

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 817 059**

51 Int. Cl.:

**C07C 2/32** (2006.01)

**G05D 21/02** (2006.01)

**B01J 31/02** (2006.01)

**B01J 31/14** (2006.01)

**G05B 13/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.11.2016 E 16306540 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.06.2020 EP 3176668**

54 Título: **Utilización de un controlador multivariable avanzado para el control de unidades alfabutol**

30 Prioridad:

**03.12.2015 FR 1561827**

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

**06.04.2021**

73 Titular/es:

**AXENS (100.0%)  
89 Bd. Franklin Roosevelt, B.P. 50802  
92508 Rueil-Malmaison Cedex, FR**

72 Inventor/es:

**BADER, JEAN-MARC y  
MAINTENANT, DAMIEN**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 817 059 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

Utilización de un controlador multivariable avanzado para el control de unidades alfabutol

## 5 Campo de la invención

La presente invención pertenece al campo de los procesos de control avanzado (Advanced Process Control, o "APC" según la terminología inglesa) y la regulación de unidades industriales. Está destinada más particularmente a unidades de oligomerización que funcionan en presencia de un catalizador homogéneo en fase líquida y en el punto de burbujeo, siendo el catalizador soluble en la fase de reacción. El proceso según la invención se aplica preferentemente al proceso de oligomerización, lo que permite producir buteno-1 a partir de etileno.

Análisis de la técnica anterior

15 La patente EP 2.239.639 B1 describe un procedimiento de control y regulación de una unidad industrial usando una fase de identificación en circuito cerrado de los parámetros operativos de la unidad. Este procedimiento se implementa mediante un controlador multivariable.

El documento publicado en INDUSTRIAL & ENGINEERING CHEMISTRY RESEARCH (vol. 39, N.º 5, 1 de mayo de 2000 (01-05-2000), US, páginas 1320-1329) describe un método para controlar la temperatura de un reactor de dimerización de etileno a buteno. Este documento divulga un algoritmo denominado "SISO" o "MIMO" que tiene en cuenta la temperatura y la concentración de buteno-1. El documento publicado en el International Journal of Scientific & Engineering Research, (Volumen 3, número 6, junio de 2012) describe un método de simulación dinámica de un reactor de producción de buteno por dimerización de etileno. Este documento menciona que la presión de etileno inicial no tiene influencia sobre la selectividad por el buteno-1.

25 En la presente invención, la unidad se modela mediante un modelo dinámico en donde las tres variables objetivo son la tasa de producción de buteno, la temperatura y la presión del reactor, y las cuatro variables de acción son el caudal de carga, el caudal de agua de refrigeración que alimenta los intercambiadores del circuito, o circuitos, de reciclado del catalizador y los dos caudales de los dos componentes del catalizador o, lo que equivale a lo mismo, el caudal de uno de los componentes del catalizador y la relación entre el caudal de este componente del catalizador y el del otro componente.

30 Sin APC, es decir según el estado de la técnica, el modo habitual de regulación de las unidades para la producción de buteno-1 por oligomerización de etileno puede variar según las unidades:

- 35 - Según una primera realización, la relación de los caudales de catalizador T2/LC se mantiene fija, y el caudal de los componentes T2 o LC del catalizador es variable. Frecuentemente, el caudal del componente T2 se ajusta para controlar la productividad de la unidad. En este modo de regulación, el caudal de etileno no se modifica manualmente porque se conecta en cascada al control de presión del reactor. Por cascada se entiende el hecho de que, a diferencia del control PID simple en donde una variable de acción (Vact) actúa directamente para mantener una variable objetivo (Vcb), la variable objetivo (Vcb) se mantiene constante mediante otra variable objetivo (Vcb2) que está controlada por otra variable de acción (Vact2).
- 40 - Según una segunda realización la relación de los caudales de catalizador T2/LC se modifica para controlar la producción de buteno-1. El caudal de etileno se conecta en cascada al control de presión del reactor.

45 El operador generalmente procede en pasos de variación del caudal de cada componente del catalizador, correspondiendo cada paso a un porcentaje generalmente entre 3 % y 20 %, más preferentemente comprendido entre 5 y 12 %, para limitar las fluctuaciones de presión del reactor.

Una variación en el caudal del catalizador genera efectos relativamente rápidos a nivel del reactor unitario, pero al ser el tiempo total de permanencia en la unidad superior de varias horas, es necesario esperar un tiempo entre 3 horas y 10 horas según el caso para distinguir los efectos de estas variaciones al salir de la unidad. Un sistema de control avanzado puede superar esta dificultad.

55 Dependiendo de las unidades, puede haber de uno a tres circuitos de reciclaje de catalizador. En los dos modos de control descritos anteriormente, la temperatura se mantiene constante actuando sobre el caudal de líquido refrigerante que alimenta el o los intercambiadores del circuito o los circuitos de reciclaje del catalizador. La mayoría de las reacciones de oligomerización también conducen a la formación de polímeros susceptibles de ser depositados en las partes frías y en particular en los intercambiadores, lo que provoca una variación en el coeficiente de intercambio y una pérdida de eficacia.

## 60 Descripción breve de las figuras

La figura 1 representa el esquema del procedimiento de oligomerización de etileno en buteno-1 en donde se muestran las corrientes principales, el reactor (C1) y las dos columnas de destilación (C2 y C3). En este esquema también están representados los principales elementos del sistema de control y regulación según la invención, concretamente los sistemas de control o regulación de las variables de acción (caudal de carga de la unidad, caudal de cada catalizador, caudal de agua de refrigeración) y variables objetivo (presión del reactor, caudal de producto, temperatura del reactor).

La figura 2 representa dos histogramas de la variación de temperatura del reactor de la unidad en función del tiempo. La curva de la figura 2a es según la invención, es decir con aplicación del APC, y la curva de la figura 2b es según la técnica anterior. Se observa una reducción muy marcada en la dispersión de valores con el sistema de regulación APC.

