no ha reaccionado recuperado y el diluyente procedentes del reactor de polimerización y del sistema de recuperación de diluyente/monómero, se puede reducir el uso de vapor de agua tanto como un 90 por ciento. Dicha reducción se consigue por reciclado directo del diluyente y monómero al reactor de polimerización sin pasar por el sistema de fraccionamiento, permitiendo así columnas de fraccionamiento más pequeñas y los cambiadores de calor del calderín de vapor de agua asociados más pequeños.

### F. Representación de resultados de los ejemplos

La siguiente tabla 1 muestra ejemplos de eficiencia energética mejorada con implementación de realizaciones de algunas de las presentes técnicas. En la tabla 1 se dan datos representativos de consumo de energía para un ejemplo de tecnología del proceso de polietileno que utiliza un reactor en suspensión de circuito cerrado, una

extrusora de doble hélice y el equipo típico asociado. Las cifras de consumo de electricidad se dan en kilowatios.hora por tonelada métrica de polietileno producido. Las cifras de consumo de vapor de agua se dan en kilogramos de gas combustible por tonelada métrica de polietileno producido.

Tabla 1

5 Comparación del consumo de energía

	Valor medio en la industria	Valor mejorado <sup>1</sup>	Valor mejorado <sup>2</sup>	Valor medio mejorado
Electricidad (kWh/t)	458	325	350	338
Vapor de agua (kg/t)	312	144	148	146
Gas combustible (kg/t)	7,6	2,8	6,5	4,7

(1) Determinado en agosto de 2004

(2) Determinado en agosto de 2005

10 Un ejemplo de cifra de consumo total de energía de electricidad, vapor de agua y gas combustible es 445 kWh/t, basado en el primer ejemplo mejorado. El consumo de vapor de agua [(por ejemplo, de 11,60 kg/cm<sup>2</sup> (presión absoluta)] se puede expresar como 144 kg/t x 900 BTU/lb x 1 lb/0,454 kg x 0,000293 kWh/BTU = 84 kWh/t. El consumo de gas combustible [basado en un contenido de combustible de aproximadamente 1.000 BTU por pie cúbico en condiciones estándar (scf)] es 2,8 kg/t x 1.000 BTU/scf x 359 scf/lb.mol/18 lb x 1 lb/0,454 kg x 0,000293 kWh/BTU = 36 kWh/t. Por lo tanto, el consumo combinado de energía es 325 + 84 + 36 = 445 kWh/t. Igualmente, en el segundo ejemplo mejorado, el consumo de vapor de agua es 86 kWh/t y el consumo de gas combustible es 84 kWh/t. Por lo tanto, en el segundo ejemplo mejorado, el consumo combinado de energía es 350 + 86 + 84 = 520 kWh/t. Así, en el ejemplo 2, el componente de electricidad es aproximadamente 2/3 del consumo de energía y cada uno del consumo de vapor de agua y gas combustible es aproximadamente 1/6 del consumo de energía. La media de energía total de los dos ejemplos es aproximadamente 483 kWh/t.

20 Finalmente, se debe indicar, como se representa en la siguiente tabla 2, que las presentes técnicas proporcionan un uso reducido de nitrógeno y diluyente (por ejemplo, isobutano). En efecto, las presentes técnicas de ahorro energético ofrecen ahorros significativos del consumo de nitrógeno y diluyente. Por ejemplo, con menos circuitos cerrados de transporte neumático del polvo y de los gránulos, se usa y pierde menos nitrógeno. Otro ejemplo es que como la mayor parte del diluyente recuperado no pasa por el sistema de fraccionamiento porque se recicla "directamente" al reactor de polimerización, se pierde menos diluyente. Los ejemplos de cifras de consumo de nitrógeno y diluyente de la tabla 2 se dan en metros cúbicos normales de nitrógeno perdido por tonelada métrica de poliolefina producida y en kilogramos de isobutano (diluyente) perdido por tonelada métrica de poliolefina producida, respectivamente.

Tabla 2

Pérdidas de nitrógeno y diluyente

	Valor medio en la industria	Valor mejorado
Nitrógeno (m <sup>3</sup> normales/t)	76	26
Isobutano (kg/t)	13	1,7

30 *II. Proceso de producción de poliolefinas – Resumen general*

En la producción de poliolefinas, el o los reactores de polimerización que polimerizan monómero a poliolefina y la o las extrusoras que convierten la poliolefina en gránulos de poliolefina funcionan típicamente de modo continuo. Sin embargo, en el proceso de producción de poliolefinas se puede emplear una diversidad de sistemas continuos y discontinuos. Un ejemplo de capacidad nominal de una planta típica de poliolefina es aproximadamente 270-360x10<sup>6</sup> kilogramos de poliolefina producida por año. Ejemplos de velocidades horarias de diseño son aproximadamente 38-41x10<sup>3</sup> kilogramos de poliolefina polimerizada por hora y 41-43x10<sup>3</sup> kilogramos de poliolefina extrudida por hora. De nuevo, en general, incrementos de la capacidad de producción pueden disminuir el consumo eléctrico en kilowatios.hora por kilogramo de poliolefina.

40 Volviendo ahora a los dibujos y con referencia inicial a la figura 1, un diagrama de bloques representa un ejemplo de proceso de fabricación 10 para producir poliolefinas, como homopolímero de polietileno, homopolímero de



polipropileno y/o sus copolímeros. Diversos suministradores pueden proporcionar materiales de alimentación 14 al reactor para el sistema de fabricación 10 mediante tuberías, carretillas, cilindros, tambores, etc. Los suministradores 12 pueden comprender instalaciones internas o externas, incluidas plantas de olefinas, refinerías, plantas de catalizadores, etc. Ejemplos de posibles materiales de alimentación 14 incluyen monómeros y comonómeros de olefinas (como etileno, propileno, buteno, hexeno, octeno y deceno), diluyentes (como propano, isobutano, n-hexano y n-heptano), agentes de transferencia de cadenas (como hidrógeno), catalizadores (como catalizadores Ziegler, catalizadores Ziegler-Natta, catalizadores basados en cromo y catalizadores basados en metallocenos) cocatalizadores (como trietilaluminio, trietilboro y metilaluminoxano) y otros aditivos. En el caso de monómero de etileno, el etileno se puede suministrar por tubería a una presión manométrica de aproximadamente 55-100 bares y a 7-18°C y el hidrógeno se puede suministrar por tubería a una presión manométrica de aproximadamente 62-69 bares y a 32-43°C. Por supuesto puede existir una diversidad de condiciones de suministro de etileno, hidrógeno y otros materiales de alimentación 14.

#### A. Sistema de alimentación

Los suministradores 12 proporcionan típicamente materiales de alimentación 14 a un sistema de alimentación 16 al reactor y los materiales de alimentación 14 se pueden almacenar, como en depósitos de almacenamiento y alimentación de monómero, depósitos de diluyente, depósitos de catalizador, cilindros y depósitos de cocatalizador, etc. En el sistema 16, los materiales de alimentación 14 pueden ser tratados o procesados antes de su introducción como alimentación 18 a los reactores de polimerización. Por ejemplo, los materiales de alimentación 14, como monómero, comonómero y diluyente, pueden ser enviados a través de lechos de tratamiento (por ejemplo, lechos de tamices moleculares, relleno de aluminio, etc.) para eliminar venenos del catalizador. Dichos venenos del catalizador pueden incluir, por ejemplo, agua, oxígeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y compuestos orgánicos que contienen azufre, oxígeno o halógenos. El monómero y comonómeros de olefina pueden ser líquidos, gaseosos o un fluido supercrítico, dependiendo del tipo de reactor a alimentar. También, se debe indicar que típicamente se utiliza sólo una cantidad relativamente pequeña de diluyente de nueva aportación como material de alimentación, siendo la mayor parte del diluyente alimentado al reactor de polimerización diluyente recuperado del efluente del reactor. Además, técnicas mejoradas de regeneración de los lechos de tratamiento, como se explica más adelante, reducen la cantidad de componentes inertes (por ejemplo, nitrógeno) situados en la cabeza del quemador, reduciendo así la cantidad de gas combustible consumido por el quemador.

El sistema de alimentación 16 puede preparar o acondicionar otros materiales de alimentación 14, como catalizadores, para su adición a los reactores de polimerización. Por ejemplo, el catalizador se puede activar y mezclar después con diluyente (por ejemplo, isobutano o hexano) o con aceite mineral en depósitos de preparación del catalizador. En la zona del catalizador del proceso de fabricación 10, un ejemplo de mayor eficiencia energética, como se discute más adelante, es el uso de un activador más grande del catalizador que consume menos gas combustible que el activador de tamaño tradicional. Además, un activador más grande puede sustituir a dos o más activadores más pequeños.

También, el sistema de alimentación 16 típicamente mide y controla el caudal de adición de los materiales de alimentación 14 al reactor de polimerización para mantener la estabilidad deseada del reactor y/o conseguir las propiedades deseadas de la poliolefina o su velocidad de producción. En otro ejemplo de mayor eficiencia energética, discutido también más adelante, una técnica mejorada de medición del caudal de monómero (por ejemplo, etileno) al reactor de polimerización consume menos energía. En lugar del caudalímetro tradicional perforado, que mide presión diferencial en la placa perforada y que generalmente requiere precalentamiento del monómero con vapor de agua (o con vapor de agua condensado) para conseguir una medición precisa, para medir el caudal de etileno se usa un caudalímetro de masa (por ejemplo, un caudalímetro Coriolis, de Micro Motion Inc., Boulder, Colorado). Los caudalímetros de masa no requieren típicamente precalentamiento del monómero de etileno y, por lo tanto, ahorran energía con respecto al caudalímetro tradicional perforado.

También, durante su funcionamiento, el sistema de alimentación 16 puede almacenar, tratar y medir efluente recuperado del reactor para ser reciclado al reactor. En efecto, las operaciones del sistema de alimentación 16 reciben generalmente corrientes de material de alimentación 14 y de efluente recuperado del reactor. En total, los materiales de alimentación 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 y cocatalizadores, hidrógeno, aditivos o combinaciones de estos) al sistema de reactor 20.

#### B. Sistema de reactor

El sistema de reactor 20 puede comprender uno o más reactores, como reactores de fase líquida o reactores de fase gaseosa. El sistema de reactor 20 también puede comprender una combinación de reactores de fase líquida y gaseosa. Si el sistema de reactor 20 comprende varios reactores, estos pueden estar dispuestos en serie, en paralelo o en cualquier otra combinación o configuración. En los reactores de polimerización, se polimerizan uno o más monómeros de olefina para formar un producto que comprende partículas de polímero, denominadas típicamente polvo o gránulos. El polvo puede tener una o más propiedades de fusión, físicas, reológicas y/o mecánicas de interés, como densidad, índice de fusión (MI), índice de fluidez en estado fundido (MFR), contenido de copolímeros o comonómeros, módulo y cristalinidad. Para conseguir las deseadas propiedades del polvo se pueden

seleccionar las condiciones de reacción, como temperatura, presión, caudal, agitación mecánica, retirada del producto, concentraciones de los componentes, velocidad de producción del polímero, etc. Se consiguen ejemplos de mayor eficiencia energética por menor consumo eléctrico en el sistema de reactor 20, presentados más adelante, mediante técnicas mejoradas de refrigeración y descarga de la mezcla de polimerización presente en el reactor.

- 5 Además del uno o más monómeros de olefina, típicamente se añade al reactor un catalizador que facilite la polimerización del monómero. El catalizador puede ser una partícula suspendida en el medio fluido presente en el reactor. En general, se pueden usar catalizadores Ziegler, catalizadores Ziegler-Natta, metalocenos y otros catalizados de poliolefinas bien conocidos, así como cocatalizadores. Un ejemplo de dicho catalizador es un óxido de cromo que contiene cromo hexavalente sobre un soporte de sílice.
- 10 También, se puede alimentar un diluyente al reactor, típicamente un reactor de fase líquida. El diluyente puede ser un hidrocarburo inerte líquido en las condiciones de reacción, como isobutano, propano, n-pentano, i-pentano, neopentano, n-hexano, ciclohexano, ciclopentano, metilciclopentano, etilciclohexano, etc. La finalidad del diluyente es generalmente suspender las partículas del catalizador y polímero en el reactor. Algunos procesos de polimerización pueden no emplear un diluyente distinto, como en el caso de producción seleccionada de polipropileno en la que el propio monómero de propileno actúa como diluyente.
- 15

En el reactor del sistema de reactor 20 puede estar presente un dispositivo motriz. Por ejemplo, en un reactor de fase líquida, como un reactor en suspensión de circuito cerrado, un agitador puede originar una zona de mezclado turbulento en el medio fluido. El agitador puede ser accionado por un motor para agitar el medio fluido así como el catalizador, polvo de poliolefina u otras partículas sólidas suspendidas en el medio fluido, por todo el circuito cerrado del reactor. Igualmente, en un reactor de fase gaseosa, como un reactor de lecho fluidizado o un reactor de circulación por pistón, se pueden usar uno o más agitadores o paletas para mezclar las partículas sólidas en el reactor. Un ejemplo de técnica para ahorrar energía es la aplicación de una fuerza motriz al medio fluido en el reactor en suspensión de circuito cerrado mediante una única bomba más grande en lugar de dos bombas más pequeñas (en serie), ahorrando así costes eléctricos.

20

### 25 *C. Recuperación, tratamiento y reciclado del diluyente/monómero*

La descarga 22 de los reactores del sistema 20 puede incluir el polvo de polímero así como componentes no poliméricos, como diluyente, monómero/comómero que no ha reaccionado y catalizador residual. La descarga 22 puede ser procesada posteriormente, como por un sistema de recuperación de diluyente/monómero 24, para separar del polvo de polímero 28 componentes no poliméricos 26 (por ejemplo, diluyente y monómero que no ha reaccionado). En el sistema de recuperación de diluyente/monómero 24, se pueden conseguir incrementos de eficiencia energética disminuyendo el consumo eléctrico por eliminación de etapas del proceso, como eliminación de una separación de recuperación a baja presión del diluyente/monómero y la compresión asociada del reciclado.

30

Con o sin separación a baja presión, los componentes no poliméricos recuperados no tratados 26 pueden ser procesados, como por un sistema de fraccionamiento 30, para separar componentes pesados y ligeros no deseables. Después, las corrientes de productos fraccionados 32 pueden retornar al sistema de reactor 20 por el sistema de alimentación 16. De acuerdo con la presente invención, los componentes no poliméricos 26 se reciclan directamente al sistema de alimentación 16 (indicado con el número de referencia 34), sin pasar por el sistema de fraccionamiento 30, y evitando así el consumo de energía del sistema de fraccionamiento 30. En efecto, en ciertas realizaciones, hasta 80-95% del diluyente descargado del reactor no pasa por el sistema de fraccionamiento en su camino hacia el reactor de polimerización. Como resultado, se puede reducir el tamaño de las columnas de fraccionamiento y el consumo asociado de vapor de agua en el sistema de fraccionamiento corriente abajo 30 tanto como 70-90%.

35

40

Lo mismo que el polvo 28, éste se procesa más en el sistema de recuperación 24 y en el sistema de extrusión/descarga 36 para prepararlo para su envío, típicamente en forma de gránulos 38, a consumidores 40. Aunque no se ilustra, los gránulos intermedios de polímero del sistema de recuperación 24 que contienen típicamente catalizador activo residual pueden retornar al sistema de reactor 20 para su polimerización adicional, como en un tipo diferente de reactor o bajo condiciones diferentes de reacción. Las porciones de polimerización y recuperación de diluyente del proceso de fabricación de poliolefina 10 se pueden denominar parte "húmeda" 42 o lado de "reacción" del proceso 10 y la porción de extrusión/descarga 36 del proceso de fabricación de poliolefina 10 se puede denominar parte "seca" 44 o lado de "acabado" del proceso de fabricación de poliolefina 10.

45

50

Ejemplos de técnicas dirigidas a incrementar la eficiencia energética pueden incluir la utilización de presión en el proceso, en lugar de una fuerza motriz eléctrica-mecánica (por ejemplo, soplante o compresor), para transportar o llevar el polvo de polímero 28 desde el sistema de recuperación 24 al sistema de extrusión/descarga 36. Técnicas mejoradas también pueden incluir un funcionamiento del sistema de reactor 20 que proporcione un acoplamiento más directo del sistema de reactor 20 y del sistema de recuperación 24 al sistema de extrusión/descarga 36. Dicho acoplamiento operativo directo o "cerrado" puede reducir la necesidad de tiempo de residencia del proceso del polvo 28. Así, se puede reducir el número de depósitos intermedios de almacenamiento del polvo (por ejemplo, silos) y de sistemas asociados de soplante/compresor y el consumo eléctrico.

55

*D. Sistema de extrusión/descarga*

En los sistemas de extrusión/descarga 36, típicamente el polvo 28 se extrude para producir gránulos de polímero 38 con las características mecánicas, físicas y de fusión deseadas. La alimentación a la extrusora puede comprender aditivos, como inhibidores de radiaciones ultravioletas y peróxidos, que se añaden al polvo 28 para impartir características deseadas a los gránulos extrudidos de polímero 32. Una extrusora/granuladora recibe la alimentación a la extrusora, que comprende uno o más productos de polvo 28 y cualesquiera aditivos que se hayan añadido. La extrusora/granuladora calienta y funde la alimentación a la extrusora, que después puede ser extrudida (por ejemplo, con una extrusora de doble hélice) a través de la boquilla de la extrusora bajo presión para formar gránulos de poliolefina. Típicamente dichos gránulos se enfrían en un sistema acuoso dispuesto en o cerca de la descarga de la extrusora. Un ejemplo de técnica de ahorro de energía incluye el uso de un bomba de agua (que tiene, por ejemplo, un motor de 15-50 HP) para transportar los gránulos extrudidos en el agua de los gránulos a la zona de descarga. Esto es al contrario de la solución tradicional de emplear un circuito convencional de transporte que usa típicamente una soplante de gránulos funcionando a aproximadamente 250-500 HP.

