

EVALUACIÓN DEL ARRASTRE DE PARTICULAS DE POLIMERO DEL PRIMER REACTOR DE POLIMERIZACIÓN EN PROPILVEN

Jean M. Bermúdez^{1*}, Nicolino Bracho², José Rincón³

1: Investigación y Desarrollo, C.A., Complejo Petroquímico Ana María Campos, Venezuela

2: Polipropileno de Venezuela, S.A., Complejo Petroquímico Ana María Campos, Venezuela

3: La Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela

* e-mail: jeanbermudez@gmail.com

RESUMEN

Se ha desarrollado un modelo de dinámica de flujo computacional del primer reactor en fase líquida en una planta de producción de polipropileno con la finalidad de estudiar el arrastre de partículas de polímero desde el reactor hacia los equipos aguas abajo del mismo que han presentando problemas de ensuciamiento. Los resultados indican que la energía cinética disponible permite el arrastre de partículas por debajo de 60 μm , correspondientes a las partículas de prepolímero. La calibración del instrumento de nivel del reactor de polimerización, para garantizar la entrada de prepolímero en la fase líquida del reactor, ha disminuido apreciablemente el ensuciamiento de dichos equipos.

Palabras Claves: Reactor de polimerización, Arrastre de partículas, Ensuciamiento, Dinámica de Fluidos Computacional.

EVALUATION OF ENTRAINMENT OF POLYMER PARTICLES IN THE FIRST POLYMERIZATION REACTOR IN PROPILVEN

ABSTRACT

A computational fluid dynamics model has been developed to study the entrainment of polymer particles from the first polymerization reactor in a polypropylene plant, to downstream equipment which have presented fouling issues. The results indicate that kinetic energy available enable entrainment of particles with diameters below to 60 μm , this diameter corresponds to pre-polymers particles. The calibration of level instrumentation in the polymerization reactor, to ensure the entry of pre-polymers fluid into the liquid phase instead of the vapor phase, has notably reduced fouling in downstream equipment.

Keywords: Polymerization Reactor, Particle Entrainment, Fouling, Computational Fluid Dynamics.

1. INTRODUCCIÓN

La polimerización de propileno se lleva a cabo en reactores en fase líquida. El calor de reacción generado durante la polimerización en fase líquida se remueve mediante un sistema de reflujo evaporación-condensación. El soplador de gas de circulación envía gas de reciclaje a través del reactor, el cual es luego enfriado en el condensador del primer reactor. El propileno líquido condensado es devuelto al reactor. Adicionalmente, el reactor posee un sistema de enfriamiento de chaqueta para la remoción de calor [1].

Desde el año 2011 se ha incrementado la frecuencia de ensuciamiento del condensador del primer reactor encontrándose, durante su intervención, parcialmente obstruido con material polimérico lo que ha incidido sobre la eficiencia de enfriamiento del sistema. Es por ello que se planteó realizar un estudio, mediante el uso de dinámica de fluidos computacional (CFD, por sus siglas en inglés), para determinar el posible arrastre de partículas de polímero desde el primer reactor hasta el condensador asociado al mismo que puede estar causando el ensuciamiento.

Para el análisis en CFD del arrastre de partículas del reactor de polimerización se consideró únicamente la sección superior del mismo, es decir, la sección del reactor sobre la superficie libre, justo por encima del nivel

del líquido. Asimismo, fue necesario el manejo de dos fases, una fase continua, que representa el gas que sale desde la superficie de la lechada al tope del reactor, y una fase dispersa, que representa las partículas que pueden ser arrastradas desde la superficie de la lechada. Este modelo permitió determinar la trayectoria de las partículas que eventualmente pudieran abandonar la superficie del reactor de polimerización hacia el condensador.

2. DESARROLLO DEL MODELO CFD

2.1 Desarrollo de la geometría.

El estudio de la hidrodinámica del fluido en el primer reactor a través de un modelo CFD requiere, en primer lugar, el desarrollo de la geometría que permita la representación del sistema real que se va a estudiar utilizando un diseño asistido por computador (CAD, por sus siglas en inglés). La Figura 1 muestra el detalle de la geometría elaborada donde se pueden apreciar las boquillas de salida del gas en la parte superior, así como los elementos internos presentes en esta sección del reactor.