La figura 3 representa dos histogramas de la variación de la presión del reactor a lo largo del tiempo. La curva de la figura 3a es según la invención, es decir con aplicación del APC, y la curva de la figura 3b es según la técnica anterior. Se observa una reducción muy marcada en la dispersión de valores con el sistema de regulación APC.

La figura 4 representa la variación en el tiempo de la presión del reactor (indicado como 4) y el caudal de producción de buteno-1 (indicado como 5), en función del caudal de carga y el caudal de los dos componentes del catalizador (indicado respectivamente como 2 para T2 y 3 para LC).

El gráfico de la derecha es según la invención, es decir, con aplicación del APC, y la curva de la izquierda es según la técnica anterior. En el gráfico de la derecha observamos una notable estabilización de las dos variables objetivo: la presión del reactor y la producción de buteno-1.

La Figura 5 muestra cómo actúan las dos variables de acción del caudal de carga (indicado como 3 y después como 6) y la relación entre los dos caudales de catalizador (indicado como 2 y después como 7), para efectuar un cambio del valor del punto de ajuste de dos de las variables objetivo: caudal de producción de buteno (indicado como 5 y después como 8) y presión del reactor (indicado como 1 y después como 4).

#### Descripción breve de la invención

La implementación de un procedimiento de control avanzado según la invención, es decir con APC, permite conseguir una regulación multivariable gracias a la cual la temperatura del reactor (T<sub>reac</sub>), la presión del reactor (P<sub>reac</sub>) y, en consecuencia, la productividad de la unidad (D<sub>prod</sub>) son mucho más estables.

El procedimiento según la invención usa un controlador multivariable. El modelado dinámico del procedimiento de producción de buteno-1 por oligomerización de etileno ha permitido determinar una nueva estrategia de control avanzado, en lo sucesivo denominado "procedimiento de control avanzado según la invención", que difiere significativamente de las estrategias convencionalmente utilizadas para operar este tipo de unidad.

Según la presente invención, los 3 parámetros que se intenta mantener constantes, denominados variable objetivo, son la presión del reactor (P<sub>reac</sub>), la temperatura del reactor (T<sub>reac</sub>) y el caudal de buteno-1 producido (D<sub>prod</sub>).

Las 4 variables de acción sobre las que actuamos para mantener constantes las variables objetivo son: el caudal de etileno (D<sub>ch</sub>), los caudales de los dos componentes del catalizador (T2 y LC) y el caudal del líquido refrigerante que alimenta el o los intercambiadores del circuito o los circuitos de reciclaje del catalizador.

Más concretamente, el procedimiento de control avanzado (APC) según la invención utiliza un controlador multivariable (llamado controlador APC) que se basa en 3 principios:

- control de la presión del reactor (P<sub>reac</sub>) variando la cantidad de catalizadores inyectados (T2 o LC), con acción sobre el caudal de carga (D<sub>ch</sub>) para compensar los efectos de la presión sobre la conversión que afecta al caudal de producción (D<sub>prod</sub>),
- control del caudal de producción (D<sub>prod</sub>) por el caudal de carga, con acción sobre el caudal del catalizador (LC o T2) para compensar los efectos sobre la presión,
- control de la temperatura del reactor (T<sub>reac</sub>) actuando sobre el caudal de líquido refrigerante que alimenta el o los intercambiadores del circuito o los circuitos de reciclaje del catalizador.

El controlador APC se instala en un ordenador, conectado al sistema de control del procedimiento de la unidad industrial, efectuando dicho ordenador las siguientes operaciones:

- recuperación de señales de variables de acción y variables objetivo,
- generación de nuevos puntos de ajuste de las variables de acción y,
- envío de nuevas instrucciones al sistema de control del procedimiento.

Según una primera variante del procedimiento de control avanzado según la invención, se fija la relación de los dos componentes del catalizador, T2/LC, y solo se actúa sobre el caudal del componente T2. En este caso, la relación (LC/T2) se mantiene entre 1,5 y 3 moles/moles, más preferentemente entre 1,9 y 2,5 moles/moles, y muy preferentemente entre 2 y 2,2 moles/moles para limitar la formación de polímeros.

Según otra variante del procedimiento de control avanzado según la invención, los caudales de los catalizadores T2 y LC varían libremente dentro de un intervalo tal que la relación (T2/LC) se mantiene entre 1,5 y 3 moles/moles, más preferentemente entre 1,9 y 2,5 moles/moles, y muy preferentemente entre 2 y 2,2 moles/moles para limitar la formación de polímeros.

En un modo de funcionamiento actual del procedimiento de control avanzado según la invención:

- Al cambiar el punto de ajuste de la presión, a producción constante, el caudal de los componentes del catalizador se modifica para controlar las variaciones de presión y la modificación del caudal de carga compensa el cambio de la conversión (por lo tanto de la producción) generado por el nuevo punto de ajuste de la presión,
- Al cambiar el punto de ajuste de la producción, a presión constante, el caudal de carga se modifica para controlar la variación en la producción, y el cambio en el caudal de los dos componentes del catalizador compensa los efectos del cambio de presión generado por el nuevo punto de ajuste de la producción.

Para obtener un procedimiento de control avanzado según la presente invención, se realiza previamente una parametrización de dicho procedimiento de control avanzado mediante la obtención de datos experimentales, proviniendo estos datos experimentales de una campaña de pruebas que consiste en generar variaciones en las variables de acción y seguir las respuestas de la unidad a las variables objetivo, variaciones de las variables de acción y respuestas de las variables objetivo que se procesan en un software de identificación multivariable.