En general, los gránulos de poliolefina se transportan después a la zona de almacenamiento de producto donde los gránulos pueden ser almacenados, mezclados con otros gránulos y/o cargados en vagones de ferrocarril, camiones, sacos, etc., para su distribución a consumidores 40. En el caso de polietileno, los gránulos 38 enviados a consumidores 40 pueden incluir polietileno de baja densidad (LDPE), polietileno lineal de baja densidad (LLDPE), polietileno de media densidad (MDPE), polietileno de alta densidad (UDPE) y polietileno mejorado. Los diversos tipos y calidades de gránulos de polietileno 38 pueden ser comercializados, por ejemplo, bajo los nombres comerciales de polietileno Marlex<sup>®</sup> o polietileno MarFlex<sup>®</sup>, de Chevron-Phillips Chemical Company, LP, The Woodlands, Texas, Estados Unidos.

*E. Consumidores, aplicaciones y usos finales*

Los gránulos de poliolefina (por ejemplo, polietileno) 38 se pueden usar en la fabricación de una diversidad de productos, componentes, artículos de uso doméstico y otros artículos, incluidos adhesivos (por ejemplo, adhesivos de aplicación en estado fundido), conductores y cables eléctricos, películas para uso agrícola, películas contráctiles, películas estiradas, películas para envases de productos alimenticios, envases flexibles de productos alimenticios, envases de leche, envases de alimentos congelados, bolsas de basura y botes, bolsas de comestibles, sacos para usos pesados, botellas de plástico, equipo de seguridad, recubrimientos, juguetes y un conjunto de envases y productos de plástico. Además, se debe recalcar que otras poliolefinas distintas del polietileno, como polipropileno, pueden formar dichos componentes y productos mediante los procesos discutidos más adelante.

Finalmente, los productos y componentes formados de gránulos de poliolefina (por ejemplo, polietileno) 38 pueden ser procesados más y conjuntados para su distribución y venta a los consumidores. Por ejemplo, se pueden llenar botellas de polietileno con leche para su distribución a los consumidores o se puede acoplar una cisterna de fuelóleo en un camión para su distribución y venta a los consumidores.

Para formar productos finales o componentes a partir de los gránulos 38, generalmente se someten estos a un proceso posterior adicional, como moldeo por soplado, moldeo por inyección, moldeo rotacional, película soplada, película colada, extrusión (por ejemplo, extrusión de películas, extrusión corrugada y de tuberías, extrusión de recubrimiento/estratificación, etc.), etc. El moldeo por soplado es un proceso usado para producir partes o piezas huecas de plástico. El proceso emplea típicamente equipo de moldeo por soplado, como máquinas de hélices alternantes, máquinas de cabeza acumuladora, etc. El proceso de moldeo por soplado puede ser diseñado para satisfacer las necesidades de los consumidores y los productos manufacturados pueden variar desde botellas de plástico para leche a depósitos de carburante para automóviles, como se ha mencionado anteriormente. Igualmente, en el moldeo por inyección se pueden moldear productos y componentes para una amplia gama de aplicaciones, incluidos envases, envases para productos alimenticios y químicos, juguetes, automóviles, embalajes, tapones y cierres, para mencionar unos pocos.

También se pueden usar procesos de extrusión. Por ejemplo, a partir de resinas de gránulos de polietileno se pueden extrudir tuberías de polietileno que se pueden usar en un conjunto de aplicaciones debido a sus ventajas de resistencia química, facilidad relativa de instalación, duración, coste, etc. En efecto, las tuberías de plástico de polietileno han conseguido un uso significativo para suministros de agua, distribución de gas, alcantarillas y desagües, tuberías sanitarias de edificios, conductos eléctricos, conductos de energía y comunicaciones, tuberías de agua de refrigeración, recubrimientos de pozos, por mencionar unas pocas aplicaciones. En particular, el polietileno de alta densidad (HDPE), que constituye generalmente el volumen mayor del grupo de plásticos de poliolefina usados para tuberías, es duro, resistente a la abrasión y flexible (incluso a temperaturas por debajo de su punto de congelación). Además, el HDPE se puede usar en tuberías de diámetro pequeño y en tuberías de hasta más de 2,4 metros de diámetro. En general se pueden suministrar gránulos (resinas) de polietileno al mercado de tuberías de presión, como de distribución de gas natural, y al mercado de tuberías no sometidas a presión, como tuberías onduladas y de conductos.

El moldeo rotacional es un proceso a alta temperatura y baja presión usado para formar piezas huecas mediante aplicación de calor a moldes que giran biaxialmente. Las resinas de gránulos de polietileno aplicables generalmente

en este proceso son resinas que fluyen en ausencia de presión cuando funden formando una pieza exenta de burbujas. Los gránulos 38, como ciertas resinas de MDPE y de HDPE Marlex<sup>®</sup>, presentan dichas características de fluidez, así como amplias posibilidades de procesamiento. Además, estas resinas de polietileno adecuadas para moldeo rotacional pueden presentar resistencia deseable al impacto a baja temperatura, buenas propiedades de soportar cargas y buena estabilidad frente a radiaciones ultravioletas. En consecuencia, las aplicaciones de resinas Marlex<sup>®</sup> moldeadas rotacionalmente incluyen depósitos para la agricultura, depósitos para productos químicos industriales, depósitos para almacenamiento de agua potable, depósitos para aguas residuales industriales, equipos de recreo, productos marinos y muchos más.

La extrusión de hojas es una técnica para fabricar hojas planas de plástico a partir de una diversidad de resinas de gránulos 38. Generalmente las hojas de espesor relativamente pequeño se conforman térmicamente para aplicaciones de envasado, como copas para bebidas, bandejas de productos, envolturas de pañales para bebés y tubos de margarina. Otros mercados de hojas extrudidas de poliolefina incluyen los que utilizan hojas relativamente gruesas para aplicaciones industriales y recreativas, como cubiertas de plataformas de camiones, plataformas de carga, maderos para estibar automóviles, equipo para campos de juego y barcos. Un tercer uso de hojas extrudidas es, por ejemplo, en geomembranas en las que material laminar plano de polietileno se suelda en sistemas grandes de contención para aplicaciones en minería y eliminación de aguas residuales municipales.

El proceso de películas sopladas es un sistema de conversión relativamente variado usado para el polietileno. La American Society for Testing and Materials (ASTM) define las películas como materiales laminares de espesor menor que 0,254 mm. Sin embargo, el proceso de películas sopladas puede producir materiales con espesores de 0,5 mm y más. También, el moldeo por soplado junto con tecnologías de extrusión de una sola capa y/o coextrusión de varias capas sientan las bases para varias aplicaciones. Propiedades ventajosas de los productos moldeados por soplado incluyen transparencia, resistencia, facilidad de desgarrar, propiedades ópticas y dureza, por mencionar unas pocas. Las aplicaciones pueden incluir envases para productos alimenticios y al por menor, envases industriales y otras aplicaciones distintas de envases, como películas para usos agrícolas, películas para usos higiénicos, etc.

El proceso de películas coladas puede diferir del proceso de películas sopladas por las capacidades de enfriamiento rápido y orientación virtual unidireccional. Estas características permiten, por ejemplo, que una línea de películas coladas funcione a velocidades de producción mayores, con propiedades ópticas beneficiosas. Las aplicaciones de envasado de productos alimenticios y al por menor se aprovecha de estas resistencias. Finalmente, también se pueden suministrar gránulos de poliolefina a la industria de recubrimiento y estratificación por extrusión.

### *III. Sistema de alimentación al reactor de polimerización*

#### *A. Alimentación de monómero*

Con referencia a la figura 2, se representa un diagrama de flujos del proceso de un ejemplo de sistema de alimentación 16 al reactor (de la figura 1). En esta realización, se alimenta monómero 50 (por ejemplo, etileno) a través de los purificadores de monómero 52 al reactor de fase líquida (por ejemplo, un reactor en suspensión de circuito cerrado) del sistema de reactor 20. Además, se usa un caudalímetro de masa 53, en lugar de un medidor de placa perforada, para medir el caudal de etileno al reactor.

En efecto, típicamente se mide (y controla) el caudal de monómero de etileno 50 al reactor para facilitar las condiciones operativas deseadas (por ejemplo, densidad de la suspensión, proporción de comonómero/monómero, velocidad de producción, etc.) en el reactor y proporcionar las propiedades deseadas del polietileno formado en el reactor. Un ejemplo de caudalímetro de masa 53 usado para medir el caudal de monómero de etileno puede ser, por ejemplo, un caudalímetro Coriolis. Típicamente el caudalímetro Coriolis no precalienta el etileno para medir con precisión su caudal. Por el contrario, como pueden apreciar los expertos ordinarios en la técnica, un caudalímetro de placa perforada precalienta el etileno porque las condiciones típicas del material de alimentación de etileno pueden funcionar cerca del punto crítico del etileno (esto es, la presión y temperatura críticas). Por ejemplo, con la placa perforada, típicamente la indicación del caudal no es precisa si el etileno está en condiciones próximas a su punto crítico debido al cambio rápido de la densidad del fluido cerca del punto crítico. Por el contrario, el caudalímetro de masa Coriolis tolera los cambios de densidad o incluso los cambios de fase debido a su principio de trabajo que mide masa en lugar de caída de presión por la placa perforada (que está influenciada por la densidad o fase del fluido). Además del ahorro de vapor de agua o de vapor de agua condensado por no tener que precalentar la alimentación de monómero de etileno, evitando el calentamiento del etileno se origina una alimentación más fría al reactor de polietileno y, por lo tanto, se necesita eliminar del reactor menos calor durante la polimerización, aumentando más el ahorro de energía.

Hay fácilmente disponibles caudalímetros Coriolis que tienen baja caída de presión y facilidad de instalación, limpieza y drenaje. Típicamente la precisión de los caudalímetros Coriolis está dentro del intervalo de 0,05 a 0,4% con relaciones de regulación de hasta 200. Los suministradores principales de caudalímetros Coriolis incluyen, por ejemplo, MicroMotion Company, Boulder, Colorado; Endress Hauser Company, Greenwood, Indiana; FMC/Direct Measurement Company, Longmont, Colorado; y Liquid Controls Inc., Lake Bluff, Illinois.

### B. Otras corrientes de alimentación

El diluyente reciclado 54 (por ejemplo, isobutano) con una cantidad relativamente pequeña de monómero atrapado retorna del sistema de recuperación de diluyente/monómero 24 (que se corresponde, por ejemplo, con la corriente 34 de la figura 1) y se envía al reactor de polimerización. En el ejemplo de reciclado "directo" al reactor, el diluyente reciclado 54 se puede enfriar y pasar por un recipiente 56 de eliminación de componentes pesados donde estos se retiran por el fondo de descarga y se envían mediante una bomba centrífuga 58, por ejemplo, como alimentación 60 al sistema de fraccionamiento 30. La porción de cabeza 62 del recipiente de eliminación 56 puede ser enfriada más en un cambiador de calor 66 y recogida en un depósito de equilibrio 66 de diluyente reciclado, para su alimentación al reactor. Corriente abajo, una bomba centrífuga 70 puede enviar al reactor en suspensión de circuito cerrado el diluyente 72 a través de purificadores 74 de diluyente reciclado. Se debe indicar que se puede añadir al sistema de fraccionamiento 30 una cantidad relativamente pequeña de diluyente nuevo (no ilustrado), por ejemplo, para reponer pérdidas de diluyente en el proceso de fabricación 10. Además, se puede añadir comonómero 76 (por ejemplo, 1-hexeno) en la aspiración de la bomba 70 o en otros puntos del circuito de diluyente reciclado, para su adición al reactor. Los purificadores 52 de monómero y los purificadores 58 de diluyente reciclado pueden incluir tamices moleculares o relleno de aluminio configurados, por ejemplo, para eliminar venenos del catalizador de las alimentaciones de monómero, diluyente reciclado y comonómero y de otras alimentaciones.

Se pueden añadir otros componentes a la alimentación al reactor en suspensión de circuito cerrado. Por ejemplo, se puede añadir hidrógeno 60 para controlar el peso molecular de la poliolefina formada en el reactor. También, se pueden inyectar al reactor otros aditivos, como materiales antiestáticos, indicados por el número de referencia 78. Las diversas corrientes de estos componentes se pueden combinar formando una única corriente 80 de alimentación al reactor en suspensión de circuito cerrado. También, como se discute más adelante, se puede reciclar diluyente 82 sustancialmente exento de olefina desde el sistema de fraccionamiento 30 a través de purificadores 84 para la preparación del catalizador alimentado al reactor. En efecto, el diluyente 82 puede actuar como portador de la corriente de catalizador 88 descargada del sistema de preparación del catalizador 86 en su camino al reactor en suspensión de circuito cerrado.

### C. Purificadores de la alimentación

Tradicionalmente, se han empleado hasta 12-15 purificadores para procesar las diversas alimentaciones. Por ejemplo, se han utilizado purificadores adicionales para eliminar venenos del comonómero, isobutano nuevo e hidrógeno. Sin embargo, el número de purificadores se puede reducir a seis, como se ilustra en la figura 2. La reducción del número de purificadores se puede conseguir combinando el tratamiento del diluyente nuevo con el diluyente reciclado y usando hidrógeno de calidad para reactor que está relativamente exento de venenos, etc. También, como se ilustra, cada una de las corrientes de monómero y diluyente se puede configurar con un purificador y uno de repuesto, con un total de cuatro purificadores. Hay que indicar que los seis purificadores ilustrados se pueden reducir a cinco purificadores compartiendo un purificador de repuesto entre las corrientes 50 y 72 de monómero y diluyente. Otras configuraciones pueden emplear incluso menos purificadores. En general, una reducción del número de purificadores reduce costes de inversión y ahorra energía por disminuir el consumo eléctrico debido a una facilidad de cambio de escala más eficiente en la regeneración (que usa típicamente calor eléctrico) de las unidades de tratamiento.

Además, una técnica mejorada para regenerar los diversos purificadores 52, 74 y 84, así como otros purificadores, implica disminuir la carga de componentes inertes en el sistema del quemador para reducir el consumo de gas combustible. Esto se puede conseguir descargando a la atmósfera, en lugar de a la cabeza del quemador, nitrógeno de regeneración procedente de los purificadores. En general, para regenerar los diversos purificadores se usa típicamente un componente inerte, como nitrógeno. Tradicionalmente este nitrógeno se ha situado en la cabeza del quemador, lo cual incrementa la carga de componente inerte en el quemador. Como deben apreciar los expertos ordinarios en la técnica, el contenido de combustible, esto es, las calorías, de la alimentación al quemador se mantiene generalmente en un nivel mínimo aceptable para evitar que afecte negativamente al funcionamiento del quemador. Por lo tanto, para tener en cuenta una concentración mayor de componentes inertes en la cabeza del quemador (debido, por ejemplo, a la inyección de nitrógeno de regeneración a la cabeza) se añade gas combustible (por ejemplo, gas natural) a la cabeza del quemador. La presente técnica proporciona menos descarga del nitrógeno usado para regeneración en la cabeza y reduce así el consumo de gas combustible.

Con referencia a la figura 3, se representa un diagrama de flujos del proceso de un sistema de regeneración 100 de los purificadores. Se pasa nitrógeno 102 a través de un cambiador de calor 104 donde es precalentado por nitrógeno caliente descargado de los purificadores (por ejemplo, 52, 74 y 84). El nitrógeno precalentado 106 entra después en un calentador de regeneración 108 donde un elemento eléctrico 110 calienta el nitrógeno mediante un controlador 112. En general, el nitrógeno 102 puede ser aportado desde una cabeza principal de nitrógeno, por ejemplo, a una presión manométrica de 10,3 bares y a temperatura ambiente. El nitrógeno puede ser calentado en el calentador eléctrico de regeneración 110 hasta aproximadamente 316°C para su regeneración. El nitrógeno calentado 114 entra en los purificadores para regenerar el tamiz molecular o desecador. El nitrógeno caliente 116 que contiene los venenos eliminados del catalizador procedentes de los purificadores entra en el cambiador de calor 104, saliendo como corriente agotada 118 que puede ser descargada al quemador 120.

Por otro lado, se puede descargar a la atmósfera 122 nitrógeno limpio que sale durante el enfriamiento posterior de los purificadores. En general, la regeneración de los purificadores se produce cuando el nitrógeno caliente circula a través de los purificadores. Tras completarse la regeneración, a través de los purificadores circula típicamente nitrógeno frío para enfriar el purificador y prepararlo para su funcionamiento normal.

5 Con referencia a la figura 4, se representa un método de regeneración 130 de los purificadores. Tras la saturación del relleno del tamiz molecular con veneno de los catalizadores y con otros componentes, se pueden regenerar los purificadores. Inicialmente, el proceso puede poner fuera de servicio el purificador saturado y poner en funcionamiento el purificador que está en reserva, referenciado como bloque 132. Se puede pasar nitrógeno caliente a través del purificador agotado y descargar el nitrógeno caliente al quemador (bloque 134). El tiempo necesario para que pase nitrógeno caliente a través del purificador puede estar influenciado por una diversidad de factores, como temperaturas del lecho de la unidad de tratamiento. En general, se para la regeneración caliente y se prepara el purificador para su enfriamiento cuando la temperatura de salida del lecho alcanza 232-260°C y se mantiene a esta temperatura durante por lo menos dos horas. Sin embargo, dichos procedimientos pueden variar de una planta a otra. Además, el tiempo total de regeneración puede depender también del tamaño del lecho/purificador, capacidad del calentador de regeneración, caudal de nitrógeno, peso y calidad y espesor del aislamiento que recubre a los purificadores, etc. En el ejemplo de un purificador 52 de monómero de etileno y de un purificador 74 de diluyente reciclado, se puede pasar el nitrógeno caliente a través del calentador durante aproximadamente 18-30 horas.