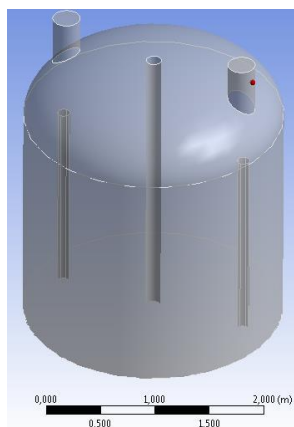


Figura 1. Geometría de la sección superior del reactor de polimerización.

2.2 Obtención y mallado del dominio computacional

Para el modelado de las trayectorias de las partículas que eventualmente pudieran abandonar el reactor de polimerización, se seleccionó como dominio computacional la sección que contempla el espacio que se encuentra sobre el nivel de líquido.

El dominio obtenido fue sometido a un proceso de discretización, que consiste en la división del mismo en pequeños elementos que conforman una malla. El número de nodos y elementos que resultan del estudio de la malla son 181.937 y 740.946 respectivamente, empleándose elementos tipo cuña en las paredes como se visualiza en la Figura 2. El estudio de la malla consistió en un refinamiento sucesivo hasta encontrar que los parámetros de control (ortogonalidad y oblicuidad en las celdas) estuvieran dentro de los rangos recomendados.

2.3 Establecimiento de las propiedades físicas del fluido, parámetros del modelo y condiciones de borde.

La sección superior del reactor presenta un único dominio con dos fases: la fase continua, que representa el gas que sale desde la superficie de la lechada al tope del reactor, y la fase dispersa, que representa las partículas que pueden ser arrastradas desde la superficie de la lechada. Las propiedades de cada una de las fases fueron tomadas del balance por diseño de la planta [1], y se muestran en la Tabla 1.

Para el estudio de las trayectorias de las partículas que eventualmente pudiesen abandonar el reactor de polimerización se consideró una distribución de tamaño de partícula del polímero entre 10 y 100 μm .

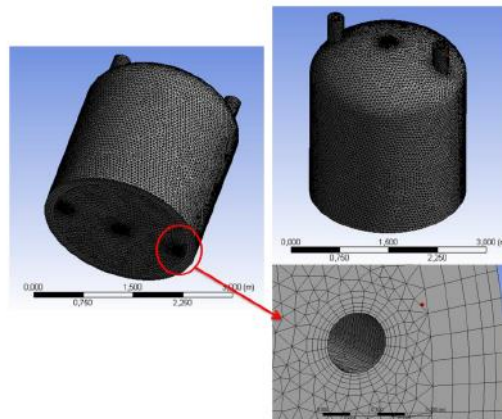


Figura 2. Discretización del dominio computacional.

Tabla 1. Propiedades físicas de las fases.

Fase	Propiedad	Valor
Continua (Gas)	Peso Molecular	41,42 kg/kmol
	Densidad	71,83 kg/m ³
	Calor Específico	2669,05 J/kg-K
	Viscosidad	0,0123 cp
	Conductividad Térmica	0,0242 kcal/h-m-K
Dispersa (Sólido)	Densidad	934 kg/m ³

El campo del flujo del fluido fue modelado matemáticamente mediante las ecuaciones de conservación de la masa y momento conocidas como ecuaciones de Navier Stokes [2]. Estas pueden ser escritas como:

$$\frac{\partial \rho_f}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_f U_f) = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial (\rho_f U_f)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_f U_f \times U_f) = -\nabla P + \nabla \tau + SM \tag{2}$$

Donde ρ_f es la densidad del fluido, U_f la velocidad del fluido, P la presión, t el tiempo, SM otras fuerzas superficiales y de cuerpo aplicables, τ el tensor de esfuerzos de Reynolds.