La presente invención también se refiere a la aplicación del procedimiento de control avanzado a un proceso de oligomerización de etileno para producir buteno-1 que funciona preferentemente en las siguientes condiciones:

- presión comprendida entre 0,5 y 8 MPa, preferentemente entre 1 y 4 Mpa,
- temperatura comprendida entre 20 °C y 150 °C, preferentemente entre 30 °C y 100 °C,

Los catalizadores que se pueden utilizar en el procedimiento según la invención se describen, por ejemplo, en los documentos de patente. EP-A-2388069 y EP-B-0885656 cuya descripción se incorpora como referencia.

Preferentemente, el catalizador comprende un primer componente a base de titanio o cromo, más preferentemente a base de titanio, y un segundo componente a base de aluminio.

#### Descripción detallada de la invención

Una buena comprensión de la invención requiere un recordatorio del funcionamiento del procedimiento de oligomerización de etileno a buteno-1 en un reactor que funciona en fase líquida en el punto de burbujeo en presencia de un catalizador homogéneo.

En una unidad industrial, una vez que la temperatura y el nivel de la fase líquida en el reactor están debidamente regulados, es importante controlar otros dos parámetros:

- La presión del reactor, que debe permanecer dentro del intervalo de diseño, de lo contrario habrá una pérdida significativa de selectividad,
- La producción de buteno-1, que debe adaptarse a las necesidades de las unidades de fabricación ubicadas aguas abajo.

En el procedimiento de control avanzado según la invención (con APC), el uso de un modelo dinámico en un controlador multivariable predictivo permite implementar la siguiente estrategia, ilustrada por la simulación dinámica de circuito cerrado a continuación:

- Control de la presión variando la cantidad de catalizadores inyectados, con acción sobre el caudal de carga para compensar los efectos de la presión sobre la conversión que afecta a la producción.
- Control de la producción por el caudal de carga, con acción sobre la cantidad de catalizador para compensar los efectos sobre la presión.
- Control de temperatura actuando sobre el caudal de líquido refrigerante que alimenta el o los intercambiadores de los circuitos de reciclaje del catalizador.

El controlador multivariable del procedimiento de control avanzado también permite, en caso de depósito de polímero en el o los intercambiadores del circuito, anticipar una reducción en la eficiencia de estos intercambiadores.

Un ejemplo de simulación según el procedimiento APC de la invención, dado aquí a modo ilustrativo, se puede resumir en los siguientes puntos (los números que aparecen en la descripción siguiente se dan con referencia a la figura 5):

- Al cambiar el punto de ajuste de la presión (1), a producción constante, el caudal de los componentes del catalizador se modifica (2) con el fin de controlar las variaciones de la presión.

Por otro lado, la modificación del caudal de carga (3) compensa el cambio de la conversión (y por tanto de la producción) generado por el nuevo punto de ajuste de la presión (4).

- Al cambiar el punto de ajuste de la producción (5), a presión constante, el caudal de carga se modifica (6) para controlar la variación en la producción, y el cambio en el caudal del catalizador (7) compensa los efectos del cambio de presión generados por el nuevo punto de ajuste de la producción (8).
- En este ejemplo, no se muestra el control de temperatura. Cualquier variación en la conversión que afecte a la

exotermicidad, y, por tanto, a la temperatura del reactor, necesita el correspondiente ajuste del caudal de agua de refrigeración.

Mediante la utilización del APC,

- La regulación del caudal de catalizador permite minimizar las perturbaciones que afectan a la presión. La presión es estable.
- El caudal de carga y la producción asociada son estables.
- La temperatura es más estable que con los sistemas de control convencionales, teniendo en cuenta la anticipación de pérdidas de eficacia del o de los intercambiadores.

En el sistema de regulación según la invención, el denominado sistema APC, se utiliza el vínculo de proporcionalidad directo que existe entre el caudal de carga de etileno y el caudal de producto de buteno-1.

#### DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE PRODUCCIÓN DE BUTENO-1

La Figura 1 muestra un esquema de bloques típico de un procedimiento para producir buteno-1 a partir de etileno.

El procedimiento comprende un reactor (C1) alimentado con una carga (1) que comprende esencialmente etileno. El reactor (C1) también se alimenta con un catalizador homogéneo en suspensión que comprende dos componentes (LC y T2) que se introducen por separado en la sección de reacción respectivamente mediante las corrientes 3 y 2.

La dimerización catalítica en fase líquida del etileno se realiza a una presión entre 0,5 y 8 MPa, preferentemente entre 1 y 4 Mpa, y una temperatura comprendida entre 20 °C y 150 °C, preferentemente entre 30 °C y 100 °C.

Al ser la reacción exotérmica, la temperatura en el reactor se regula gracias al enfriamiento de parte del efluente en el circuito que comprende un intercambiador de agua (EI), cuyo líquido refrigerante es agua.

A continuación, el efluente de la sección de reacción (4) se pone en contacto con un inhibidor de catalizador en una zona de recuperación de catalizador (CR). En el procedimiento según la invención se puede utilizar cualquier inhibidor de catalizador, en particular los descritos en la patente. FR 2.733.497. Se introduce una corriente (4) de inhibidor en la zona de recuperación del catalizador y se recupera una corriente (5) de catalizador gastado.

Se separa una solución catalítica concentrada del efluente de reacción libre de catalizador (7), y dicho efluente (7) se envía a una sección de fraccionamiento que comprende una primera columna (C2) que permite separar el etileno no convertido en la parte superior (8), que se recicla a la sección de reacción, y en el fondo el resto del efluente (10) que alimenta la segunda columna de separación (C3).

La segunda columna de fraccionamiento (C3) permite separar un corte que comprende esencialmente buteno-1 (11) que es el producto deseado de los oligómeros más pesados representados por la corriente (12).

#### DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE CONTROL AVANZADO (APC):

El procedimiento de control avanzado según la invención, en lo sucesivo denominado APC (de "Advanced Process Control" según la terminología inglesa) generalmente se puede implementar en cualquier unidad que opere en fase líquida y en el punto de burbujeo de una carga gaseosa, con un catalizador soluble en la fase líquida (catalizador homogéneo).