Tras la disipación de los venenos del catalizador del lecho del purificador mediante la regeneración por nitrógeno caliente, el purificador está preparado para enfriarse. Se pasa nitrógeno frío a través del purificador para enfriar éste antes de ponerlo de nuevo en funcionamiento (bloque 136). En el ejemplo de un purificador 54 de monómero de etileno y de un purificador 72 de diluyente reciclado, el tiempo de enfriamiento con nitrógeno es aproximadamente 8-16 horas. Sin embargo, de nuevo, el tiempo del ciclo de enfriamiento puede variar de una planta a otra. Tradicionalmente, este nitrógeno limpio que sale del purificador se descarga a la cabeza del quemador, lo mismo que el nitrógeno caliente. Sin embargo, la presente técnica proporciona descargar el nitrógeno limpio a la atmósfera en lugar de a la cabeza del quemador y reduce así la carga de componentes inertes al quemador. Así, como se ha discutido, disminuye el consumo de gas combustible.

#### *D. Catalizador de polimerización*

Con referencia a la figura 5, se representa el diagrama de flujos de un proceso de la zona de preparación 86 del catalizador. Un depósito 140 de mezcla del catalizador recibe catalizador 142, por ejemplo, de un depósito transportable. Se mezcla 82 monómero exento de olefina con el catalizador en el depósito 140 de mezcla del catalizador. Un agitador 144 que tiene un motor de accionamiento 146 y una paleta 148 puede facilitar el mezclado del diluyente 82 y el catalizador 142 en el depósito de mezcla 140. El catalizador del proceso se descarga 150 del depósito de mezcla 140 y puede entrar, por ejemplo, en el depósito 152 de espera del catalizador para dosificarlo al reactor en suspensión de circuito cerrado. El depósito de espera 152 también puede tener un agitador 154 que tiene un motor de accionamiento 156 y una paleta de agitación 158 para mantener el catalizador mezclado con el diluyente. El catalizador puede ser dosificado, por ejemplo, por una bomba de desplazamiento positivo 160 al reactor en suspensión de circuito cerrado como corriente de alimentación 88. Adicionalmente, se pueden añadir aditivos, como un cocatalizador (por ejemplo, trietilaluminio) 162 al catalizador 88 alimentado al reactor. Finalmente, se debe indicar que el catalizador debe ser activado antes del mezclado y dosificación. Por ejemplo, en el caso de un catalizador de óxido de cromo, el activador del catalizador puede convertir el cromo  $Cr^{3+}$  a  $Cr^{6+}$  para inyectarlo al reactor de polimerización. En el reactor y en contacto con el monómero de etileno, el cromo  $Cr^{6+}$  puede ser reducido a  $Cr^{2+}$ .

Con referencia a la figura 6, se representa el diagrama de flujo de un proceso del sistema 170 de activación del catalizador. El catalizador activado del sistema 170 se alimenta al depósito 140 de mezcla del catalizador (catalizador 142) de la figura 5. En la figura 6, el activador del catalizador incluye un recipiente interior 172 que contiene el catalizador y un horno exterior 174. El catalizador procedente del suministrador puede ser mantenido en un recipiente de almacenamiento 176 y alimentado a través del recipiente interior, por ejemplo mediante una válvula de todo o nada 178. Se puede añadir combustible 180 al horno, por ejemplo, a través de un rociador o piloto 182 y el combustible se puede combinar con aire 184 inyectado al horno a través de un filtro de aire 186 por una soplante de aire 188. La combustión puede tener lugar en el interior del horno, por ejemplo en la región 190. La región 192 que rodea al recipiente interior 172 puede alcanzar temperaturas operativas dentro de un intervalo de, por ejemplo, 427 a 927°C. El fluido calentado procedente de esta región puede ser descargado a la atmósfera 194, como se representa por la flecha 196.

Además de calor alto, se puede suministrar oxígeno para activar el catalizador. Se puede inyectar aire 198 al fondo del recipiente interior 172 para proporcionar presencia de oxígeno en el interior del recipiente, con calor proporcionado por el horno circundante 174. El aire que entra en el recipiente 172 puede salir por la parte superior, por ejemplo, a través de un filtro interno de aire 200 y ser descargado después a la atmósfera, como indica el número de referencia 202. El catalizador activado puede ser descargado del recipiente 172 a la tolva de carga de catalizador 206 o a otro recipiente. Además, el nitrógeno 208 puede facilitar la descarga del catalizador activado a la tolva de carga 206 y proporcionar también una atmósfera inerte en la tolva de carga 206.

En general, el proceso de activación del catalizador incluye pasar aire seco a través de un lecho del catalizador a un caudal constante aplicando calor hasta que el catalizador alcance la temperatura deseada, después de lo cual el catalizador se mantiene a la temperatura de activación durante el tiempo apropiado. Una técnica para mejorar la eficiencia energética de activación del catalizador es incrementar el diámetro del recipiente interior 172.

5 Convencionalmente, el diámetro interior nominal del recipiente 172 ha sido 1,1 metros o menos. La presente técnica proporciona incrementar el diámetro interior nominal del recipiente 172 hasta aproximadamente 1,2-1,8 metros y más. Para el ejemplo de un diámetro interior nominal de 1,5 metros, se puede incrementar la velocidad de producción del catalizador un 50-100% mientras que el gas combustible 180 consumido en el horno se mantiene esencialmente constante o se incrementa ligeramente (por ejemplo, menos del 10%). Así, la capacidad de activación del catalizador se incrementa un 50-100% mientras que la carga del horno se mantiene en el valor tradicional de aproximadamente 1,26 millones de kilocalorías por hora. La técnica mejora significativamente la eficiencia del gas combustible en el proceso de fabricación 10. En efecto, en ciertas realizaciones, el sistema de activación del catalizador 170 es generalmente el mayor consumidor de gas combustible en el proceso de fabricación de poliolefina 10.

#### 15 *IV. Sistema de reactor de polimerización*

Con referencia a la figura 7, se representa el diagrama de flujos del proceso de un ejemplo de sistema de reactor de polimerización 20 (de la figura 1) y sistema de recuperación de diluyente/monómero 24 (también de la figura 1). Como se ha discutido anteriormente, el sistema de reactor 20 puede comprender uno o más reactores de polimerización que, a su vez, pueden ser de tipos iguales o diferentes. También, en sistemas de varios reactores, estos pueden estar dispuestos en paralelo o en serie. Cualesquiera que sean los tipos de reactores que constituyan el sistema de reactor 20, se produce un producto de poliolefina en partículas, denominado genéricamente en la presente memoria "polvo". Para facilitar la explicación, los siguientes ejemplos están limitados en alcance a tipos específicos de reactores familiares a los expertos en la técnica y a reactores simples o combinaciones simples. Sin embargo, para los expertos ordinarios en la técnica que usan esta descripción, las presentes técnicas son aplicables simple y fácilmente a disposiciones más complejas de reactores, como las que implican reactores adicionales, tipos diferentes de reactores y/o ordenación alternativa de los reactores o tipos de reactores.

Un tipo de reactor comprende reactores en los que se produce polimerización en fase líquida. Ejemplos de dichos reactores incluyen autoclaves, reactores combinados de líquido en ebullición, reactores en suspensión de circuito cerrado (verticales u horizontales), etc. Por simplicidad, en el contexto de las presentes técnicas se discutirá un reactor en suspensión de circuito cerrado 42, que produce una poliolefina, como polietileno, polipropileno y sus copolímeros, aunque se debe entender que las presentes técnicas son aplicables igualmente a otros tipos de reactores de fase líquida.

El reactor en suspensión de circuito cerrado 210 está compuesto generalmente de segmentos de tubería conectados por curvas o codos suaves. Un ejemplo de configuración de reactor 210 incluye ocho segmentos de tubería verticales encamisados, de aproximadamente 0,61 metros de diámetro y aproximadamente 61 metros de longitud, conectados por codos de tubería en la parte superior y en el fondo de los segmentos. Como se discute más adelante, normalmente se proporcionan camisas 212 al reactor para eliminar el calor originado por la polimerización exotérmica mediante circulación de un medio de refrigeración, como agua tratada, a través de las camisas 212 del reactor.

40 El reactor 210 se puede usar para realizar la polimerización de poliolefina bajo condiciones en suspensión en las que se forman partículas insolubles de poliolefina en un medio fluido que quedan en suspensión hasta que sean retiradas. Un dispositivo motriz, como una bomba 214, hace circular la suspensión en el reactor 210. Un ejemplo de bomba es una bomba en línea de flujo axial con el impulsor de la bomba dispuesto en el interior del reactor 210 para crear una zona de mezclado turbulento en el medio fluido. El impulsor también puede ayudar a propulsar el medio fluido a través del circuito cerrado del reactor con velocidad suficiente para mantener suspendidas en el medio fluido partículas sólidas, como las del catalizador y producto de poliolefina. La bomba puede ser accionada por un motor 216 u otra fuerza motriz.

El medio fluido presente en el reactor 210 puede incluir monómeros y comonómeros de olefinas, diluyente, cocatalizadores (por ejemplo, alquilos, trietilboro, metilaluminóxano, etc.), agentes de control del peso molecular (por ejemplo, hidrógeno) y otros correactivos o aditivos deseados. Dichos monómeros y comonómeros de olefinas son generalmente 1-olefinas que tienen hasta 10 átomos de carbono por molécula y no tienen típicamente ramificaciones más cerca del doble enlace que en la posición 4. Ejemplos de monómeros y comonómeros incluyen etileno, propileno, buteno, 1-penteno, 1-hexeno, 1-octeno y 1-deceno. De nuevo, diluyentes típicos son hidrocarburos que sean inertes y líquidos en las condiciones de la reacción e incluyen, por ejemplo, isobutano, propano, n-pentano, i-pentano, neopentano, n-hexano, ciclohexano, ciclopentano, metilciclopentano, etilciclohexano, etc. Estos componentes se añaden al reactor por entradas o conductos en posiciones específicas, representados por la corriente de alimentación 80, que generalmente se corresponde con una de las corrientes de alimentación 18 de la figura 1. Igualmente, se puede añadir al reactor 210 un catalizador, como los discutidos anteriormente, por un conducto en una posición adecuada, representado por la corriente de alimentación 88, que puede incluir un portador diluyente y que se corresponde generalmente con una de las corrientes de alimentación 18 de la figura 1. En total,

los componentes añadidos constituyen generalmente un medio fluido en el reactor 219 en el que están suspendidas las partículas del catalizador.

5 Las condiciones de la reacción, como temperatura, presión y concentraciones de reactivos, se regulan para facilitar las propiedades y velocidad de producción deseadas de la poliolefina en el reactor, controlar la estabilidad del reactor, etc. La temperatura se mantiene típicamente por debajo del nivel al que el polímero producido se pueda disolver. Como se ha 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 porciones del reactor en suspensión en circuito cerrado 210 para eliminar calor en exceso y mantener la temperatura dentro del intervalo deseado, generalmente entre 65 y 121°C. Igualmente, se puede regular la presión dentro del intervalo deseado, generalmente entre 6,9 y 55 bares (presión manométrica), siendo típico un intervalo de 31 a 48 bares (presión manométrica). Para reducir el consumo eléctrico en el sistema de reactor 20, se puede reducir el tamaño de la bomba que hace circular el agua tratada a través de las camisas 212 disminuyendo el caudal del agua (por ejemplo, a la mitad) y permitiendo un incremento  $\Delta T$  mayor de la temperatura del agua (por ejemplo,  $\Delta T$  en el intervalo de 8,3 a 25°C, en lugar de uno típico de 5-6°C. Así, en una realización, la potencia del motor de la bomba del fluido de refrigeración (véanse las figuras 8 y 9) se puede reducir un 30-70%.

15 A medida que progresa la reacción de polimerización en el reactor 210, el monómero (por ejemplo, etileno) y comonómeros (por ejemplo, 1-hexeno) se polimerizan formando polímeros de poliolefina (por ejemplo, polietileno) que son sustancialmente insolubles en el medio fluido a la temperatura de reacción por lo que se forma una suspensión de partículas sólidas en el medio. Estas partículas sólidas de poliolefina pueden ser retiradas del reactor por un tubo de sedimentación u otros medios, como una descarga continua, representada como corriente de descarga 22. En procesos corriente abajo, el polietileno descargado del reactor puede ser extraído de la suspensión y purificado.

#### V. Sistema de recuperación de diluyente/monómero

##### A. Cámara de separación

25 La descarga 22 del reactor 210 puede pasar a través de un calentador en línea 222 a una cámara de separación 224. El calentador en línea 22 puede ser un conducto encamisado que usa, por ejemplo, vapor de agua o vapor de agua condensado como medio que proporciona calentamiento indirecto a la descarga 22. Así, el efluente (descarga 22) del reactor en suspensión de circuito cerrado 210 se calienta antes de su introducción en la cámara de separación 224. También, antes de que la descarga 22 entre en la cámara de separación 224, se puede inyectar agua u otros venenos del catalizador a la descarga 22 para desactivar catalizador residual remanente en la corriente de descarga 22. Como estos componentes inyectados son venenos del catalizador por definición, típicamente se eliminan completamente, o por lo menos sustancialmente, de cualquier material recuperado (por ejemplo, monómero o diluyente) reciclado al reactor 210.

35 En la cámara de separación 224, la mayor parte de los componentes no sólidos de la descarga 22 del reactor se separan como vapor de escape 226 que sale por la parte superior. Hay que indicar que este gas separado reciclado 226 no pasa por el sistema de fraccionamiento en su camino hacia el reactor 210 (esto es, por el sistema de alimentación 16). En la producción de polietileno, este vapor es principalmente diluyente, como isobutano o los otros diluyentes mencionados anteriormente. También puede contener la mayor parte del monómero que no ha reaccionado (por ejemplo, etileno) y otros componentes ligeros así como 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 se pueden definir como componentes con puntos de ebullición menores que el del diluyente empleado. Por el contrario, los componentes pesados se pueden definir como componentes que tienen puntos de ebullición mayores que el del diluyente empleado. Un ejemplo de composición aproximada del gas separado 226 es 94% en peso de isobutano, 5% en peso de etileno y 1% en peso de otros componentes. Se puede mantener un nivel o volumen de polvo en la cámara de separación 224 que proporcione un tiempo de residencia adicional del polvo en la cámara 224 y facilite la separación de líquido y vapor en las partículas porosas del polvo.

50 El gas separado 226 puede ser procesado en equipo como ciclones, filtros de mangas, etc., donde los sólidos atrapados en el polvo se separan y retornan a la cámara de separación 224 o a otro equipo corriente abajo, como la columna de purga discutida más adelante. El gas separado 226 también puede pasar, por ejemplo, a través de un lecho de desoxigenación. También, el gas separado 226 puede ser enfriado o condensado en un cambiador de calor (por ejemplo, del tipo de carcasa y haz tubular) antes de ser reciclado al sistema de alimentación 16 o al sistema de fraccionamiento 30. Para reducir el consumo de vapor de agua en el sistema de fraccionamiento, el gas separado 226 no pasa por el sistema de fraccionamiento 30 y retorna más directamente al reactor 210 por el sistema de alimentación 16.

55 En cuando a los sólidos (polímero) presentes en la cámara de separación 224, son retirados con una cantidad pequeña de diluyente (y monómero) atrapado y enviados a la columna de purga 228 por la descarga de sólidos 230. Como deben apreciar los expertos ordinarios en la técnica, el conducto 230 de descarga de sólidos puede incluir configuraciones de válvulas que permitan al polímero circular a través del conducto reduciendo la posibilidad de flujo



de vapor entre la columna de purga 60 y la cámara de separación 56. Por ejemplo, se pueden disponer una o más válvulas rotativas o de reciclado en el conducto 230 de descarga de sólidos. También se puede disponer en el conducto una cámara de polvo relativamente pequeña. Tradicionalmente, los sólidos del polvo de la cámara de separación se descargan a una cámara de separación a presión menor, requiriendo que el gas separado de presión menor sea comprimido para su reciclado al sistema de fraccionamiento 30 y al reactor. Sin embargo, las presentes técnicas proporcionan eliminación de una separación a baja presión y la compresión asociada (que consume una cantidad significativa de electricidad) y descarga de los sólidos del polvo desde la cámara de separación 224 a la columna de purga 228. Dicha descarga a la columna de purga puede incluir configuraciones de válvulas apropiadas, una cámara de alivio de la sobrepresión, o simplemente un conducto, etc. Hay que indicar que ciertas realizaciones proporcionan una descarga continua de polvo de la cámara de separación, lo cual elimina una o más válvulas relativamente grandes de reciclado y el consumo asociado de energía.

#### *B. Columna de purga*

La alimentación principal de sólidos a la columna de purga 228 es típicamente la descarga de sólidos 230 (polvo de poliolefina) que sale de la cámara de separación 224. Una finalidad de la columna de purga 228 es separar de las corrientes de sólidos de entrada hidrocarburos residuales y proporcionar polvo de polímero 232 sustancialmente limpio. El polvo 232 puede ser transportado o enviado al sistema de extrusión/descarga 36 para su conversión a gránulos 38 y su distribución y venta a los consumidores 40 como resina de gránulos de poliolefina. En general, las partículas de polímero tratadas descargadas de la columna de purga 228 como polvo de polímero 232 pueden ser procesadas en una operación convencional de acabado, como un extrusora de hélices, en un sistema de extrusión/descarga 36 (figura 1).

En el ejemplo ilustrado del sistema de columna de purga, se circula nitrógeno a través de la columna de purga 228 para separar hidrocarburos residuales por la descarga de la parte superior 234. Esta descarga 234 puede ser enviada a través de una unidad de separación 236, como una unidad de recuperación del tipo de membrana, unidad de adsorción a presión oscilante, unidad de refrigeración, etc., para separar nitrógeno en forma de corriente de nitrógeno 238 y descargar una corriente separada de hidrocarburos 240 como alimentación al sistema de fraccionamiento 30. En la técnica, la unidad de separación 236 puede ser conocida como unidad de recuperación de isobutano-nitrógeno (INRU). Además, se puede añadir nitrógeno nuevo 242 al circuito de nitrógeno para reponer las pérdidas de nitrógeno en el sistema de la columna de purga 228. Finalmente, se debe indicar que la corriente de hidrocarburos 240 puede proporcionar beneficiosamente alimentación al sistema de fraccionamiento 30 (véase la figura 13). Por ejemplo, la corriente de hidrocarburos 240 que se descarga de la unidad de separación 236 permite que la alimentación de hidrocarburos pueda ser procesada para dar diluyente exento de olefinas usado en la preparación del catalizador.

