

XII Coloquio Venezolano de Polímeros, Universidad de Oriente, Cumana 2007

SISTEMA DE CONTROL DE LAS VARIABLES OPERACIONALES EN LA POLIMERIZACIÓN DE PROPILENO A ESCALA PILOTO

Jenny C. Campos^{1*}, Carlos E. Ortega¹, Nicolino Bracho², Charles Gutiérrez³, Haydee Oliva⁴

1) Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela. Correos Electrónicos: jennycamposv@gmail.com; ortegarcarlos@gmail.com.

2) Polipropileno de Venezuela PROPILVEN S.A.

3) Departamento Ing. Química, Escuela de Ing. Química, Universidad del Zulia. Venezuela

4) Departamento Petroquímica e Hidrocarburos, Escuela de Ing. Química, Universidad del Zulia. Venezuela

1. INTRODUCCIÓN

En la polimerización de propileno a escala industrial comúnmente se usan esquemas de reactores en serie, gran parte de la producción de polipropileno (PP) a esta escala se lleva a cabo bajo un esquema donde el primer reactor es en fase líquida [1].

A escala piloto la polimerización de propileno se realiza generalmente en reactores por carga, y se puede llevar a cabo de dos maneras: en monómero líquido o en monómero diluido en un disolvente. La principal desventaja de los reactores por carga es la variabilidad durante una carga, o de una carga a otra. La repetibilidad de los ensayos a escala piloto se facilita a través de un sistema de control de las variables operacionales del proceso [2].

En este trabajo se estudió un esquema de reacción por carga en propileno líquido y se propuso un sistema de control de la temperatura, la presión y la inyección de cantidades específicas de materia prima, con la finalidad de reproducir a escala piloto el comportamiento real del proceso industrial, y además, determinar la cinética de dicha reacción, evaluar materia prima y catalizadores.

2. METODOLOGÍA

La unidad de análisis fue un reactor por carga tipo autoclave de acero inoxidable de 5 L de capacidad, para la producción de 500 g polvo de polipropileno para la posterior evaluación de propiedades mecánicas. Las etapas de este trabajo fueron las siguientes:

Etapa I: Determinación de las variables de proceso: i) Temperatura de reacción, ii) la cantidad de materia prima inyectada al reactor (propileno e hidrógeno) y, iii) presión de reacción.

Etapa II: Diseño del esquema de control que permita regular los flujos de

XII Coloquio Venezolano de Polímeros, Universidad de Oriente, Cumana 2007

alimentación y la presión y temperatura de reacción: Este paso implica la realización del diagrama de tuberías e instrumentación (DTI), tomando en cuenta el objetivo que se desea alcanzar, las variables que serán controladas y las que serán manipuladas.

Etapa III: Selección de los instrumentos de control: i) unidad de intercambio de calor para el agua que fluye por la chaqueta del reactor, ii) bomba de vacío, iii) placas de orificio, iv) medidores de temperatura, v) medidores de presión y, vi) válvulas de control.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La unidad de análisis estudiada fue un reactor por carga escala piloto, de acero inoxidable, enchaquetado, tipo autoclave, con vaso intercambiable de 2 L/5 L, para el aumento o la disminución de la capacidad del reactor, según sea la necesidad.

Se observó que las variables críticas a ser controladas durante la polimerización son las concentraciones de la materia prima, y la temperatura de polimerización. Se determinaron las cantidades de propileno e hidrógeno que deben ser inyectadas y las capacidades de calentamiento y refrigeración necesarias. Estos valores se presentan en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1. Balance de masa.

Capacidad del reactor [V_R] (L)	2	5
Masa de propileno [$m_{C_3^=}$] (kg)	0,450	1,12
Masa de hidrógeno [m_{H_2}] (kg)	$0,0720 \cdot 10^{-3}$	$0,179 \cdot 10^{-3}$

Tabla 2. Calor a eliminar o suministrar en las etapas de la polimerización.

Capacidad del reactor [V_R] (L)	2	5
Calor a remover durante la carga del propileno [Q_0] (W)	363	349
Calor requerido para alcanzar la temperatura de reacción [Q_1] (W)	124	337
Calor de polimerización [Q_R] (W)	325	652

La cantidad de propileno que se inyecta se basa en el tipo y la potencia del agitador, y en la cantidad de polipropileno que se desea obtener. Por otro lado, la cantidad de hidrógeno

XII Coloquio Venezolano de Polímeros, Universidad de Oriente, Cumana 2007

que se inyecta viene dada por una relación molar propileno/hidrógeno tal que el polipropileno obtenido tenga un índice de fluidez igual a 10 ± 2 ($C_3^- / H_2 = 300$) [3].