En el procedimiento de control avanzado según la invención, el operador define los valores de las variables objetivo, y el APC se ocupa de todas las variables de acción sin que el operador tenga que preocuparse más por ellas. Esta estrategia permite obtener una mejor estabilidad de la unidad en funcionamiento.

La configuración de los parámetros del procedimiento de control avanzado se realiza primero obteniendo datos experimentales. Estos datos experimentales provienen de una campaña de pruebas que consiste en generar variaciones en las variables de acción. Las respuestas de la unidad a las variables objetivo se procesan en un software de identificación de múltiples variables. Así se obtiene, por ejemplo, el retardo que corresponde al tiempo que transcurre entre el momento en que se manipula la variable de acción y el inicio de la respuesta de la variable objetivo, una constante de tiempo y una ganancia, que en conjunto definen la dinámica de evolución de la variable objetivo con respecto al cambio del punto de ajuste de la variable de acción.

La temperatura del reactor (T<sub>reac</sub>) se controla mediante la manipulación de controladores de caudal. Se verifica midiendo que la temperatura del fondo del reactor esté en el objetivo (o el valor del punto de ajuste).

También se controlan las temperaturas de entrada de los intercambiadores (EI) en el circuito de reciclaje del líquido que comprende el catalizador (llamado de "recirculación" en el lenguaje de los expertos en la materia) al reactor (C1).

El análisis del reciclado de la fase gaseosa permite determinar las cantidades de etileno y buteno-1 presentes.

La presión del reactor (Preac) se controla ajustando el caudal de los componentes LC y T2 del catalizador, o regulando tanto el caudal LC como la relación T2/LC.

La conversión por pasada se mantiene generalmente por debajo del 90 %, preferentemente por debajo del 87 % para limitar los riesgos de formación de polímeros.

El control de la producción se obtiene ajustando la conversión por pasada y el caudal de entrada de etileno.

Las variables de acción permiten el control simultáneo y continuo de las variables objetivo, lo que no es posible sin el uso de un APC, porque el control PID simple no funciona bien para estabilizar una variable objetivo que dependa de múltiples parámetros.

Además, el caudal del producto buteno-1 (Dprod) es proporcional al caudal entrante de carga de etileno, por lo que la manipulación de este último para controlar la presión del reactor (Preac) se opone al control del caudal del producto (Dprod). Solo el uso del control multivariable APC permite un control simultáneo y continuo de todas las variables objetivo.

## Ejemplos según la invención

Una unidad industrial para la producción de buteno-1 por oligomerización de etileno según el esquema de la figura 1 está equipada con el sistema de control avanzado según la invención con los controladores mencionados en la descripción y en la figura 1.

Al operar el reactor a 2,1 MPa y 52 °C, con el primer componente del catalizador LC2253 comercializado por la empresa AXENS y el segundo componente del catalizador TEA (TriEtilAluminio  $(C_2H_5)_3Al$ , diluido en n-hexano), la unidad produce 3,0 t/h de buteno-1. Esta relación se mantiene preferentemente entre 1,5 y 3 moles/moles, más preferentemente entre 1,9 y 2,5 moles/moles y muy preferentemente entre 2 y 2,2 moles/moles para limitar la formación de polímeros.

El controlador APC se instala en un ordenador, conectado al sistema de control del procedimiento de la unidad industrial. El ordenador recupera las señales de las variables de acción y las variables objetivo, genera los nuevos puntos de ajuste para las variables de acción y los envía al sistema de control del procedimiento.

La figura 2 muestra que el sistema de control avanzado permite regular la temperatura del fondo del reactor de forma muy eficaz con variaciones en esta temperatura de fondo 4 veces menores en presencia de control avanzado en comparación con una unidad que no tiene control avanzado.

La figura 3 muestra una regulación muy buena de la presión del reactor con una notable reducción en el intervalo de variación del valor de esta presión a lo largo del tiempo, ya que la variación alrededor del valor objetivo se reduce en un factor de 6 respecto a lo que sería con el sistema de regulación según el estado de la técnica.

La figura 4 representa la variación en el tiempo de la presión del reactor y el caudal de producción de buteno-1 en función del caudal de carga y del caudal de los dos catalizadores.

El gráfico de la derecha es según la invención, es decir con aplicación del APC, y la curva de la izquierda es según el estado de la técnica.

- Con el sistema sin regulación APC, se observa que el operador solo manipula el caudal de carga, y muy poco los caudales de los catalizadores. El caudal del catalizador 1 permanece incluso constante. debe lograr un compromiso entre el control del caudal de producción y el de la presión del reactor.

- Con el sistema de regulación APC, se puede observar que los caudales de la carga y de los dos catalizadores se manipulan simultánea y continuamente para controlar el caudal de producción y el de la presión del reactor. También se observa, y este es el punto central del sistema según la invención, que el caudal de producción y la presión del reactor se controlan efectivamente mucho mejor, es decir, cada uno se mantiene lo más cerca posible del valor del punto de ajuste.

La figura 5 muestra cómo actúan dos de las variables de acción; el caudal de carga (indicado como 3 y después como 6) y la relación entre los dos caudales de catalizador (indicado como 2 y después como 7), para efectuar un cambio en el valor del punto de ajuste de dos de las variables objetivo: caudal de producción de buteno (indicado como 5 y después como 8) y presión del reactor (indicado como 1 y después como 4).

Los dos cambios en las dos variables objetivo, concretamente la producción de buteno-1 y la presión del reactor, son tenidas en cuenta:

- por la variable de caudal de carga primero mediante un aumento muy lento (indicado como 3), y después mediante un aumento más rápido (indicado como 6),

- por la relación variable de los caudales de catalizador primero mediante una bajada de este valor (indicado como 2), y después por un aumento del valor sustancialmente al mismo nivel que el valor inicial (indicado como 7).