#### *C. Configuraciones alternativas*

Como deben apreciar los expertos ordinarios en la técnica, en el sistema de recuperación de diluyente/monómero 24 se puede emplear una diversidad de configuraciones. Por ejemplo, la descarga de sólidos 230 de la cámara de separación 224 puede ser enviada a otro reactor (por ejemplo, un reactor de fase gaseosa) en lugar de a la columna de purga 228 o a una cámara de separación a baja presión. Si se descarga a otro reactor, los venenos del catalizador pueden no ser inyectados corriente arriba en la descarga 22 y, así, se mantiene el catalizador residual activo para una polimerización posterior.

En otra configuración, la columna de purga 228 se puede eliminar del sistema de recuperación 20 y combinar con el depósito de alimentación a la extrusora corriente abajo. Si se desea, la unidad de separación 236 asociada con la columna de purga puede ser reposicionada para acomodarla al depósito de alimentación a la extrusora. Así, se puede utilizar la alta presión del proceso en la cámara de separación 224 para transportar partículas de polvo desde la descarga de sólidos 230 al sistema de extrusión/descarga 36, eliminando un sistema de soplante (y el consumo eléctrico asociado) usado tradicionalmente para transportar polvo 232 al sistema de extrusión/descarga. También, se puede retener calor en las partículas de polvo porque las partículas no están sometidas al efecto típico de refrigeración de nitrógeno en un circuito convencional de transporte por soplante. Así, se puede usar menor calentamiento de las partículas de polvo en el sistema corriente debajo de alimentación a la extrusora. Finalmente, la presión del proceso en la cámara de separación 224 se puede usar para transportar las partículas de polvo en una disposición de transporte en fase densa, disminuyendo así la velocidad de las partículas que fluyen y reduciendo daños por el transporte a las partículas.

#### *VI. Refrigeración del reactor*

Una técnica mejorada de refrigeración del reactor proporciona una bomba de refrigeración más pequeña y el motor asociado más pequeño y, así, una reducción del consumo eléctrico. Para la instalación y funcionamiento de una bomba de refrigeración (esto es, la bomba de agua de refrigeración) más pequeña, se deja que la temperatura del agua de refrigeración a través de las camisas del reactor se incremente más que la especificación de diseño convencional de 5-6°C. Así, se puede reducir el caudal del agua de refrigeración (y el tamaño de la bomba de refrigeración).

#### A. Reactor en suspensión de circuito cerrado

La figura 8 representa un ejemplo de reactor de polimerización 210 de la figura 7 y muestra un esquema de flujo en contracorriente del medio de refrigeración a través de las camisas del reactor 212A-H. De nuevo, el reactor de circuito cerrado 210 está compuesto generalmente de segmentos de tubería conectados por curvas o codos suaves. Un dispositivo motriz, como la bomba 214, hace circular la suspensión fluida en el reactor 210. Un ejemplo de bomba es una bomba en línea de flujo axial con el impulsor de la bomba dispuesto en el interior del reactor 210. Un sistema de refrigeración 250 elimina calor del reactor de circuito cerrado 210 por las camisas del reactor 212A-H. El sistema de refrigeración 250 proporciona aporte de un medio refrigeración 252 (por ejemplo, agua tratada) y procesa el retorno del medio de refrigeración 254.

- 5
- 10 A medida que progresa la reacción de polimerización en el reactor 210, se pueden controlar las condiciones de la reacción para facilitar el grado deseado de polimerización y la velocidad deseada de reacción manteniendo la temperatura por debajo del punto en el que el polímero producido se pudiera disolver. Como se ha mencionado, debido a la naturaleza exotérmica de la reacción de polimerización, las camisas de refrigeración 212A-H deben estar dispuestas alrededor de porciones del sistema de circuito cerrado a través del cual circula el medio de refrigeración necesario para eliminar calor en exceso (calor de reacción) y mantener la temperatura dentro del intervalo deseado, generalmente entre 65 y 121°C.

- 15
- 20 En general, la temperatura del reactor varía linealmente con los cambios de las condiciones operativas del sistema del reactor. Un supuesto aceptado en la técnica es que el calor generado en el reactor por la polimerización exotérmica depende linealmente de la velocidad de producción de la poliolefina (esto es, kilogramos de poliolefina polimerizada por hora). Así, la temperatura del reactor, que es una indicación de la energía o calor en el reactor, varía linealmente con la velocidad de producción. Como deben apreciar los expertos ordinarios en la técnica, un control típico de la temperatura del reactor implica un algoritmo proporcional-integral-derivado (PID).

#### B. Sistema de refrigeración del reactor

- 25 Con referencia a la figura 9, se representa un diagrama de flujo del proceso de un sistema de refrigeración 250 para el reactor en suspensión de circuito cerrado 210. El sistema de refrigeración 250 proporciona un aporte de refrigerante 252 a las camisas del reactor 212A-H. El sistema de refrigeración 250 recibe un retorno de refrigerante 254 de las camisas del reactor 212A-H. Para eliminar o aportar calor al sistema del reactor se puede usar una diversidad de refrigerantes. En esta realización ilustrativa, como refrigerante se usa vapor de agua condensado (agua desmineralizada). El retorno del refrigerante 254 "lleva" el calor eliminado del reactor. El sistema de refrigeración 250 transfiere este calor a un medio de refrigeración de la planta, como agua de una torre de refrigeración o agua del mar. El sistema de refrigeración 252 aporta refrigerante "enfriado" a las camisas del reactor. Las temperaturas típicas del aporte de refrigerante 252 varían de 41 a 66°C y las temperaturas típicas del retorno de refrigerante 254 varían de 54 a 88°C.

- 35 El refrigerante puede circular a través del sistema de refrigeración 250 y a través de las camisas del reactor 212A-H, por ejemplo, por medio de una bomba centrífuga, ilustrada por la bomba de refrigeración 256. Un ejemplo de base de diseño de una bomba de refrigeración 256 es una carga hidrostática de 3,4-4,1 bares y un caudal de  $1,4-5,4 \times 10^6$  kilogramos de refrigerante por hora. Un ejemplo de configuración de las camisas del reactor 212A-H (figura 8) son dos cambiadores de calor de dos tuberías en contracorriente funcionando en paralelo, teniendo la tubería interior (reactor) un diámetro interior de aproximadamente 0,56 metros y teniendo la tubería exterior (camisa) un diámetro interior de aproximadamente 0,71 metros. En este ejemplo, la superficie total de transferencia de calor de las camisas del reactor 212A-H es aproximadamente 460 m<sup>2</sup>.

- 40
- 45 La circulación del refrigerante puede ser un sistema totalmente hidráulico de circuito cerrado. En el circuito del refrigerante (esto es, cerca o en la aspiración de la bomba 256) se puede emplear un tambor de equilibrio 28 para mantener el circuito lleno de líquido y reducir oscilaciones de la presión del sistema refrigerante compensando la expansión hidráulica causada por oscilaciones de la temperatura del refrigerante. Así, la presión se puede mantener sustancialmente constante en la aspiración de la bomba 256 controlando el nivel y presión del tambor de equilibrio.

- 50 El caudal total de circulación del refrigerante a través del sistema refrigerante y las camisas del reactor se mantiene típicamente constante y se puede medir por el caudalímetro 258. El caudalímetro 258 puede representar, por ejemplo, una placa de flujo perforada instalada en la tubería del refrigerante. Un sistema de control puede calcular el caudal de circulación basándose en el tamaño del orificio y las presiones medidas corriente arriba y corriente abajo. La indicación del caudal medido por el caudalímetro 258 puede ser recibida por el controlador de flujo 260, que puede ser un bloque de control de un sistema de control distribuido (DCS). Para mantener constante el caudal total, la salida del controlador de flujo 260, que usa la señal de control 266, puede ajustar la posición de la válvula 262 en la tubería de derivación del flujo 264. Un ejemplo bien conocido en la técnica de sistema de control distribuido es el sistema de control TDC-3.000 de Honeywell. Normalmente, es deseable minimizar el movimiento de la posición de la válvula 262 para evitar recirculación en la bomba de refrigerante 26. Así, medios adicionales en otros puntos del sistema pueden ayudar a mantener constante el caudal total de la circulación del refrigerante.

- 55

5 Durante el funcionamiento normal de un reactor en suspensión de circuito cerrado 210, se elimina calor del contenido del reactor y el calor se intercambia en el enfriador 250, que puede representar uno o más enfriadores. Se elimina calor del refrigerante en el enfriador 274 para enfriar el aporte de refrigerante 252 a las camisas del reactor 212A-H. El enfriador 250 puede ser, por ejemplo, un cambiador de calor de carcasa y haz tubular o un cambiador de calor de bastidor y placas. Un medio de refrigeración, como agua de una torre de refrigeración o agua del mar, circula a través del enfriador en contracorriente con el refrigerante, eliminando calor a través de la superficie de transferencia de calor pero sin mezclarse con el refrigerante. El flujo del medio de refrigerante está representado en este ejemplo por el aporte de agua de refrigeración 272 y el retorno del agua de refrigeración 274. Una torre de refrigeración (no mostrada) puede procesar el aporte de agua de refrigeración enfriada 274. Así, el agua de la torre de refrigeración elimina calor del refrigerante que, a su vez, elimina calor del reactor 210. En un ejemplo, el enfriador 10 268 representa cuatro enfriadores de bastidor y placas que funcionan en paralelo, teniendo cada uno aproximadamente 200 placas de acero inoxidable 304 y una superficie de transferencia de calor de aproximadamente 150 m<sup>2</sup>, variando el coeficiente de transferencia de calor de aproximadamente 977 a 3.906 kcal/h.m<sup>2</sup>.°C eliminado del enfriador con una caída de presión de diseño de 0,2 bares en el lado del refrigerante. En cuanto al control de la temperatura, el controlador del refrigerante 276 (controlador de la temperatura del refrigerante) mantiene la temperatura del refrigerante aportado a la camisa del reactor. El controlador del refrigerante 276 envía una señal de salida 278 para ajustar la posición de la válvula 270 (y potencialmente de otras válvulas).

### C. Reducción del flujo del refrigerante

20 Como se ha mencionado, el caudal de refrigerante a través de las camisas del reactor 212A-H se puede reducir dejante que aumente la temperatura del refrigerante. Tradicionalmente, la diferencia de temperatura  $\Delta T$  entre el aporte de refrigerante 252 y el retorno de refrigerante 254 se han mantenido en 5-6°C. En otras palabras, se ha dejado que la temperatura del retorno de refrigerante 254 se incremente sólo a una temperatura aproximadamente 5-6°C mayor que la temperatura del aporte de refrigerante 252. Sin embargo, actualmente se deja que la temperatura del retorno de refrigerante 254 se incremente más de 5-6°C (por ejemplo, 8-25°C y más) con respecto a la temperatura del aporte de refrigerante 252. Así, el circuito de refrigeración puede absorber del reactor 210 una cantidad igual o mayor de calor con menos flujo de refrigerante a través de las camisas del reactor. Para el ejemplo de una  $\Delta T$  de 11°C con respecto a la  $\Delta T$  habitual de 5-6°C, el caudal se reduce a aproximadamente la mitad. Así, se puede reducir la potencia del motor de la bomba de refrigeración 256 (por ejemplo, de 120 a 600 HP).

### VIII. Álabes de guía de la bomba del reactor de circuito cerrado

30 Las presentes técnicas proporcionan el uso de álabes de guía en la bomba del reactor de circuito cerrado que hace circular el contenido del reactor. Dicho uso de álabes de guía mejora la eficiencia de la bomba, reduce el consumo eléctrico y disminuye el uso eléctrico normalizado incrementando la velocidad de producción de la poliolefina. Además de mayor eficiencia de la bomba, la implementación de álabes de guía mejora varias características funcionales del reactor de circuito cerrado y de su bomba. Se producen ganancias, por ejemplo, en la velocidad de circulación, presión diferencial de la bomba, capacidad operativa esperada de sólidos en el reactor de circuito cerrado (ya mencionada), velocidad de producción de poliolefina en el reactor, etc. En el caso de un reactor de circuito cerrado de 0,61 metros de diámetro exterior, el uso de álabes de guía en la bomba del reactor proporciona una producción de poliolefina en el intervalo de 0,5-0,6x10<sup>9</sup> kg de poliolefina por año. Se pueden emplear álabes de guía en nuevas instalaciones o en la reconversión de bombas de reactores de circuito cerrado existentes, para producir mayor presión hidrostática de la bomba y mayor velocidad de la suspensión, lo cual permite mayor nivel de sólidos y mayor tiempo de residencia en el reactor. Los incrementos de la presión hidrostática de la bomba pueden variar, por ejemplo, de 5 a 25%.

Se pueden utilizar álabes de guía, por ejemplo, en bombas de circuitos que tienen un diámetro exterior nominal en el intervalo de 0,61 a 0,82 metros. Ejemplos de condiciones de dichas bombas son 73-91 metros de altura manométrica y 13-15x10<sup>5</sup> litros por minuto, con una mejora en la eficiencia de bombeo en el intervalo de 1-4%. Los álabes de guía permiten un reactor mayor que tiene la misma circulación que un reactor más pequeño. En el ejemplo específico de una bomba de 0,76 metros, la bomba que tiene álabes de guía proporciona una circulación adecuada en un reactor de 17-21x10<sup>5</sup> litros. Otras configuraciones para incrementar aún más el volumen del reactor pueden incluir diámetros mayores de la bomba, uso de dos bombas en el reactor o incrementar el diámetro del reactor para acortar su longitud, etc.

En general, se pueden emplear tres a seis álabes de guía, que tienen un ángulo relativo en el intervalo de 0 a 30 grados. Como deben apreciar los expertos ordinarios en la técnica, el ángulo relativo de los álabes es el ángulo del álabes de guía con respecto al ángulo del borde delantero del rodete de la bomba. En otras palabras, el ángulo relativo de los álabes es la diferencia en la media del ángulo de la salida del álabes de guía de la bomba y el ángulo delantero del rodete de la bomba con respecto al plano de rotación del rodete. Un número positivo mayor del ángulo relativo del álabes significa generalmente que la suspensión del reactor gira menos que los álabes de guía de preturbulencia, mientras que un número negativo o menor significa generalmente que la suspensión gira más. La dirección de rotación de preturbulencia de la suspensión es en dirección contraria a la rotación del rodete de la bomba.

Un álabe de guía típico se puede soldar a la pared de la tubería del reactor corriente arriba de la aspiración de la bomba. La posición de los álabes de guía puede ser 0,1 a 2 diámetros de la tubería corriente arriba de la aspiración de la bomba. Los álabes de guía pueden estar situados cerca del eje de la aspiración y corriente arriba de la brida del reactor que se conecta a la aspiración de la bomba. En este caso, se puede facilitar el desmontaje de la tubería de aspiración de la bomba cuando los álabes de guía no se extiendan corriente debajo de la brida.

En un ejemplo, los álabes de guía son de aproximadamente 0,61 m de longitud, 150-180 mm de altura y 15-23 mm de grosor. Los álabes de guía pueden ser curvos para que sean sustancialmente paralelos a la dirección de flujo y el extremo de descarga esté al ángulo relativo deseado mientras sigue a lo largo del interior de la tubería de succión de la bomba. El borde corriente arriba de los álabes de guía puede ser inclinado de modo que, si se recogen desechos o fragmentos grandes de polímero (por ejemplo, "cuerda" o "cintas" de polímero) en el borde corriente arriba, los desechos o fragmentos puedan tender a deslizarse ventajosamente al centro de la tubería y después liberarse de los álabes de guía.

#### *IX. Retirada continua del efluente de descarga del reactor*

##### *A. Configuración y beneficios*

Las figuras 10-12 ilustran un mecanismo de retirada continua de la descarga 22 del reactor. Con referencia a la figura 10, se representa un mecanismo de retirada continua 280 dispuesto en un codo 210 de la tubería del reactor en suspensión de circuito cerrado. El mecanismo de retirada continua 280 incluye un cilindro de retirada 282, una tubería de extracción 284 de la suspensión, una válvula de parada de emergencia 285, una válvula motorizada proporcional 285 para regular el flujo y una tubería de limpieza 287. El reactor puede funcionar lleno de "líquido" y, como el contenido líquido del reactor es ligeramente compresible, el control de la presión del líquido a través del sistema se puede realizar con una válvula. También, como la entrada de diluyente se mantiene sustancialmente constante, se puede usar la válvula motorizada proporcional 58 para controlar la velocidad de extracción continua y mantener la presión total del reactor dentro de los valores programados diseñados.

Con referencia a la figura 11, tomada a lo largo de la sección 11-11 de la figura 10, se representa un codo de curva suave que tiene el mecanismo de retirada continua 280. Así, el codo ilustrado de la tubería se puede considerar como un codo que lleva un apéndice. Como se muestra, el mecanismo incluye un cilindro de retirada 282 que, en este caso, está acoplado en ángulo recto a la tangente de la superficie exterior del codo. También, el acoplamiento al cilindro 282 es la tubería de extracción 284 de la suspensión. Dispuesta en el cilindro de retirada 282 hay una válvula de compuerta 288 que puede servir para por lo menos dos fines. Primero, puede proporcionar un mecanismo de limpieza del cilindro de retirada, por ejemplo, si éste se pudiera ensuciar aún más con polímero. Segundo, puede actuar como válvula de cierre de todo el conjunto de retirada continua.

La figura 12 muestra una orientación del acoplamiento del cilindro de retirada 282, que está fijado tangencialmente a la curvatura del codo y justo en un punto antes de que el flujo de la suspensión vuelva hacia arriba. La abertura puede ser, por ejemplo, elíptica a la superficie interior y se puede implementar más alargada para mejorar la retirada de sólidos. Finalmente, se debe indicar que se puede implementar una diversidad de orientaciones del acoplamiento del cilindro de retirada 282.