Adicionalmente se incorporaron los esfuerzos turbulentos que pueden expresarse como función de la viscosidad efectiva mediante:

$$\nabla \tau = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu_{eff} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right) \tag{3}$$

Donde la viscosidad efectiva (μ_{eff}) es la suma de la viscosidad del fluido más la viscosidad turbulenta:

$$\mu_{eff} = \mu_f + \mu_t \tag{4}$$

Y a su vez, la viscosidad turbulenta es función de la energía cinética turbulenta y la disipación según el modelo Kappa – Epsilon ($k - \epsilon$):

$$\mu_t = C_{\mu} \rho_f \frac{k^2}{\epsilon} \quad (5)$$

Las condiciones de bordes impuestas son de flujo másico conocido a la entrada y salida del reactor. También se especificaron condiciones de pared sin deslizamiento, así como una condición sin deslizamiento en el eje rotatorio presente en la parte interna del reactor.

El modelo resuelve únicamente el campo de flujo, incluyendo los efectos gravitacionales y de flotación por diferencia de densidad, bajo la modalidad de una vía. Las interacciones de tipo energética y/o química en el proceso no fueron consideradas en el alcance de este estudio. Finalmente, la fuerza de arrastre se estimó con una correlación apropiada para interacciones gas-sólido, correspondiente a la fase dispersa estudiada.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Análisis de los resultados obtenidos por el modelo.

En la Figura 3 se muestra el resultado obtenido del arrastre de partículas sólidas. La energía cinética disponible permite el transporte ascendente de partículas sólidas con diámetros inferiores a 60 μm . De modo que el modelo predice un arrastre mecánico de lechada o partículas de polímero sólo para diámetros bastante pequeños, por lo que no es posible que exista arrastre de partículas de polímero cuyo diámetro en promedio es superior a 100 μm .

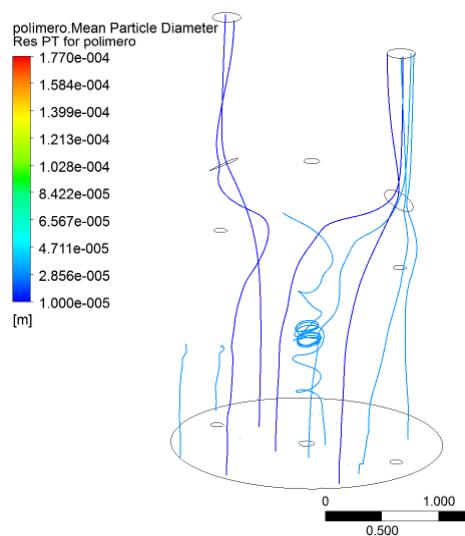


Figura 3. Patrón de movimiento de las partículas sólidas en la Fase Dispersa.

Sin embargo, las partículas de prepolímero que entran al reactor sí pueden ser arrastradas, ya que poseen diámetros en promedio menores a 100 μm . En la Figura 4 se observa la distribución del tamaño de partículas de una muestra de prepolímero, obtenida mediante la técnica de difracción de luz laser, donde se evidencia que alrededor del 20% de las partículas poseen diámetros por debajo de 60 μm . De existir la inyección de la corriente de prepolímero sobre la fase gaseosa del reactor, y no en la fase líquida como está previsto por diseño, puede ocurrir atomización del líquido, generando partículas con diámetros muy pequeños propensas al arrastre. Se presume que dichas partículas, al contener catalizador activo, pueden iniciar una polimerización a pequeña escala dentro del condensador, el cual se encuentra a temperaturas cercanas a las de polimerización, aumentando su velocidad de ensuciamiento. No obstante, este fenómeno no puede ser capturado por el modelo desarrollado por ser de un campo o de escala mayor.

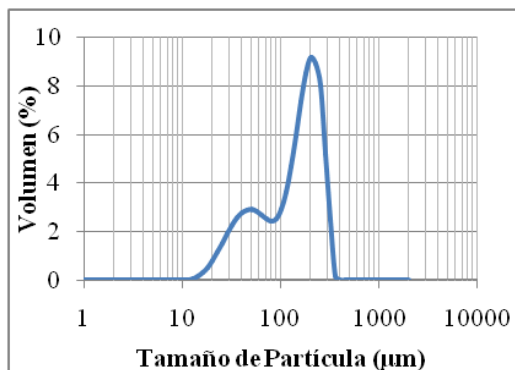


Figura 3. Patrón de movimiento de las partículas sólidas en la Fase Dispersa.