El esquema propuesto (Figura 1) permite además la inyección de etileno para el caso que se quiera producir copolímeros aleatorios. La cantidad de etileno a inyectar depende de las características del copolímero que se desee obtener.

La presión del sistema debe ser regulada de manera que el propileno se mantenga líquido durante la polimerización, esto se realiza mediante la inyección de nitrógeno al reactor. Se realizaron ensayos para verificar las condiciones de operación del sistema y se observó que la caída de presión durante la polimerización era despreciable, por lo que se propone presurizar sólo al inicio de la reacción. Siguiendo las recomendaciones del método de prueba presentado por el licenciatante [3] se propone que la presión inicial de polimerización sea de $40 \text{ kg/cm}^2\text{g}$, la cual garantiza que todo el propileno permanezca en fase líquida durante el transcurso de la reacción. La inyección de nitrógeno se regula mediante la válvula PV-1931.

La inyección de propileno y/o etileno (en caso de producción de copolímeros) se regula mediante la válvula FV-1911 y el flujo es contabilizado mediante una placa de orificio integrada (FE-1911), con lo que se garantiza el paso de la cantidad requerida. Se utiliza un control por retroalimentación para la inyección de hidrógeno, mediante la válvula PV-1921. La cantidad de hidrógeno adicionada es medida en función de la diferencia de presión del cilindro de hidrógeno.

En el control de temperatura del LE-1901 (o control de la temperatura de polimerización) se tienen tres variables: la temperatura y el caudal del agua de enfriamiento, y la temperatura de la mezcla reaccionante. Esta última variable representa en sí misma el objetivo de control, por lo que se hace evidente que ésta debe ser la variable controlada.

Las otras dos variables (temperatura y caudal del agua) pueden ser variables manipuladas, y manipular una o la otra implicaría un esquema de control diferente:

Variable manipulada: Temperatura del agua. Manipular la temperatura del agua implicaría un flujo constante de la misma a través de la chaqueta del reactor, por lo que no se necesitaría la válvula de control TV-1901 (la cual regula el flujo de agua que sale de la chaqueta del reactor), pero se necesitaría una segunda determinación de la temperatura en la línea de alimentación de agua a la camisa de refrigeración del LE-1901, obteniéndose un control tipo cascada. Además, un aumento o descenso en la temperatura del reactor requeriría

XII Coloquio Venezolano de Polímeros, Universidad de Oriente, Cumana 2007

que el E-1901 (intercambiador de calor), enfriará o calentará el agua que se encuentra en recirculación para que ésta pueda suministrar o eliminar calor al reactor y, por consiguiente, aumentar o disminuir la temperatura del mismo. Este proceso es lento, lo que conlleva a un tiempo de respuesta alto y la variable controlada tenderá a salirse de su punto de control por largos períodos de tiempo.

Variable manipulada: Flujo del agua. Manipular el flujo de agua implica que la temperatura de la misma debe ser constante, lo que se logra por medio del E-1901. En este caso el control es en retroalimentación, usando mediciones directas de la temperatura del reactor (variable controlada), para ajustar el flujo de agua que pasa a través de la chaqueta (variable manipulada) mediante la TV-1901. El tiempo de respuesta con este esquema es mucho menor que en el caso anterior, ya que si hay un aumento de temperatura en el reactor la TV-1901 abrirá cierto porcentaje, permitiendo que mayor cantidad de agua entre a la chaqueta y por lo tanto, aumentando la remoción de calor. Por el contrario, un descenso en la temperatura de polimerización provocaría que la TV-1901 cerrara cierto porcentaje, reduciendo el flujo de agua y disminuyendo la eliminación de calor.

En este trabajo se propone un esquema de control en el cual la variable manipulada es el flujo de agua que sale de la camisa de refrigeración del reactor. Como se explicó, este esquema presenta un tiempo de respuesta menor y un mejor control sobre la temperatura de reacción.

4. CONCLUSIONES

El esquema de control propuesto garantiza la alimentación de cantidades específicas de materia prima a través de un control por retroalimentación para regular la inyección de propileno y/o etileno, e hidrógeno. El control de la inyección de propileno es automático debido a la complejidad del proceso de carga, mientras que el etileno, hidrógeno y nitrógeno se cargan de manera manual. Se propone un esquema en retroalimentación automática para la regulación de la temperatura del reactor y un control por retroalimentación manual para regular la presión. Todos los esquemas de control diseñados y propuestos se presentan en la Figura 1.

Agradecimientos. Gracias al Prof. *Javier Bastidas*, por ayudarnos en la realización de este trabajo, al Ing. *Nicolino Bracho*, por ser un gran tutor, a *Carlos Ruiz, William López* y a

XII Coloquio Venezolano de Polímeros, Universidad de Oriente, Cumana 2007

los analistas del laboratorio por su disposición a ayudarnos en todo momento.