Una retirada continua de la suspensión producida en una reacción de polimerización de olefinas realizada en un reactor de circuito cerrado en presencia de un diluyente inerte permite que el reactor funcione con una concentración de sólidos mayor que con el(los) tubo(s) de sedimentación convencional(es) usado(s) para descargar el polímero. Por ejemplo, la producción de polímeros predominantemente de etileno (polietileno) usando isobutano como diluyente ha estado limitada generalmente a una concentración máxima de sólidos en el reactor de 37-40% en peso con la configuración de tubos de sedimentación. Sin embargo, se ha encontrado que la retirada continua (CTO) permite incrementos significativos de la concentración de sólidos. Como resultado, con la retirada continua se pueden conseguir en el reactor concentraciones de sólidos mayores que 50% en peso. Se debe recalcar que, en una operación comercial, un incremento de un punto en la concentración de sólidos es de gran importancia. Dicho incremento, por ejemplo, permite velocidades mayores de producción de polietileno y, por lo tanto, se consigue generalmente mayor eficiencia energética normalizada. También, menos líquido en la descarga 22 del reactor puede suponer menos carga en los sistemas corriente debajo de recuperación y fraccionamiento 22 y 24, reduciendo así el consumo de energía corriente abajo. Adicionalmente, esta técnica puede conseguir ahorros en el consumo eléctrico porque la salida continua de la descarga elimina del reactor más finos que la descarga convencional. Con menos superficie específica de partículas en el reactor, la mezcla fluida puede funcionar a una viscosidad menor, proporcionando una circulación más fácil de la mezcla a través del reactor y una demanda menor de bombeo y de la potencia asociada.

##### *C. Tamaño de partículas de la poliolefina*

El incremento de la capacidad de transporte de sólidos del reactor incrementa también la capacidad de funcionamiento del reactor con un rendimiento mayor de espacio-tiempo (por ejemplo, un deseado 2,6 o mayor), expresado en kilogramos de polímero producido por hora y litro de volumen del reactor o en medidas equivalentes.

Dicho incremento de espacio-tiempo junto con una menor incidencia de suciedad en el reactor origina mayor producción y rendimiento de poliolefina en el reactor 10.

Para incrementar la capacidad de transporte de sólidos del reactor, puede ser deseable producir partículas del polímero en un intervalo deseado de tamaños de modo que sea más probable que las partículas del polímero permanezcan en suspensión, con lo que se permite conseguir un porcentaje mayor en peso de sólidos en el reactor. Por ejemplo, se puede usar un catalizador Lyns 100, de Englehard, que por término medio produce partículas de polímero menores que las producidas usando un catalizador de cromo 969 MS, de Davidson, para conseguir un nivel mayor de sólidos en el reactor sin inducir suciedad. En este ejemplo, las partículas de polímero producidas por el catalizador Lynx 100 pueden circular a niveles mayores de sólidos que partículas comparables de polímero producidas por el catalizador 969 MS.

El intervalo deseado de tamaños puede variar dependiendo del polímero producido y de las condiciones de reacción. En una realización, para mantener condiciones adecuadas de la suspensión en un reactor en suspensión de circuito cerrado que funciona bajo condiciones de reacción como las discutidas en relación con la figura 1, menos de 1% en peso de las partículas del polímero son mayores que 1.500  $\mu\text{m}$ . En otra realización, menos de 5% en peso de las partículas del polímero son mayores que 1.000  $\mu\text{m}$ . En otra realización, menos de 0,1% en peso de las partículas del polímero son mayores que 1.500  $\mu\text{m}$  y/o menos de 0,5% en peso de las partículas del polímero son mayores que 1.000  $\mu\text{m}$ .

En el otro extremo, para evitar problemas asociados con números excesivos de partículas finas, en una realización, menos de 5% en peso de las partículas del polímero son menores que 100  $\mu\text{m}$  y, en otra realización, menos de 0,5% en peso de las partículas de polímero son menores que 100  $\mu\text{m}$ . También, en otra realización, más de 70% en peso de las partículas del polímero tienen un tamaño entre 300 y 500  $\mu\text{m}$  y en una realización adicional, más de 80% en peso de las partículas del polímero tienen un tamaño entre 300 y 500  $\mu\text{m}$ . En otra realización, más de 90% en peso de las partículas del polímero tienen un tamaño entre 300 y 500  $\mu\text{m}$ .

La producción de partículas de polímero que tengan distribuciones de tamaños de acuerdo con estas preferencias se puede conseguir mediante una diversidad de técnicas. Por ejemplo, se puede emplear un catalizador que, debido a su tamaño de partículas, forma, superficie específica reactiva u otras características de actividad, produce polímero con un tamaño de partículas dentro del intervalo deseado. En particular, el tamaño de las partículas del polímero producido por un catalizador varía en general proporcionalmente con el tamaño de partículas del catalizador, esto es, catalizadores con menor tamaño de partículas producen partículas de polímero menores. El porcentaje en peso de partículas de polímero de tamaño diferente puede variar entre catalizadores y generalmente se corresponde con el tamaño de partículas del catalizador. Por ejemplo, un catalizador EP30X de 25  $\mu\text{m}$  no produce cantidades mensurables de partículas de polímero mayores que 1.190  $\mu\text{m}$ , al contrario que catalizadores mayores. Igualmente, los catalizadores menores que 100  $\mu\text{m}$  producen menos de 5% en peso de partículas de polímero mayores que 1.000  $\mu\text{m}$  mientras que catalizadores de 100  $\mu\text{m}$  producen más de 5% en peso de partículas de polímero mayores que 1.000  $\mu\text{m}$ . Aunque el tamaño del catalizador puede ser un factor que determina el tamaño de las partículas del polímero, otros factores, como morfología, accesibilidad al sitio activo, etc., también pueden contribuir al intervalo de tamaños de partículas del polímero producido por un catalizador dado.

#### X. Sistema de fraccionamiento

##### A. Purificación del diluyente

Una finalidad del sistema de fraccionamiento 30 en la producción de una poliolefina es purificar el diluyente descargado del sistema de reactor (por ejemplo, del reactor en suspensión de circuito cerrado 210) y que se separa/recupera en el subsistema de recuperación de diluyente/monómero 24. Sin embargo, inicialmente se debe indicar de nuevo que el diluyente separado del sistema de recuperación de diluyente/monómero 24, en lugar de ser condensado y pasar a través de un purificador, como un sistema de tamices moleculares, puede ser reciclado directamente al reactor en suspensión de circuito cerrado 210, sin pasar por el sistema de fraccionamiento 30. El purificador puede separar componentes no deseables, como venenos del catalizador (por ejemplo, agua) inyectados corriente arriba de la cámara de separación a alta presión 44 en la descarga 22 del reactor.

Por otro lado, algo del diluyente recuperado del sistema de recuperación de diluyente/monómero 24 puede ser enviado a través de columnas de fraccionamiento del sistema de fraccionamiento 30 para separar componentes pesados, como hexeno, hexano y oligómeros. Las columnas también pueden separar componentes ligeros, como etano que entra con el material de alimentación de etileno, nitrógeno procedente de la columna de purga 228, etileno que no ha reaccionado procedente del reactor 210, etc. En una disposición, el subsistema de fraccionamiento separa inicialmente componentes pesados en una columna de componentes pesados (denominada también columna de reciclado de diluyente, columna de isobutano reciclado, etc.) y separa después componentes más ligeros en una columna posterior de componentes ligeros (denominada también columna de purificación de diluyente, columna de purificación de isobutano, etc.).

*B. Columna de componentes pesados*

Para separar componentes pesados, la primera columna (columna de componentes pesados o columna de reciclado de diluyente) puede descargar componentes pesados (por ejemplo, hexeno, hexano y oligómeros) del fondo de la columna al quemador. En ciertas configuraciones, la primera columna también puede producir una corriente secundaria de producto diluyente (por ejemplo, isobutano) que contiene típicamente una cantidad mensurable de componentes ligeros (por ejemplo, etileno) pero que es reciclada aceptablemente al reactor en suspensión de circuito cerrado 210. En otras configuraciones, esta corriente de producto diluyente reciclado al reactor 210 puede comprender el grueso del diluyente reciclado recibido por el sistema de fraccionamiento 30 del subsistema de recuperación de monómero/diluyente 24. La primera columna también puede producir una corriente de cabeza de componentes ligeros que comprende principalmente diluyente, componentes inertes y etileno, que pueden ser condensados parcialmente. Los componentes no condensados (por ejemplo, nitrógeno, etileno) pueden ser quemados o reciclados al suministrador o pueden ser purgados como alimentación a la segunda columna corriente abajo (de componentes ligeros). Los componentes condensados de la corriente de cabeza pueden ser usados como reflujo a la primera columna y como reflujo o alimentación a la segunda columna, dependiendo de la configuración empleada en la planta particular de poliolefina.

*C. Columna de componentes ligeros*

Para separar componentes ligeros, la segunda columna (columna de componentes ligeros o de purificación de diluyente) separa componentes ligeros (por ejemplo, etileno, etano y nitrógeno) para dar un producto diluyente más puro que puede estar sustancialmente exento de olefinas (con los componentes pesados separados ya en la columna corriente arriba). La segunda columna procesa típicamente una cantidad más pequeña de diluyente que la primera columna. La corriente pequeña de diluyente exento de monómero (exento de olefinas) puede salir del fondo de la segunda columna y ser usado en la preparación del catalizador, aporte del catalizador, limpieza del catalizador, limpieza del reactor cuando esté presente catalizador, etc. La disponibilidad de diluyente exento de monómero es beneficiosa para estas funciones relacionadas con el catalizador porque puede ser importante que el monómero de olefina no contacte con el catalizador fuera del reactor 210. Dicho contacto podría originar polimerización en partes no deseables del proceso, que podrían obstruir el equipo, originar problemas de funcionamiento, consumir catalizador, etc.

*D. Equipo y proceso del sistema de fraccionamiento*

Con referencia a la figura 13, se representa un diagrama de flujo del proceso del sistema de fraccionamiento 30. Se ilustran la columna de componentes pesados 290 y la columna de componentes ligeros 292, teniendo cada una elementos apropiados 294 y 296 en su interior (por ejemplo, relleno, bandejas de destilación, etc.). Se alimenta una corriente de gas de limpieza, o en esta ilustración, la corriente de hidrocarburos 240 (principalmente diluyente) procedente de la columna de purga 228 a la columna de componentes ligeros 290, que puede funcionar típicamente a una presión manométrica en el intervalo de 8,6-12,1 bares y a una temperatura en el intervalo de 60-177°C. La columna de componentes ligeros 290 separa monómero que no ha reaccionado (por ejemplo, etileno) y componentes más ligeros (por ejemplo, etano, propano, nitrógeno, etc.) en la cabeza así como los componentes más pesados, como hexano y oligómeros procedentes del diluyente (por ejemplo, isobutano), en la descarga del fondo. Los productos de cabeza 298 de la columna 290 se pueden condensar parcialmente en un condensador 300, como un cambiador de calor que utiliza un medio de refrigeración (por ejemplo, agua de una torre de refrigeración). También, se debe indicar que se puede añadir diluyente nuevo 302 al circuito corriente abajo del condensador 300.

Los vapores no condensados 304 se pueden separar en el acumulador 300 y alimentar a la columna de componentes ligeros 292. En una configuración alternativa, todo o una porción de los vapores 304 se puede purgar corriente arriba a operaciones del suministrador (por ejemplo, planta de olefinas, refinería de petróleo, etc.) o al quemador. El líquido condensado 308 del acumulador 306 puede retornar por la bomba 310 como reflujo 312 a la columna de componentes pesados 292. También, el líquido 308, que típicamente es principalmente diluyente, puede ser reciclado al reactor 210, como se indica con el número de referencia 316 (por ejemplo, a través de un depósito de almacenamiento por una bomba). Finalmente, un calderín de vapor de agua 318 (por ejemplo, un cambiador de calor de carcasa y haz tubular) vaporiza los componentes pesados 320 (por ejemplo, hexeno y oligómeros) que se descargan del fondo de la columna 290, descargándose una porción de los componentes 320 al quemador.

La columna de componentes ligeros 292 puede recibir componentes condensados 314 y componentes no condensados 304 y separar una corriente de componentes ligeros 322 (por ejemplo, nitrógeno, etano, etileno) para ser reciclados al suministrador o purgados al quemador. En el fondo de la columna 292 se descarga diluyente 324 "exento de olefina", que está exento sustancialmente de monómero de olefina y, por ejemplo, puede ser recogido en un depósito 326 de diluyente exento de olefina. El diluyente 82 exento de olefina puede ser enviado por la bomba 328 (por ejemplo, una bomba centrífuga, una bomba de desplazamiento positivo, etc.) para la limpieza del reactor y dilución del catalizador (véase la figura 2). Un calderín de vapor de agua 330 vaporiza una porción del diluyente líquido 324 que se descarga del fondo de la columna de componentes ligeros 292 para proporcionar un flujo de vapor de retorno 332 a la columna 292. También, la columna 292 puede ser mantenida con reflujo por un condensador 334 refrigerado con refrigerante 336 suministrado desde un sistema de refrigeración 338. En la realización ilustrada, el sistema de refrigeración 228 procesa también el retorno de refrigerante 339. Un ejemplo de

refrigerante usado es propileno líquido. En un ejemplo la temperatura operativa de la cabeza de la columna 292 está en el intervalo de  $-23$  a  $-180^{\circ}\text{C}$  y la temperatura operativa del fondo está en el intervalo de  $63$  a  $77^{\circ}\text{C}$ .

Finalmente, como se ha discutido, se recicla directamente 80 a 95% en peso del diluyente y monómero no reaccionado recuperado del sistema de recuperación de monómero/diluyente 24 a los sistemas de alimentación y reactor 16 y 20. Por ejemplo, gas de limpieza 226 (figura 7) que se descarga de la cabeza de la cámara de separación 224, y que generalmente se corresponde con la corriente de reciclado 34 de la figura 1, se envía como corriente de diluyente reciclado 54 (figura 2) directamente al reactor 210 a través del depósito de equilibrio 68. Dicho reciclado directo reduce significativamente la carga del sistema de fraccionamiento, incluida la carga de la columna de componentes pesados 290 y de la columna de componentes ligeros 292. Así, estas columnas (y columnas similares de fraccionamiento) y los calderines asociados de vapor de agua 318 y 330 pueden ser de tamaño significativamente reducido (por ejemplo, 5-20% del tamaño convencional) para la misma capacidad de la planta de poliolefina. Empleando columnas más pequeñas se reduce significativamente el uso de este vapor de agua y se ahorra sustancialmente energía.

#### *IX. Sistema de extrusión/descarga*

Con referencia la figura 14, se representa un diagrama de flujos de un proceso del sistema de extrusión/descarga 36 de la figura 1. Se transfiere neumáticamente polvo de poliolefina 232 procedente de la columna de purga 228 (figura 7) usando, por ejemplo, una soplante de fase diluida, a través de una válvula 340 al sistema de extrusora/descarga 36 y por el conducto 342 al silo de polvo 344 o por el conducto 346 al depósito 348 de alimentación a la extrusora. El silo de polvo 344 se puede usar para proporcionar capacidad de equilibrio durante la parada de la extrusora (o de otras operaciones) en el sistema de extrusión/descarga 36. Por otro lado, el silo de polvo puede acumular polvo para permitir que la extrusora funcione a plena capacidad mientras el reactor corriente arriba de polimerización 210 “se pone a punto” durante la puesta en marcha del reactor 210. El polvo de poliolefina del silo 344 puede ser transferido neumáticamente al depósito de alimentación a la extrusora a través de la válvula rotativa 350 con ayuda de un sistema de soplante 351.

Sin embargo, típicamente el flujo principal de polvo de poliolefina 232 (que se puede corresponder generalmente con el polvo 28 de la figura 1) es por el conducto 346 hacia el depósito 348 de alimentación a la extrusora. Corriente abajo, la válvula rotativa de polvo 352 puede alimentar polvo de poliolefina 354 a la extrusora 356 que calienta, funde y presuriza el polvo de poliolefina 354. Como deben apreciar los expertos ordinarios en la técnica, el polvo 354 puede ser dosificado desde el depósito de alimentación 348 a la extrusora 356 mediante una diversidad de dosificadores, como del tipo de caudalímetro rápido, medidor maestro, etc. También, se pueden inyectar aditivos en la corriente de polvo 354 a una dosis que se puede basar en una proporción específica con respecto al caudal másico del polvo 354. Esta proporción o alimentación “subordinada” de aditivos al polvo 354 puede ser especificada a un valor que genere una receta deseada, por ejemplo, para cada calidad o producto de poliolefina y proporcione las propiedades deseadas de los gránulos de poliolefina. También, la adición de aditivos puede ser realizada con un sistema líquido de aditivos, alimentadores por pérdida de peso, etc. En ciertas realizaciones, se pueden usar uno o más alimentadores por pérdida de peso para dosificar un conjunto premezclado de aditivos alimentados desde un depósito, por ejemplo, a la extrusora 356 por la corriente de polvo 354, una tolva de alimentación a la extrusora 354, directamente a la extrusora 354, etc.

En general, la extrusora 356 puede fundir, homogeneizar y bombear el polímero de poliolefina y los aditivos a través de una granuladora 358, que puede incluir, por ejemplo, un tamiz y cabeza de boquilla calentada, que granula la mezcla de polvo y aditivos. También, cuchillas de la granuladora (esto es, bajo agua) pueden cortar la poliolefina fundida extrudida a través de la boquilla convirtiéndola en gránulos. Los gránulos se enfrían típicamente por agua 360 y pueden ser transportados en una suspensión de gránulos-agua 362 desde la granuladora 358 a un secador de gránulos 364. El secador 364 puede separar el agua libre y secar después el agua superficial remanente en los gránulos por fuerza centrífuga. Los gránulos secos 366 se pueden descargar, por ejemplo, sobre un tamiz clasificador que separa gránulos de tamaño mayor y de tamaño menor.