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de control avanzado (APC) que se puede aplicar a unidades para la oligomerización de etileno a buteno-1 que operan en un reactor en presencia de un catalizador homogéneo en fase líquida y en el punto de burbujeo, caracterizado por que los parámetros controlados simultáneamente de forma continua, denominados parámetros objetivo, son la producción de buteno-1 (Dprod), la presión del reactor (Preac) y la temperatura del reactor (Treat), y las variables de acción son el caudal de carga (Dch), el caudal de cada uno de los componentes del catalizador inyectado, concretamente T2 a base de titanio y LC a base de aluminio, y el caudal del líquido refrigerante que alimenta el o los intercambiadores del circuito o los circuitos de reciclaje del catalizador, el controlador multivariable del procedimiento de control avanzado, denominado controlador APC, que actúa de la siguiente manera:
- control de la presión del reactor (Preac) variando la cantidad de catalizador inyectado, con acción sobre el caudal de carga para compensar los efectos de la presión sobre la conversión que afecta a la producción,
  - control de la producción (Dprod) por el caudal de carga, con acción sobre la cantidad de catalizador para compensar los efectos sobre la presión,
  - control de la temperatura del reactor (Treat) actuando sobre el caudal de líquido refrigerante que alimenta el o los intercambiadores del circuito o los circuitos de reciclaje del catalizador,
- instalándose el controlador APC en un ordenador, efectuando dicho ordenador las siguientes operaciones:
- recuperación de señales de variables de acción y variables objetivo,
  - generación de nuevos puntos de ajuste de las variables de acción y,
  - envío de los nuevos puntos de ajuste al controlador APC.
2. Procedimiento de control avanzado según la reivindicación 1, en donde los caudales de los componentes del catalizador, concretamente T2 a base de titanio y LC a base de aluminio, varían libremente dentro de un intervalo tal que la relación (T2/LC) se mantiene entre 1,5 y 3 moles/moles, preferentemente entre 1,9 y 2,5 moles/moles, y muy preferentemente entre 2 y 2,2 moles/moles para limitar la formación de polímeros.
3. Procedimiento de control avanzado según la reivindicación 1, en donde:
- Al cambiar el punto de ajuste de la presión, a producción constante, el caudal de los componentes del catalizador se modifica para controlar las variaciones de presión y la modificación del caudal de carga compensa el cambio de la conversión, por lo tanto de la producción de buteno-1, generado por el nuevo punto de ajuste de la presión,
  - Al cambiar el punto de ajuste de la producción, a presión constante, se modifica el caudal de carga para controlar la variación de la producción, es decir el caudal de buteno-1, y la modificación del caudal de los dos componentes del catalizador compensa los efectos del cambio de presión generados por el nuevo punto de ajuste de la producción.
4. Procedimiento de control avanzado según la reivindicación 1, en donde la configuración de los parámetros del procedimiento de control avanzado se realiza primero obteniendo datos experimentales, proviniendo estos datos experimentales de una campaña de pruebas que consiste en generar variaciones en las variables de acción y seguir las respuestas de la unidad a las variables objetivo que se procesan en un software de identificación multivariable.
5. Aplicación del procedimiento de control avanzado según una de las reivindicaciones 1 a 4, a un proceso de oligomerización de etileno para producir buteno-1, operando en las siguientes condiciones:
- presión comprendida entre 0,5 y 8 MPa, preferentemente entre 1 y 4 Mpa,
  - temperatura comprendida entre 20 °C y 150 °C, preferentemente entre 30 °C y 100 °C.