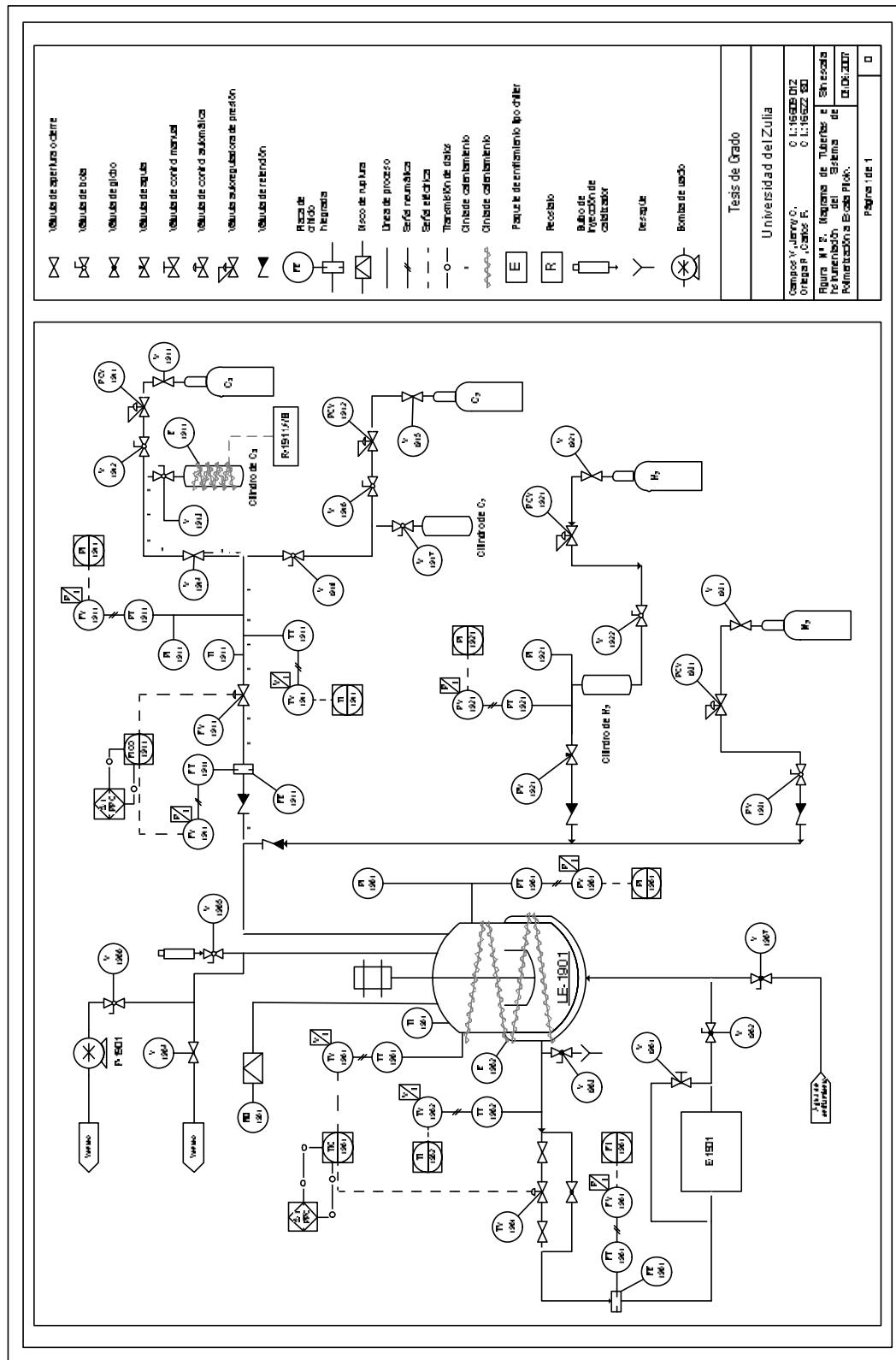


Figura 1. Esquema de Control del sistema de polimerización a escala piloto.

XII Coloquio Venezolano de Polímeros, Universidad de Oriente, Cumana 2007

BIBLIOGRAFÍA

1. Pater JTM, Weickert G, van Swaaij WPM, *Ch. Eng. Sci.*, **57**, 3461 (2002)
2. Richards JR, Congalidis JP, *Comp. & Ch. Eng.*, **30**, 1447 (2006)
3. Licenciatante, Ltd. MPC Testing Method. N° CCM-PP-404. 1984