Se puede suministrar agua 360 a la granuladora 358 desde un depósito de agua 372 mediante una bomba centrífuga 374 y a través de un enfriador 364 (por ejemplo, un cambiador de calor de carcasa y haz tubular). El agua separada del secador de gránulos 364 puede retornar al depósito de agua 372. Los gránulos de poliolefina 370 que salen del tamiz clasificador 368 pueden caer por gravedad a través de una válvula rotativa 380 a una tubería de transporte neumático de fase densa 382 y ser transportados a silos de gránulos 384. Los silos de gránulos pueden incluir depósitos de almacenamiento, mezcladoras, depósitos de almacenamiento fuera de la especificación, etc. En la realización ilustrada, el conjunto de la soplante 386 proporciona nitrógeno y/o aire 388 para transportar los gránulos 370 por la tubería de transporte 382 a los silos de gránulos 386. Los gránulos de poliolefina se pueden cargar en vagones de ferrocarril 392, vagones cisternas, camiones, tolvas de carga, sacos, etc. Los gránulos de poliolefina 390 se pueden cargar en vagones cisternas usando, por ejemplo, un sistema de carga por gravedad, de varias bocas, ayudado por aire. Dicho sistema permite cargar el vagón cisterna automáticamente a una velocidad mayor que la velocidad de polimerización y extrusión. Así, el tiempo “extra” por la mayor velocidad de carga puede ser aprovechado para proporcionar tiempo para desplazar los vagones cisterna o vagones de ferrocarril después de su llenado 372 y posicionar el siguiente vehículo vacío 372.

Se puede implementar una diversidad de técnicas eficientes en el sistema de extrusión/descarga. Por ejemplo, como se ha discutido anteriormente, la corriente de purga corriente arriba 228 se puede combinar con el depósito 348 de alimentación a la extrusora. Así, se puede eliminar el sistema de transporte del polvo 232 y, por lo tanto, el consumo eléctrico asociado de la soplante del sistema de transporte. También, en este ejemplo, el polvo 232 está más caliente (por ejemplo, a 232°C) que si se experimentara el efecto de enfriamiento (por ejemplo, enfriar hasta 27-38°C) de nitrógeno o aire en un sistema de transporte ordinario implementado. Combinando la columna de purga 228 con el depósito 348 de alimentación a la extrusora, el polvo 232 se convierte en el polvo 354 y se alimenta a la extrusora más caliente que el alimentado tradicionalmente a la extrusora 356. Por lo tanto, se consume menos vapor de agua en la extrusora para calentar y fundir el polvo de entrada 354.

En general, se puede reducir el número de silos o depósitos de almacenamiento entre el sistema de recuperación de diluyente/monómero 24 y el sistema de extrusión/descarga 36. En la realización ilustrada, se representan dos depósitos, un silo de polvo 344 y un depósito 348 de alimentación a la extrusora. Sin embargo, tradicionalmente se han dispuesto hasta 10-15 depósitos de almacenamiento y sistemas asociados de transporte por soplado y de reciclado/mezcla para almacenar, mezclar y alimentar polvo a la extrusora 356. Así, en la realización ilustrada, se consume menos electricidad que en una operación tradicional de almacenamiento y alimentación de polvo.

También, se puede eliminar el silo último remanente de polvo 344 y, por lo tanto, se puede eliminar el conjunto menor 351 y el consumo eléctrico asociado. Para suprimir el silo de polvo 344 y conseguir el tiempo de residencia asociado del polvo, cuando están en funcionamiento la parte húmeda 42 puede estar acoplada más estrechamente con la parte húmeda (véase la figura 1). En otras palabras, se pueden implementar técnicas mejoradas en el funcionamiento del reactor de polimerización 210 del sistema de reactor (figura 1) para permitir que el reactor 210 detenga la producción de poliolefina, por ejemplo, para acomodar desajustes en el sistema corriente arriba de extrusión/descarga que normalmente pueden ser acomodados por la capacidad de equilibrio del silo de polvo 344. Por ejemplo, si se para temporalmente la extrusora 356, se puede someter el reactor de polimerización 210 a una "miniparada" o "parada parcial" en la que se inyecta al reactor 210 una porción relativamente pequeña (por ejemplo, del orden de partes por billón) de un veneno del catalizador, como monóxido de carbono, para "parar" temporalmente la polimerización. Así, si se produce una parada temporal de la extrusora 356 o de otro equipo del sistema de extrusión/descarga 36, se para o reduce temporalmente la descarga de polvo de poliolefina 232 desde la descarga 22 del reactor 210 debido a ausencia de polimerización en el reactor 210. Por lo tanto, el tiempo de residencia en el depósito 348 de alimentación a la extrusora se puede adecuar para retener polvo de entrada 232 hasta que se restablezca el funcionamiento de la extrusora.

Finalmente, se debe indicar que se puede eliminar otro conjunto de transporte por soplado en el sistema de extrusión/descarga 36 proporcionando así una reducción adicional del consumo eléctrico. Se puede usar la bomba de agua 374 para transportar los gránulos 362 y 370 a los silos de gránulos 384 y, así, se puede eliminar el sistema de transporte por soplado 386. El consumo eléctrico se reduce significativamente porque la potencia típica del motor de la bomba de agua 374 para el transporte de los gránulos es sólo 25 HP, en comparación con las potencias del motor de la soplante que varían de 250 a 500 HP y más. Se debe indicar que si se usa la bomba de agua 374 para transportar la suspensión acuosa de gránulos 360 hasta los silos superiores 386, se puede reposicionar el secador de gránulos 364 y el clasificador 368 encima de los silos 386 y permitir así la caída por gravedad de los gránulos 366 desde el secador 364 a través del clasificador 376 a los silos de gránulos 386.

#### X. Resumen de técnicas eficientes energéticamente

A continuación se enumeran algunas de las técnicas eficientes energéticamente.

- A. En el sistema de alimentación al reactor de polimerización, se usa un caudalímetro de masa en lugar del medidor convencional de placa perforada, para medir el caudal de monómero, eliminando la necesidad de precalentar el monómero.
- B. También, se puede emplear un activador más grande del catalizador, reduciendo la cantidad de gas combustible consumido (quemado) para activar el catalizador de polimerización alimentado al reactor.
- C. Adicionalmente, se puede reducir el número de purificadores para eliminar de las corrientes de alimentación al reactor venenos del catalizador, proporcionando un cambio de escala más eficiente en la regeneración de los purificadores y menor consumo eléctrico.
- D. Además, se puede usar una técnica mejorada de regeneración de los purificadores para reducir la cantidad de componentes inertes (por ejemplo, nitrógeno) descargados a la cabeza del quemador. Esto reduce la cantidad de gas combustible (por ejemplo, gas natural) inyectado a la cabeza del quemador para mantener un contenido apropiado de combustible en la alimentación al quemador.
- E. En el propio sistema del reactor, una salida continua del polvo de poliolefina descargado del reactor, en lugar de la descarga intermitente convencional a través de un tubo de sedimentación, proporciona una concentración mayor de sólidos en el reactor. Una concentración mayor de sólidos en el reactor puede permitir una velocidad de producción mayor de poliolefina y reducir así el consumo normalizado de energía, en parte porque los costes fijos de energía se reparten entre más kilogramos de poliolefina producida.



- 5 F. Adicionalmente, se puede construir un reactor de fase líquida, como un reactor en suspensión de circuito cerrado, de un material (por ejemplo, aluminio de alta resistencia) que tiene mayor resistencia y conductividad térmica que el acero, el material tradicional usado en la fabricación reactores en suspensión de circuito cerrado. Dichos materiales más nuevos de alta resistencia proporcionan paredes del reactor más finas, mejor transferencia de calor a través de las paredes y mayor diámetro del reactor, permitiendo una mayor velocidad de producción de poliolefina.
- G. Otro ejemplo en el sistema de reactor es el uso de álabes de guía en la bomba de circulación del reactor, que proporciona una mayor eficiencia de bombeo (menor consumo eléctrico) y mayor velocidad de producción de poliolefina.
- 10 H. También otro ejemplo en el sistema de reactor es una técnica que especifica un mayor incremento de la temperatura (por ejemplo, de los 5-6°C tradicionales a 8-25°C y más) del refrigerante que circula a través de las camisas de los reactores. Dicha mayor diferencia de temperatura entre el aporte y el retorno de refrigerante imparte la misma capacidad de eliminación de calor a caudales más bajos de refrigerante. Por lo tanto, la bomba de circulación de refrigerante puede ser de menor tamaño, requiriendo menos potencia.
- 15 I. En el sistema de recuperación de diluyente/monómero que procesa el efluente descargado del reactor de polimerización, se pueden conseguir ahorros en el consumo de electricidad eliminando una separación a baja presión del diluyente y la compresión asociada del reciclado.
- J. Se pueden conseguir más ahorros eliminando la columna de purga que separa de las partículas de polvo de poliolefina hidrocarburos residuales. En su lugar, la operación de separación de hidrocarburos se realiza corriente abajo en el depósito de alimentación a la extrusora en el sistema de extrusión/descarga. Esta mejora permite la utilización de la presión del proceso en una cámara de separación corriente arriba, en lugar de un sistema de soplante que consume electricidad, para transportar las partículas de poliolefina al depósito de alimentación a la extrusora. Esta mejora proporciona también partículas de polvo de poliolefina más calientes (por ejemplo, 232°C frente a 27-38°C del polvo en el sistema convencional de transporte) alimentadas corriente abajo a la extrusora, reduciendo la carga de energía en la extrusora.
- 20
- 25
- K. También se puede reducir el número de silos de polvo de poliolefina intermedios entre el sistema de recuperación de diluyente/monómero y el sistema de extrusión/descarga, en parte por el mejor funcionamiento del reactor de polimerización y de la extrusora. Dicha reducción del número de silos o depósitos de almacenamiento reduce el número de soplantes asociadas y su consumo eléctrico.
- 30 L. En el sistema de extrusión/descarga, se puede ahorrar electricidad usando una bomba de agua para transportar los gránulos de poliolefina que se descargan de la extrusora/granuladora a los silos de gránulos en lugar del conjunto convencional de transporte por soplante. En efecto, la potencia de la bomba de agua para el transporte de los gránulos es de un orden de magnitud menor que la de una soplante de transporte neumático.
- 35 M. En el sistema de fraccionamiento que procesa monómero no reaccionado recuperado y diluyente procedentes del reactor de polimerización y del sistema de recuperación de diluyente/monómero, se reduce el uso de vapor de agua tanto como un 90 por ciento. Dicha reducción se consigue por reciclado directo del diluyente y monómero al reactor de polimerización, sin pasar por el sistema de fraccionamiento, y permitiendo así columnas de fraccionamiento más pequeñas y cambiadores de calor y calderines de vapor de agua más pequeños.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema de fabricación para producir una poliolefina, que comprende:

- un sistema de alimentación que comprende un caudalímetro de masa configurado para medir el caudal de una alimentación de monómero al reactor de polimerización,
- 5 – un sistema de reactor de poliolefina que tiene un reactor de polimerización, en el que el reactor de polimerización comprende una salida continua,
- un sistema de recuperación de diluyente/monómero configurado para procesar el efluente descargado del reactor de polimerización, en el que el efluente comprende partículas de poliolefina y diluyente y en el que el sistema de recuperación de diluyente/monómero está configurado para facilitar el reciclado directo de por lo menos el 80% en peso de diluyente recuperado en el sistema de recuperación de diluyente/monómero al reactor de polimerización sin fraccionamiento,
- 10 – un sistema de fraccionamiento configurado para procesar una porción del diluyente, y
- un sistema de extrusión/descarga que tiene una extrusora,

en el que el sistema de fabricación que está configurado para consumir menos de 144 kilogramos de vapor de agua por tonelada métrica de poliolefina producida.

15 2. El sistema de fabricación de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el monómero es etileno.

3. El sistema de fabricación de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el reciclado directo comprende condensar el diluyente, pasar el diluyente por un purificador y retornar el diluyente al reactor de purificación.

4. Un método para hacer funcionar un proceso de fabricación de una poliolefina, que comprende:

- alimentar un monómero, un diluyente y un catalizador a un reactor de polimerización,
- 20 – medir el caudal de monómero alimentado al reactor de polimerización con un caudalímetro de masa,
- polimerizar el monómero en el reactor de polimerización para formar partículas de poliolefina,
- descargar en continuo del reactor de polimerización una suspensión que comprende monómero, diluyente y partículas de poliolefina,
- 25 – recuperar de la suspensión partículas de poliolefina separando de la suspensión por lo menos la mayor parte del diluyente,
- reciclar directamente al reactor de polimerización una primera porción que comprende por lo menos el 80% en peso del diluyente separado, sin fraccionar la primera porción,
- fraccionar una segunda porción del diluyente separado, para proporcionar diluyente exento sustancialmente de monómero,
- 30 – extrudir y granular las partículas de poliolefina recuperada, para formar gránulos de poliolefina,
- transportar los gránulos de poliolefina a una zona de descarga, y
- consumir menos de 144 kilogramos de vapor de agua por tonelada métrica de gránulos de poliolefina producida.

35 5. El método de acuerdo con la reivindicación 4, en el que el monómero alimentado al reactor de polimerización es etileno.

6. El método de acuerdo con la reivindicación 4, en el que reciclar directamente al reactor de polimerización una primera porción que comprende por lo menos el 80% en peso del diluyente separado, sin fraccionar la primera porción, comprende condensar la primera porción, pasar la primera porción por un purificador y retornar la primera porción al reactor de polimerización.