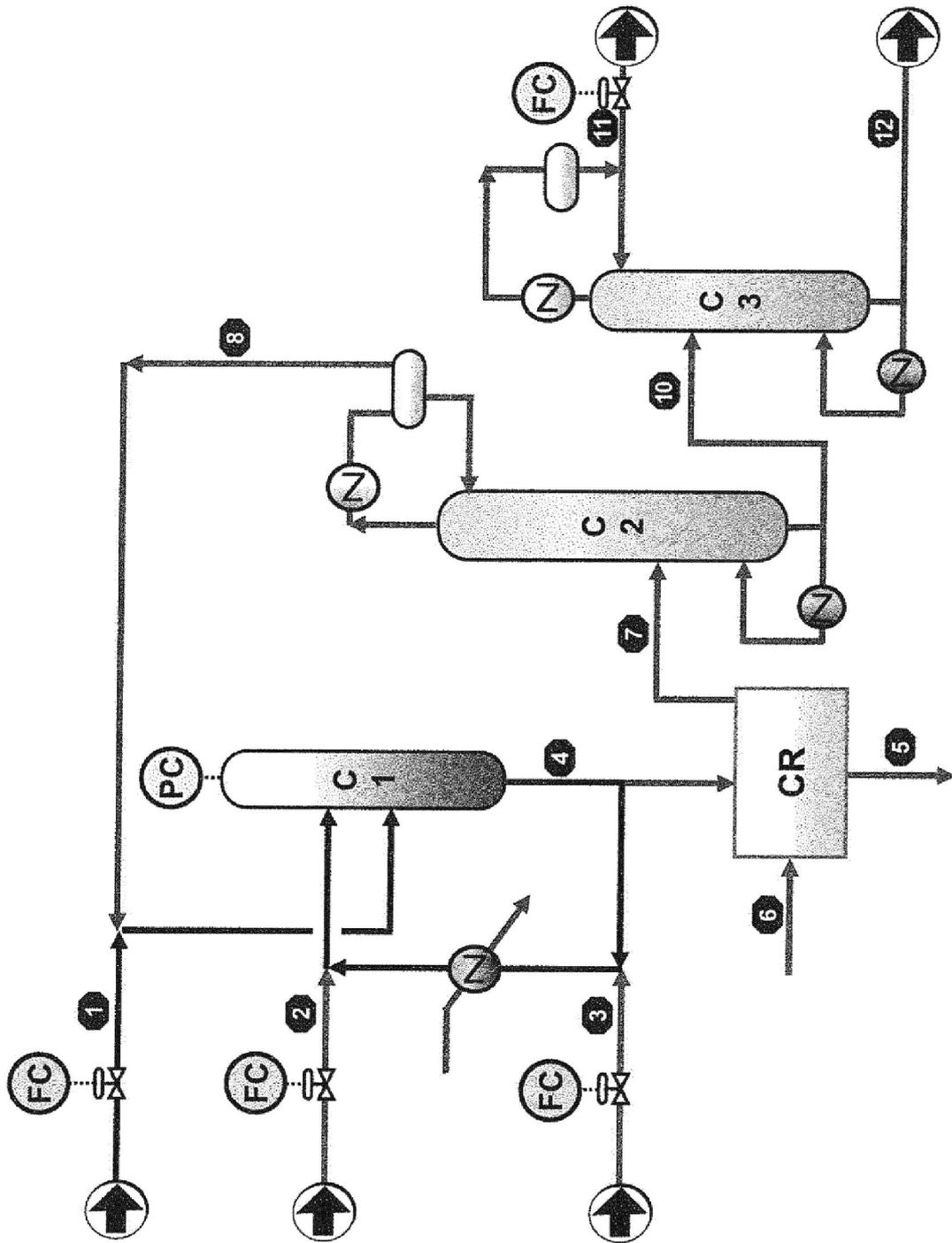


Figura 1

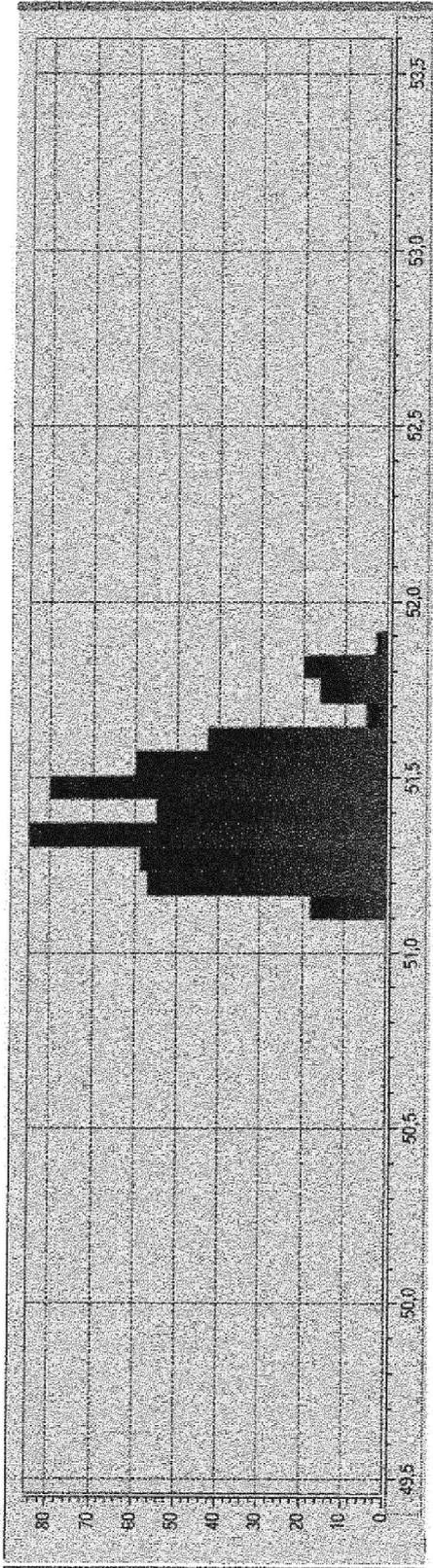


Figura 2a