3.2 Acciones implementadas en planta.

Considerando que en la fase líquida del reactor no existe posibilidad de formación de partículas de polímero por debajo de 60 micras, se planteó que las partículas que estaban siendo arrastradas provenían de la alimentación del prepolímero. Es por ello que se realizó una verificación y calibración de los medidores de nivel asociados al reactor de polimerización en fase líquida, con el fin de garantizar que la alimentación de prepolímero esté ocurriendo en la fase líquida del reactor y no en la fase gas.

Siguiendo las indicaciones del Manual de Arranque de la planta, se lograron identificar desviaciones importantes entre el valor real del nivel y el valor reportado en el sistema de control de la planta. Se realizaron los ajustes necesarios a los medidores de nivel durante la puesta en marcha de la planta, de forma tal que el volumen de trabajo del reactor coincida siempre con la indicación de nivel.

La calibración de los instrumentos de nivel del reactor conllevó a una mejoría en el desempeño del mismo, evidenciándose en diferentes variables de proceso, como es posible apreciar en la Figura 4, en donde se evidencia que los valores de las temperaturas asociadas al reactor pasan de una condición muy inestable a una condición estable después de la calibración.

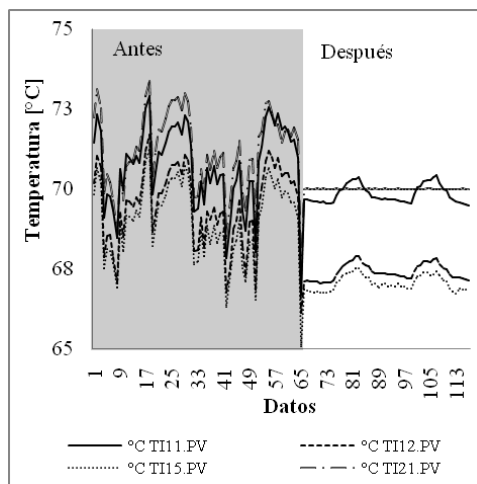


Figura 4. Temperaturas asociadas al primer reactor, antes y después de la calibración.

La diferencia entre el valor de nivel medido por el instrumento y el valor real dentro del reactor, pudo causar que el prepolímero estuviera entrando en la fase gaseosa del reactor ocasionando los problemas asociados al ensuciamiento de los equipos aguas abajo (condensador y separador). Inspecciones en planta por parte del personal de procesos de la planta confirman una disminución sustancial del ensuciamiento en los equipos aguas abajo, una vez implementada la calibración de los instrumentos de nivel.

4. CONCLUSIONES

Se descarta el arrastre de partículas de polímero aguas abajo del primer reactor de polimerización. Sin embargo, desde el punto de vista teórico existe una gran probabilidad de arrastre de las partículas de prepolímero. Las partículas de prepolímero poseen catalizador activo que puede causar una reacción de polimerización dentro del condensador del primer reactor causando su ensuciamiento.

Se inspeccionó el correcto funcionamiento del medidor de nivel del primer reactor de polimerización, mediante un procedimiento de calibración del mismo, con el fin de corroborar que la inyección del prepolímero se encuentre en la fase líquida, en lugar de la fase gas, donde puede ocurrir el fenómeno de atomización.

Una vez realizado este procedimiento, se observó una disminución significativa del ensuciamiento de los equipos aguas abajo del reactor de polimerización, lo que indica que el fenómeno de arrastre de las partículas de prepolímero no se presenta cuando el nivel del líquido del reactor se encuentra dentro del rango de operación.

5. REFERENCIAS

- [1]. Mitsui Chemicals, Inc., VPP Expansion Project, Polypropylene Plant, 2009.
- [2]. S.V.Patankar, Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Washington, DC, 1980.