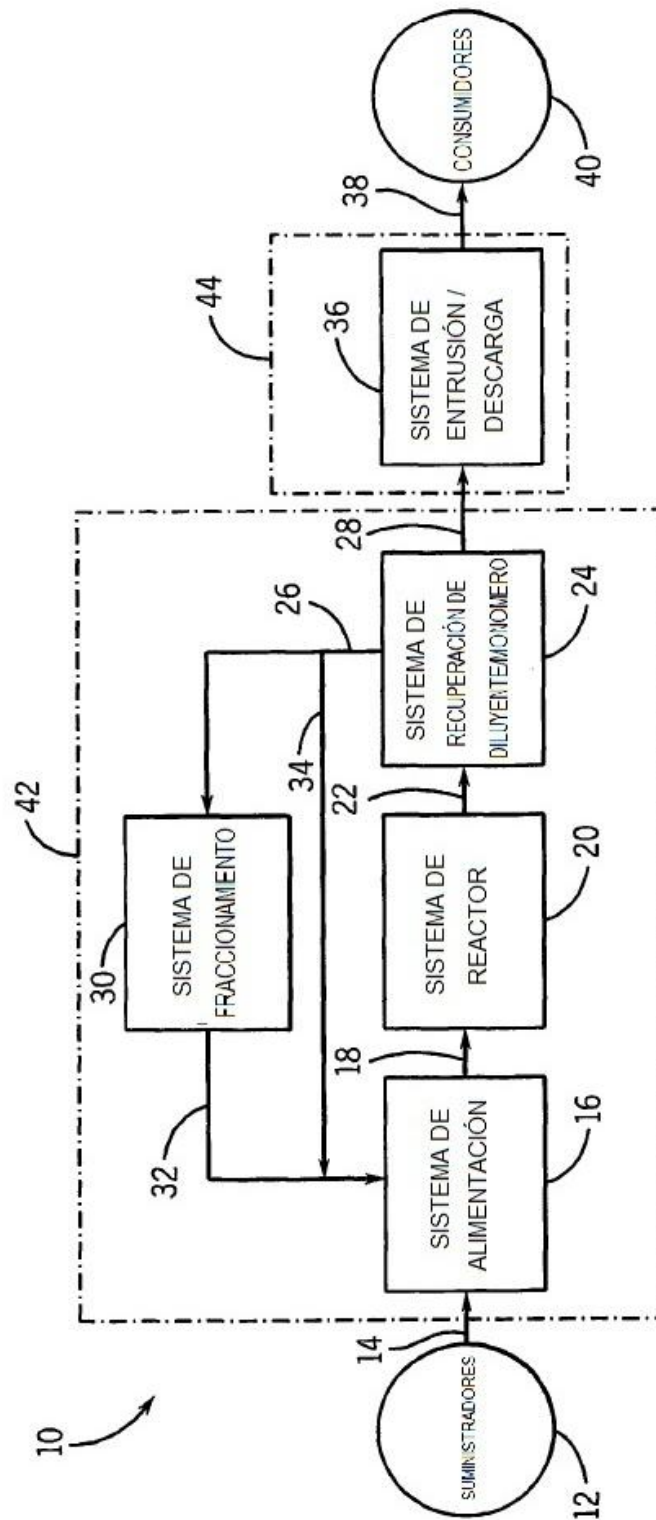


FIG. 1

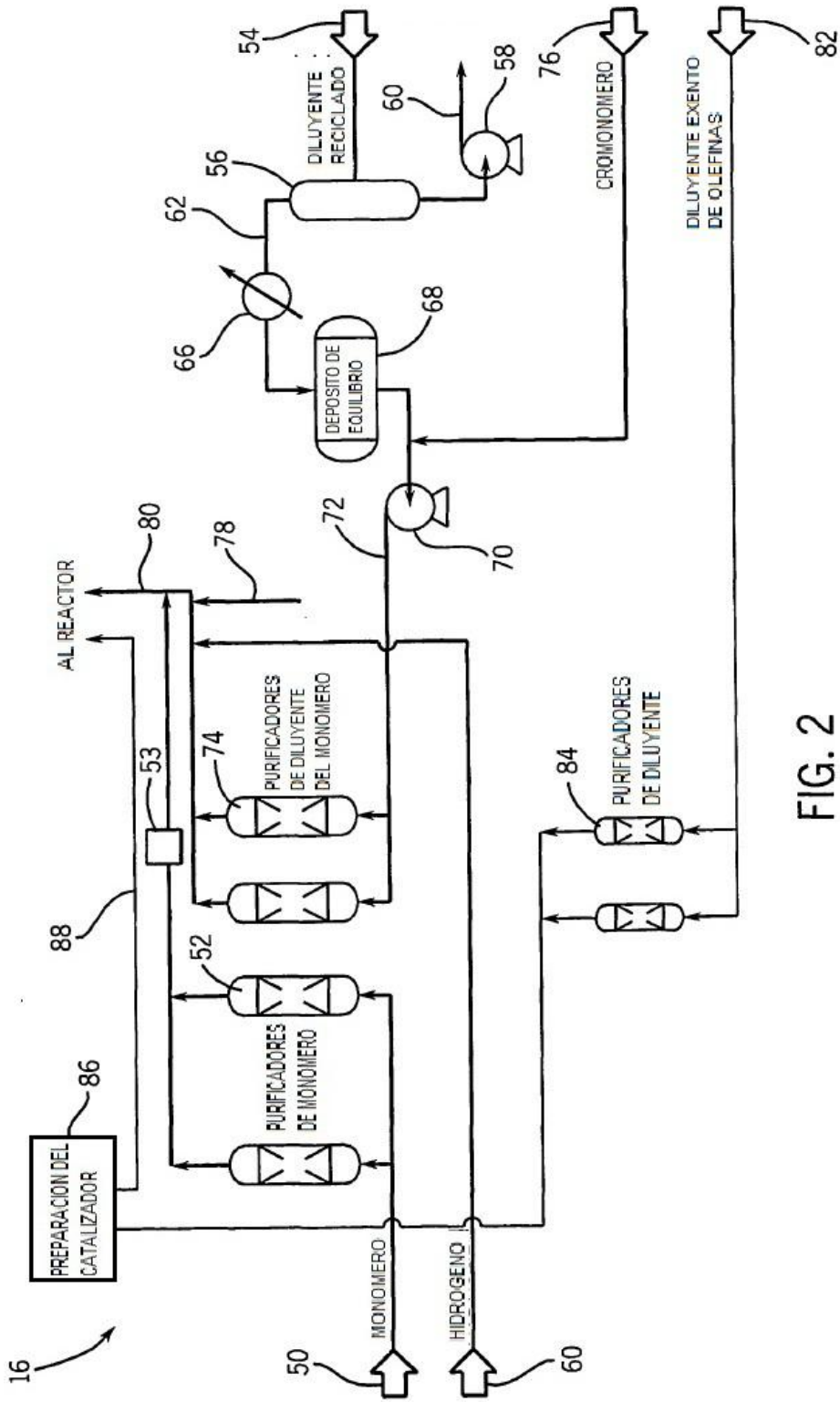


FIG. 2

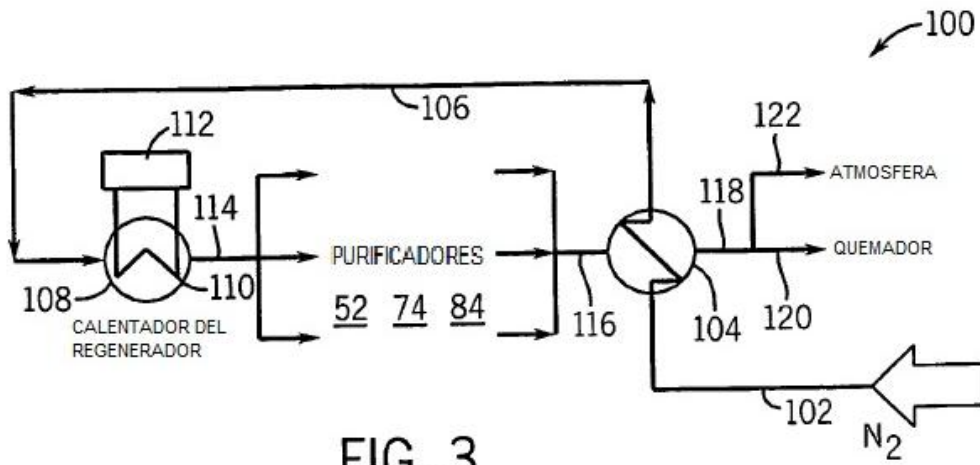


FIG. 3

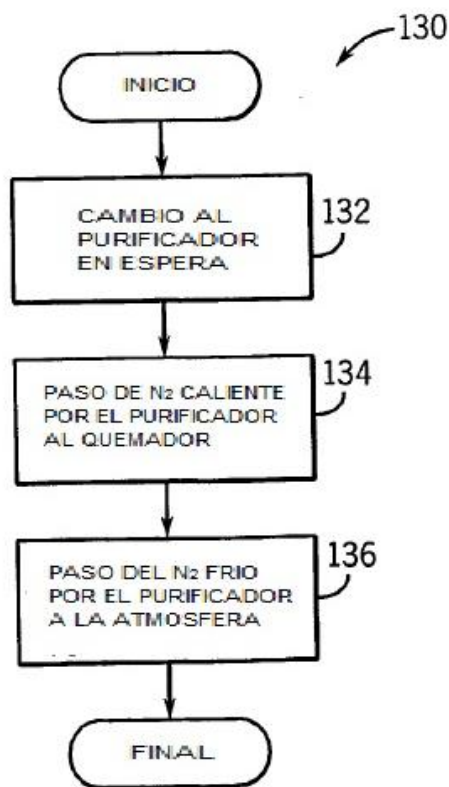


FIG. 4

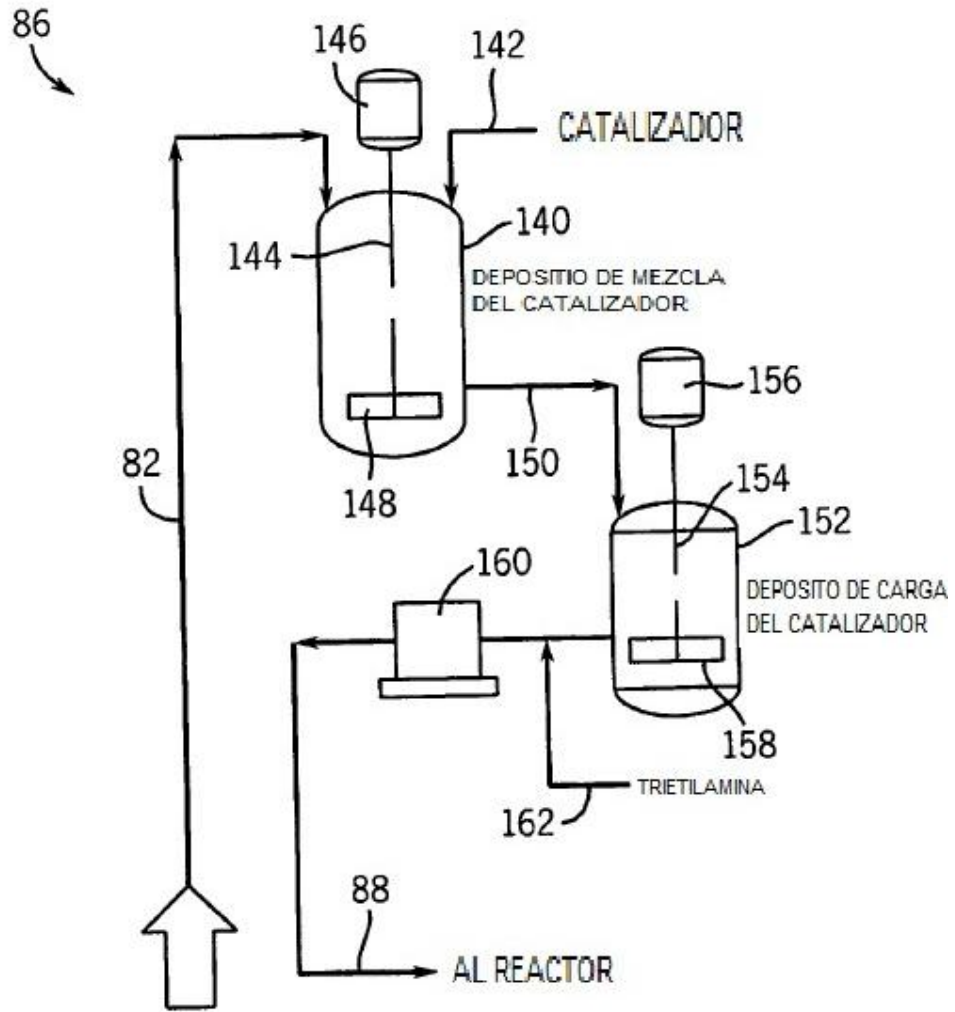


FIG. 5

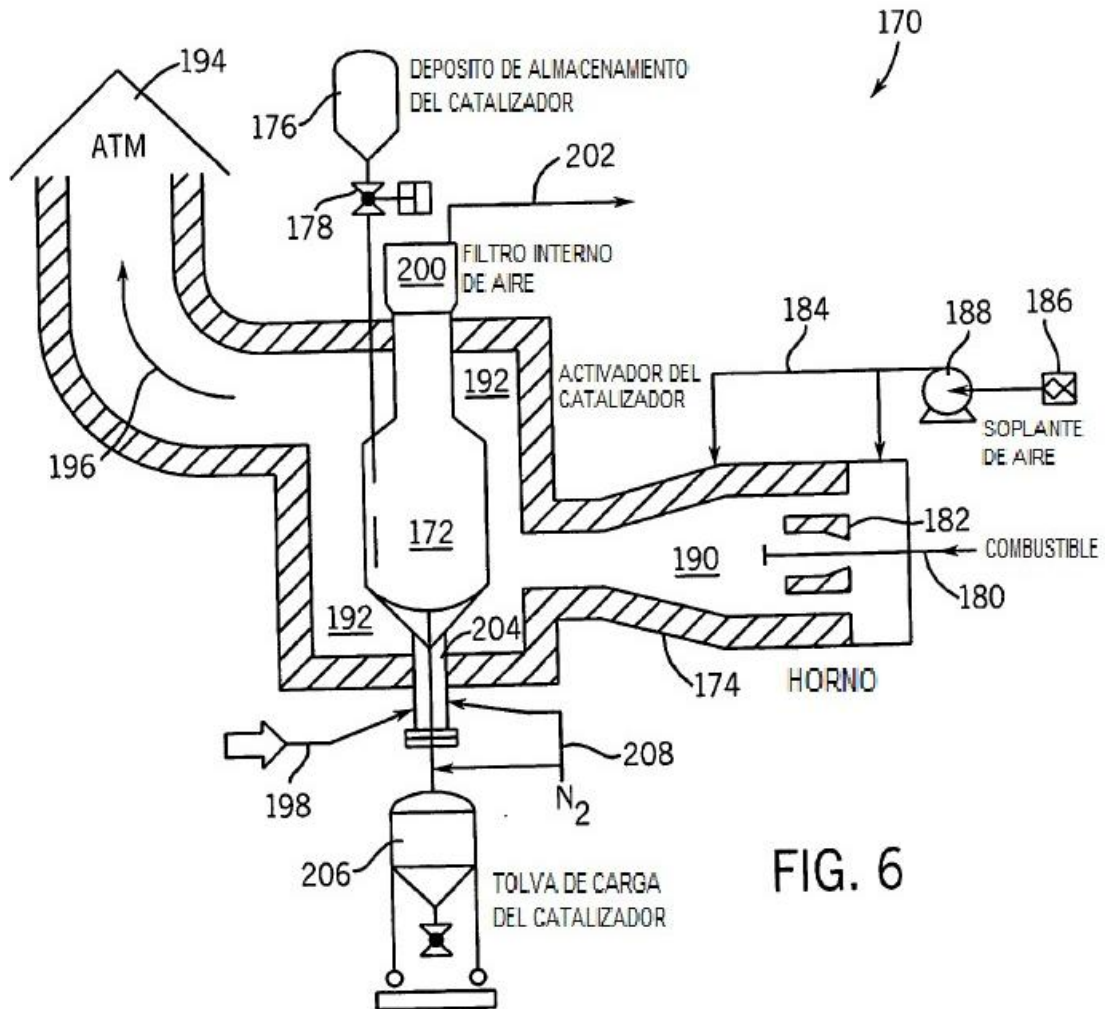


FIG. 6

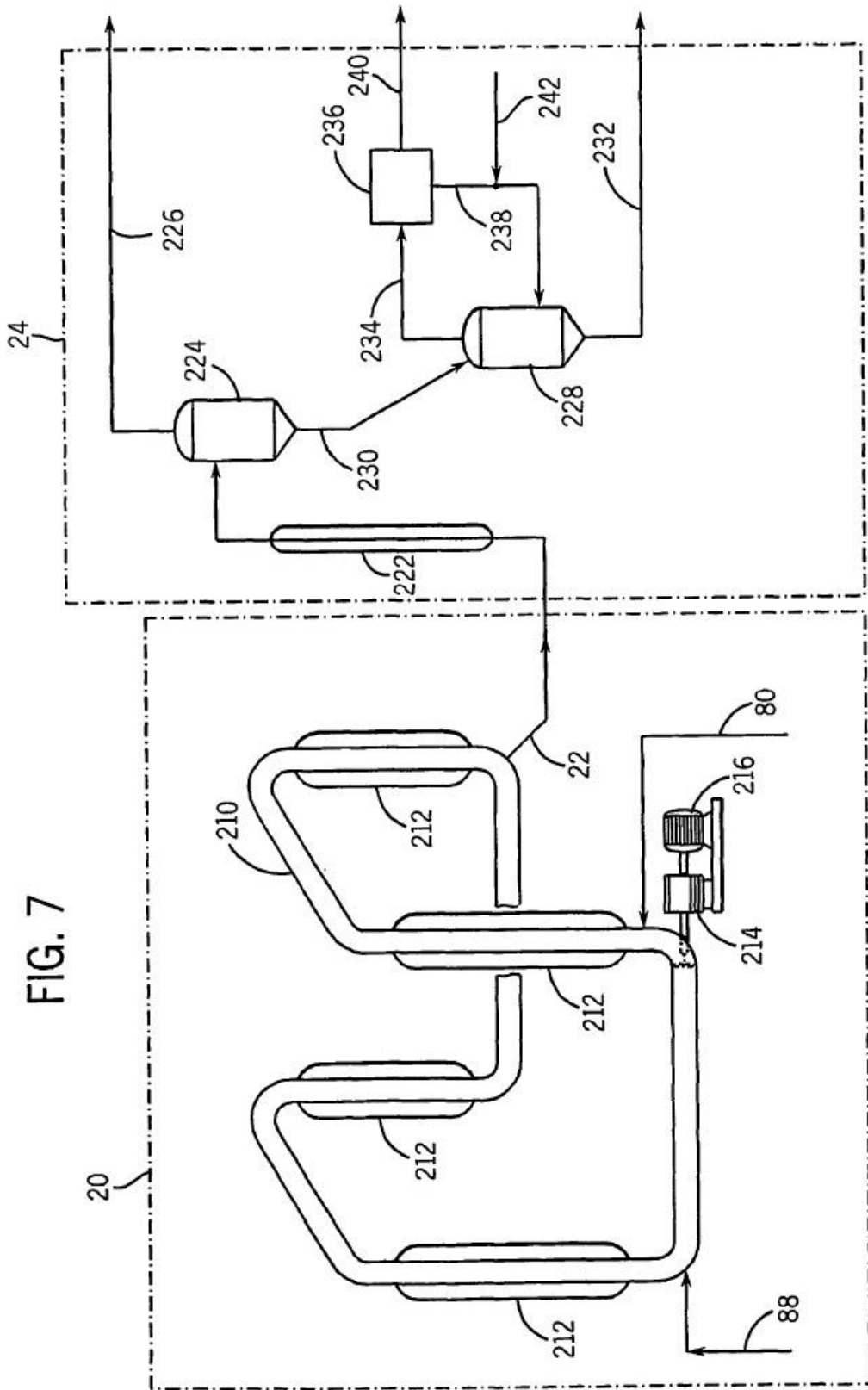