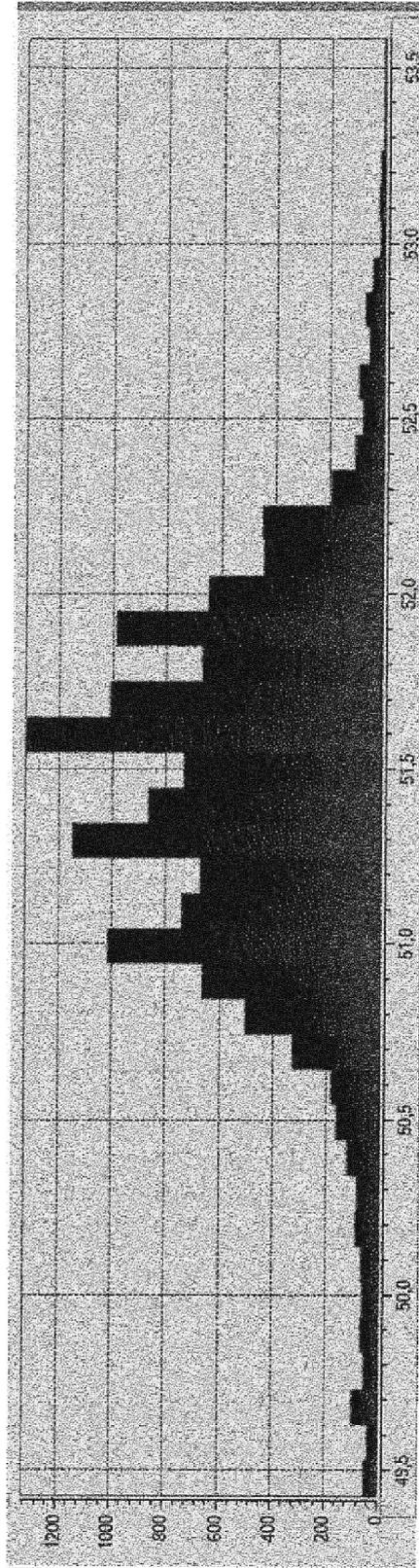


Figura 2b

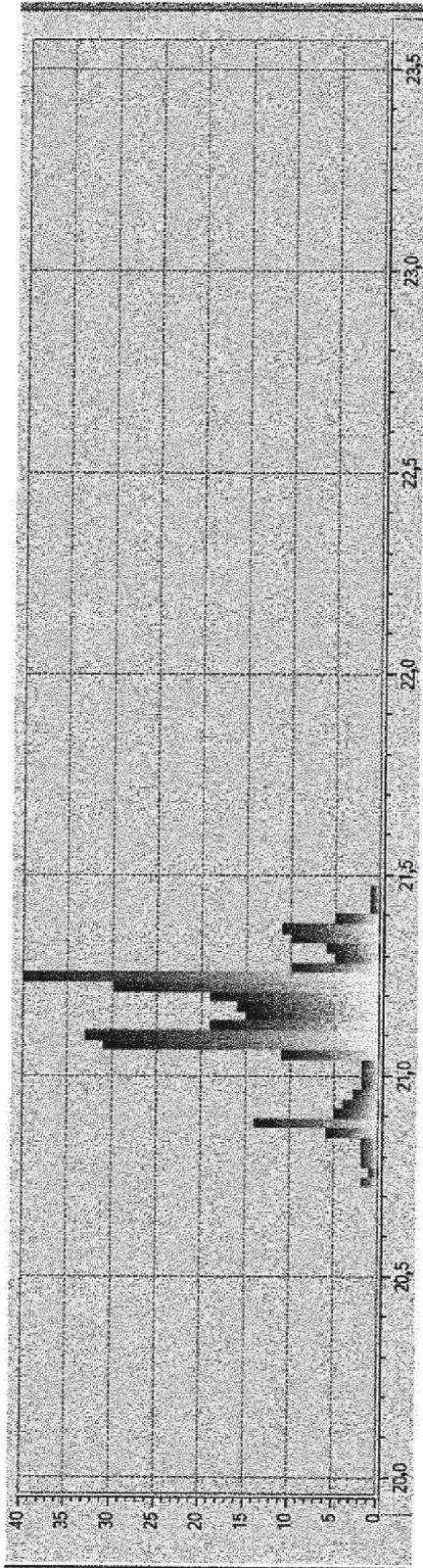


Figure 3a

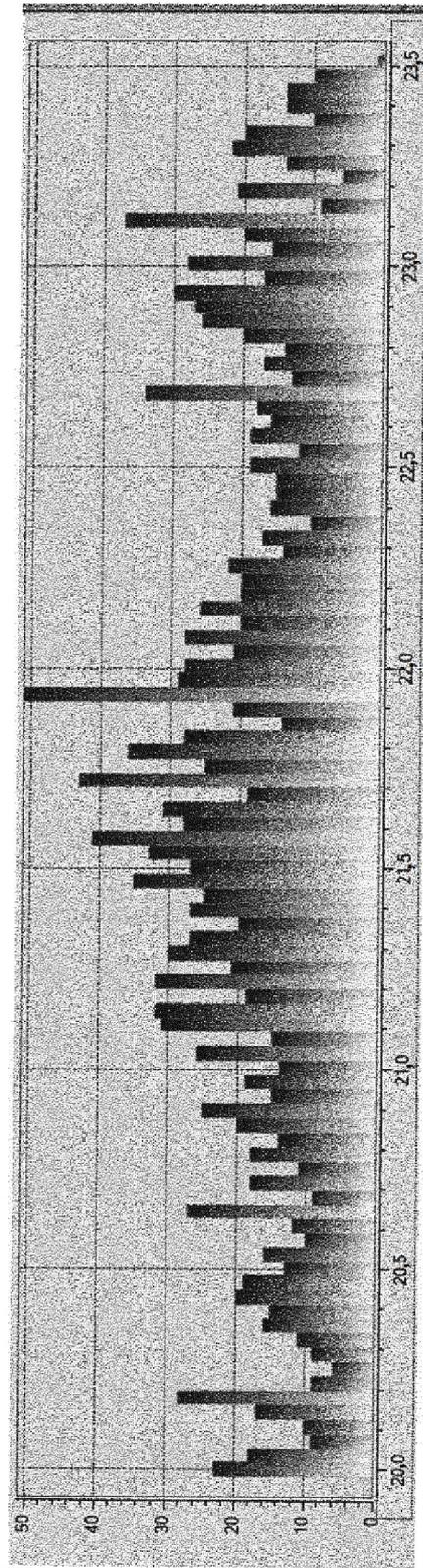