FIG. 7



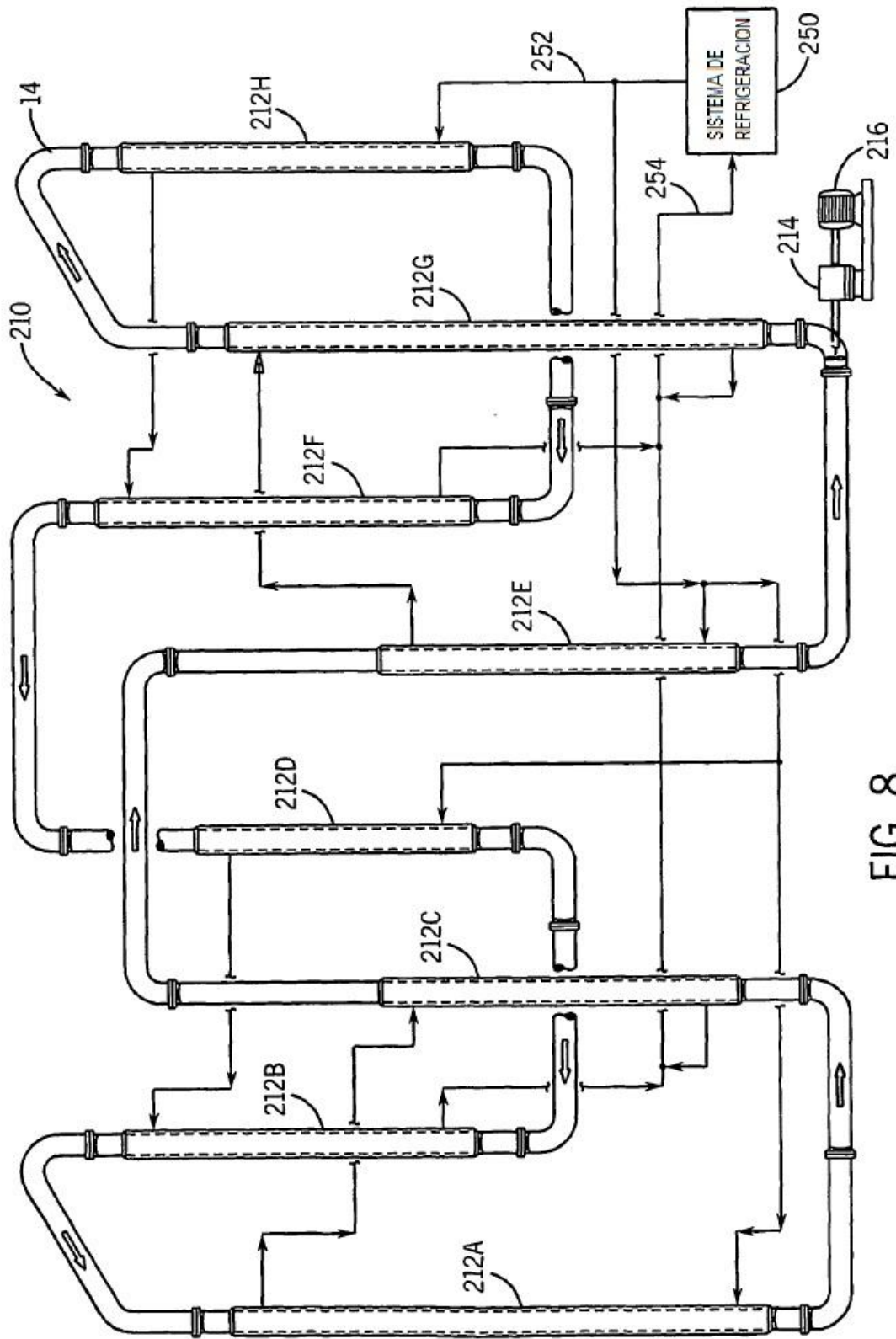


FIG. 8

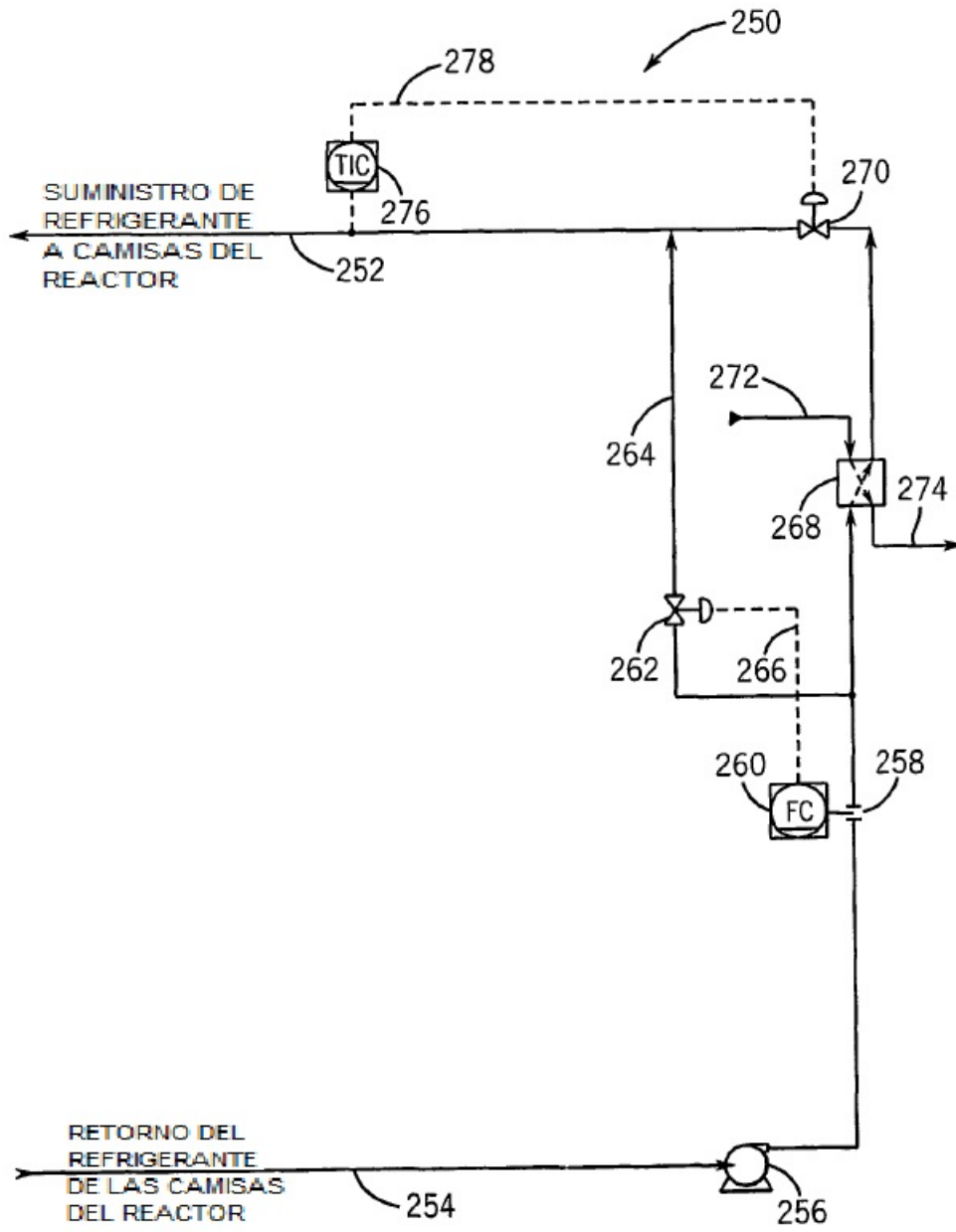
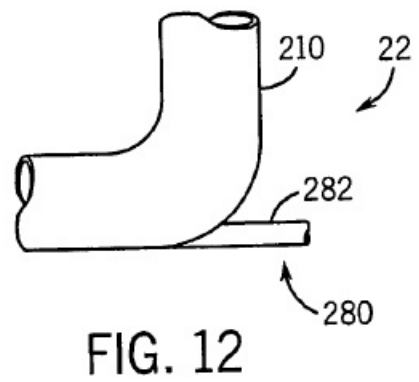
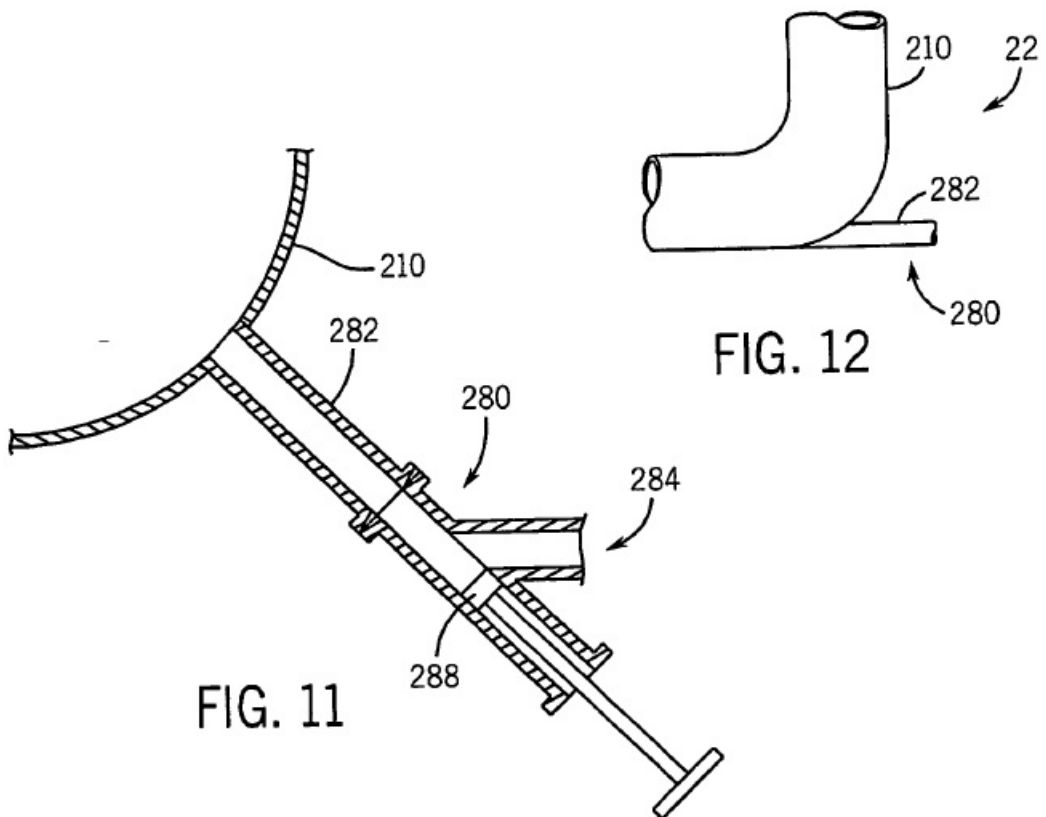
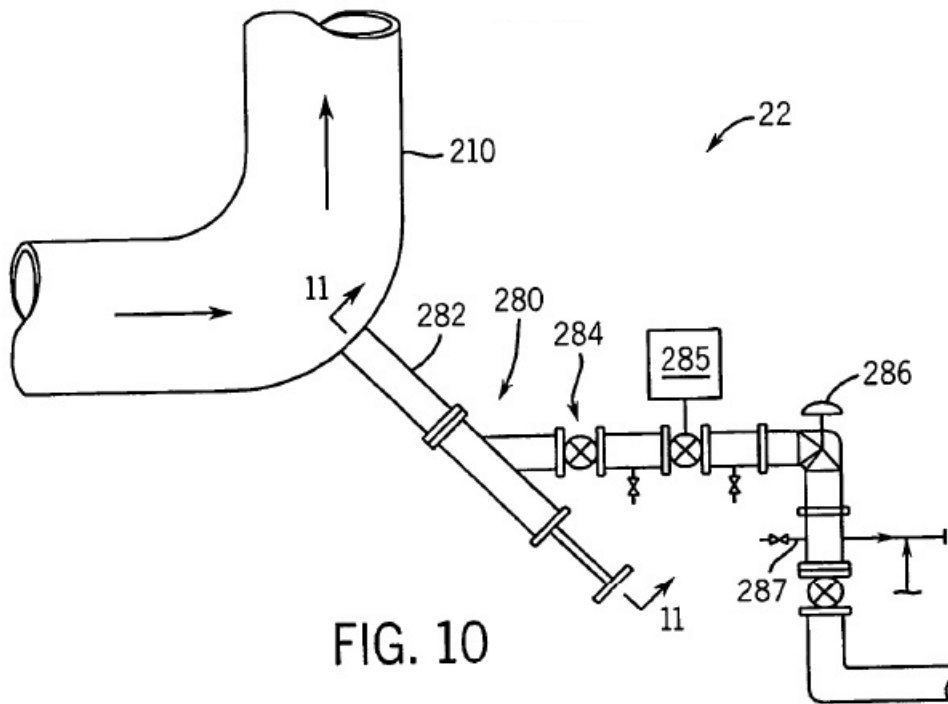
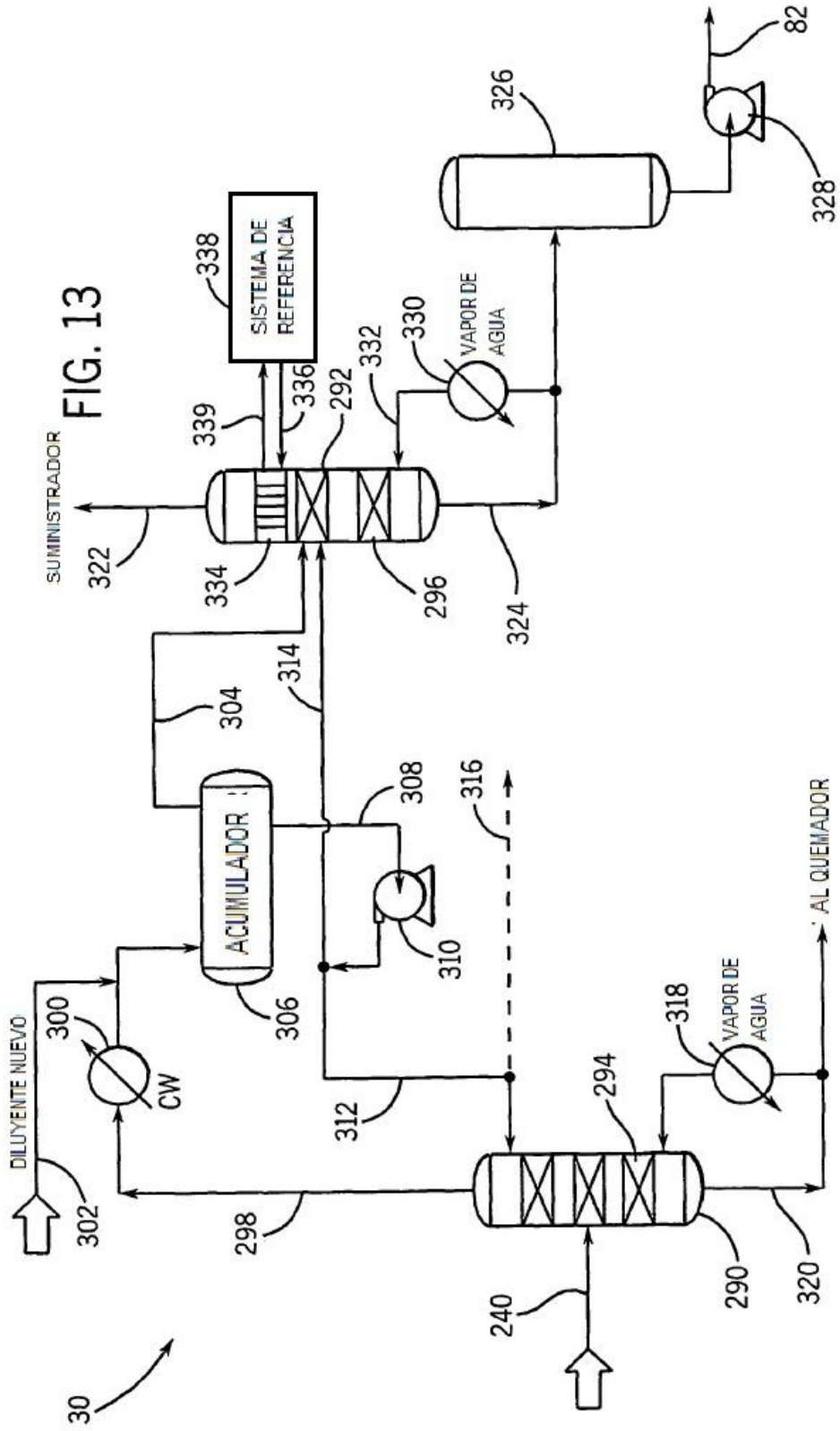


FIG. 9





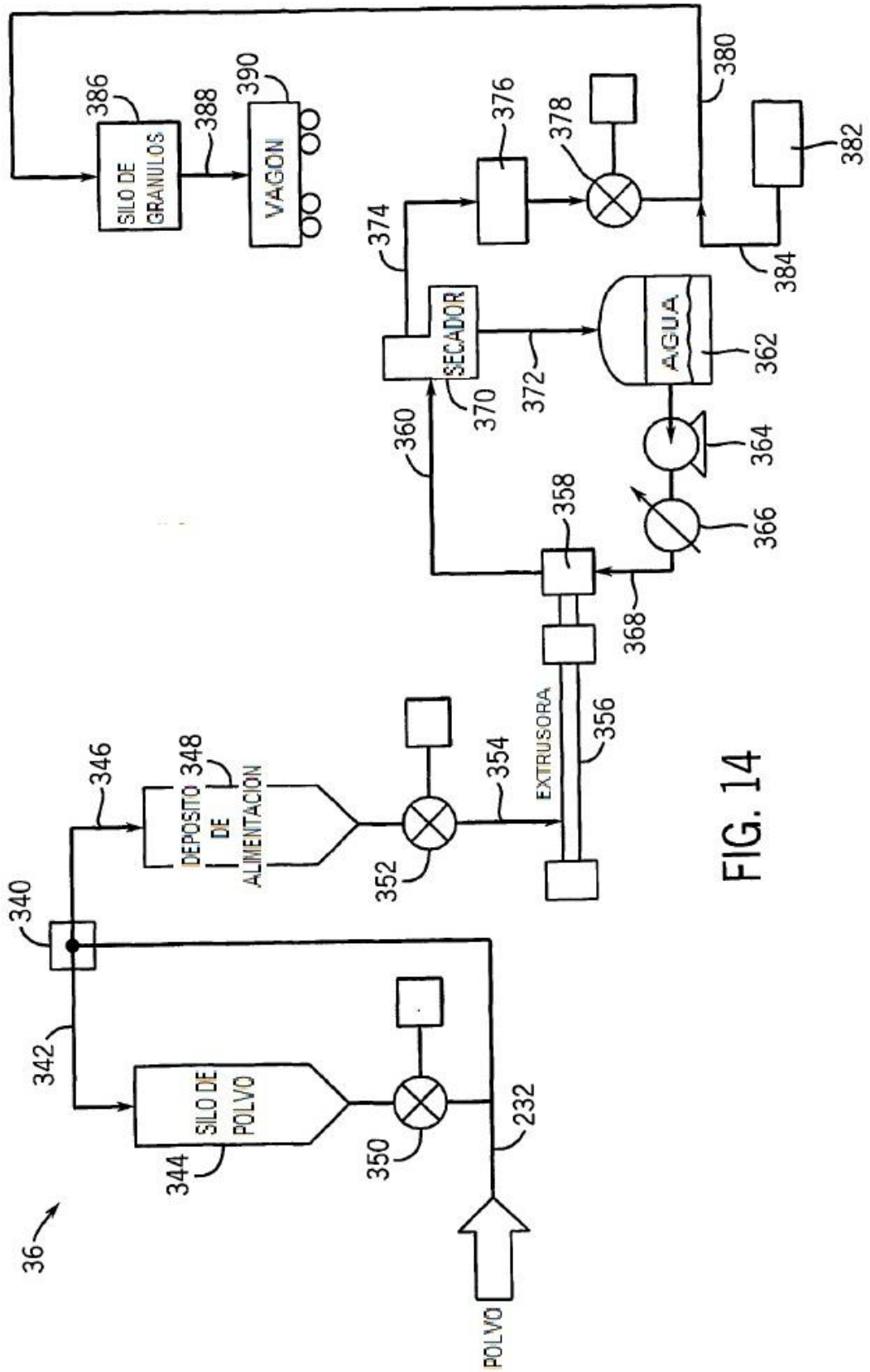


FIG. 14