Figure 3b

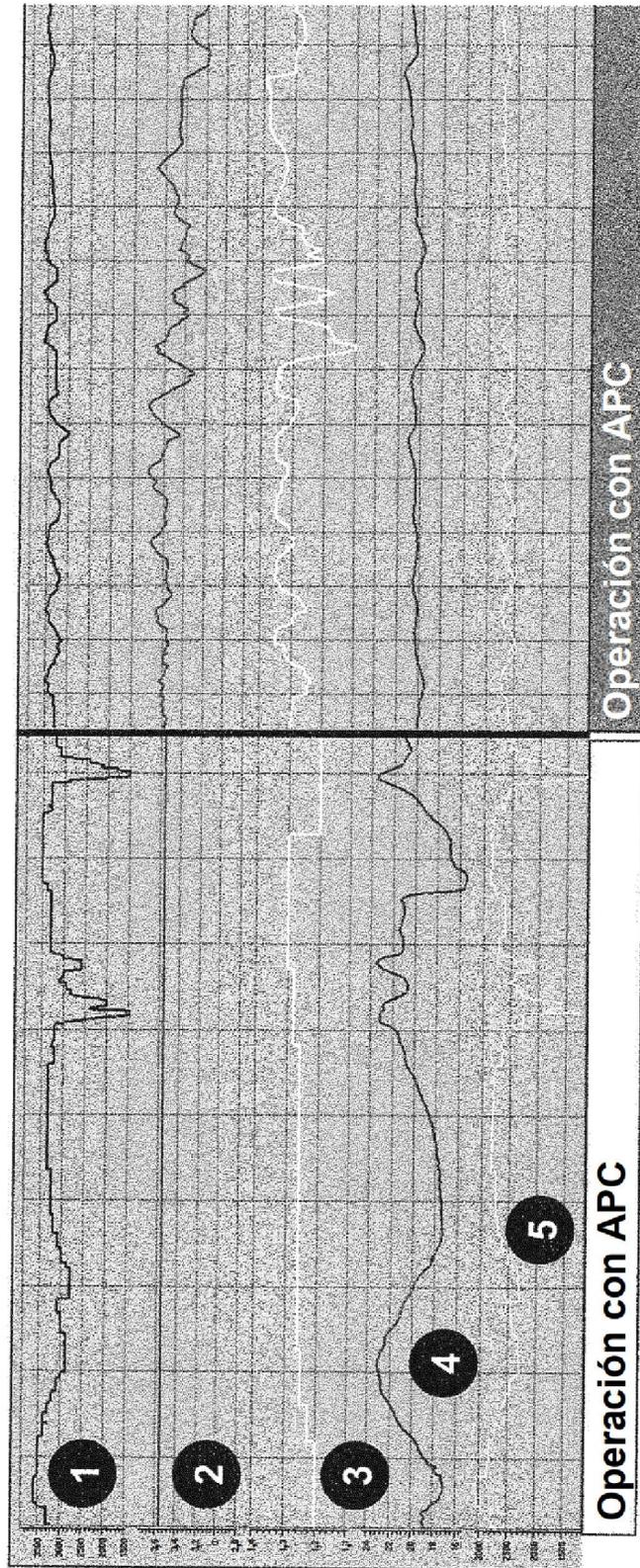


Figura 4

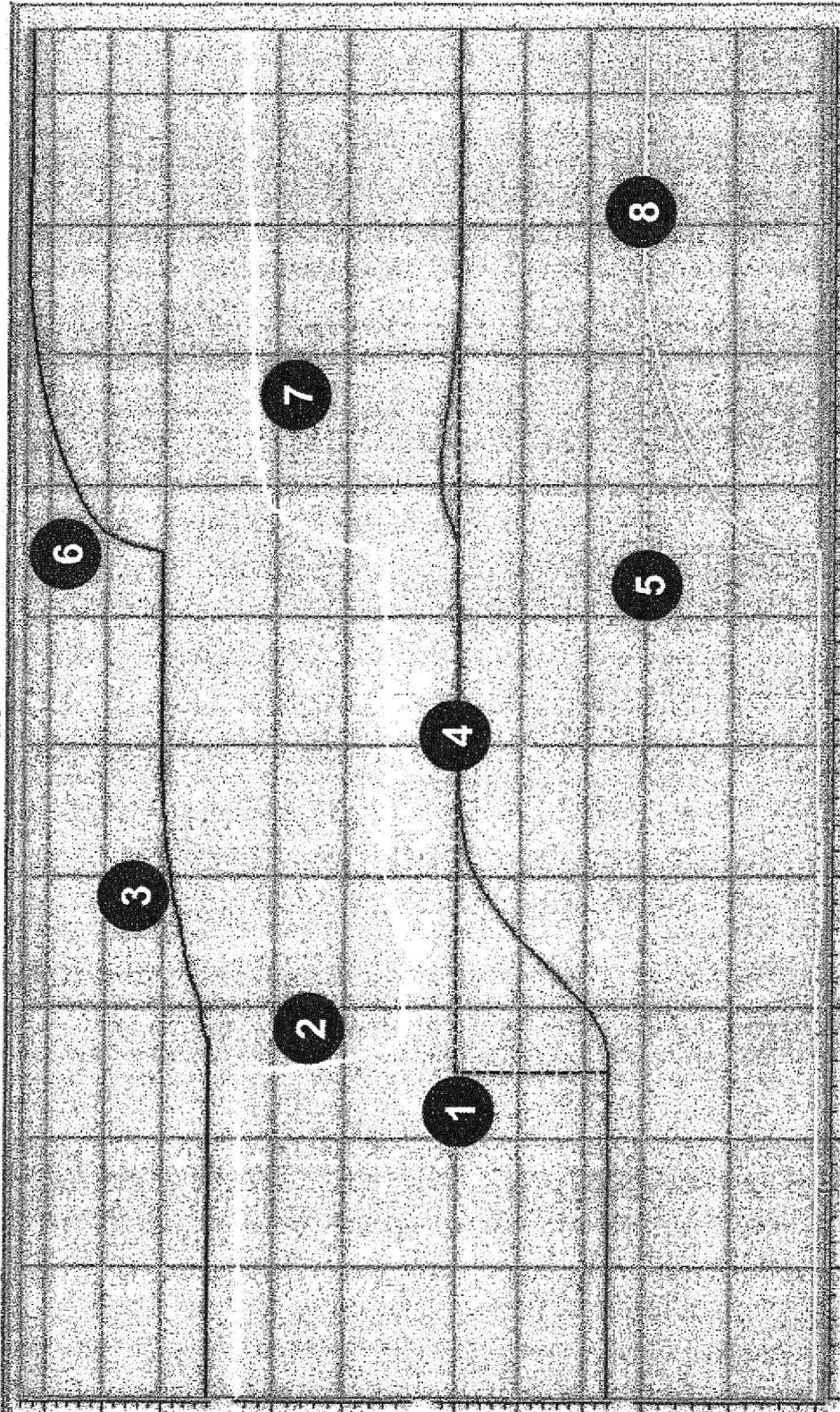


Figura 5