

# XXXII Encuentro Nacional y 1<sup>er</sup> Congreso Internacional AMIDIQ

3 al 6 de Mayo de 2011, Riviera Maya, Quintana Roo

---

## ANÁLISIS DE LAS ESTRATEGIAS DE CONTROL DE LA SECCIÓN DE DESPROPANIZACIÓN EN LA PLANTA PETROQUÍMICA “JOSÉ MARÍA MORELOS Y PAVÓN” DE PEMEX

### ANALYSIS OF CONTROL STRATEGIES OF THE SECTION OF DEPROPANIZATION AT THE PETROCHEMICAL PLANT “JOSÉ MARÍA MORELOS Y PAVÓN” OF PEMEX

Edwin Badillo Chávez<sup>1</sup>, Yolanda León Castelazo<sup>1</sup>, César A. González Ramírez<sup>2\*</sup> y Leonardo V. Amador Mata<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, Instituto Tecnológico de Pachuca*

*Pachuca, Hidalgo, 42080 México. Email: raulbach\_13@hotmail.com; yleonc@hotmail.com*

<sup>2</sup>*Área Académica de Química, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Mineral de la Reforma, Hidalgo, 42184 México. Email: ccr\_gonzalez@yahoo.com*

<sup>3</sup>*PEMEX Petroquímica, Gerencia Técnica del Complejo Petroquímico “José María Morelos y Pavón” Ejido Pajaritos S/N, Allende Sin Referencia, Coatzacoalcos, Veracruz. Email: leonardo.vladimir.amador@pemex.com*

#### Resumen

El control de la remoción de propano vía destilación, que se lleva cabo en la sección despropanizadora de una planta petroquímica, es un proceso complejo que involucra diversas variables de operación que influyen sobre la eficiencia de la separación. El comportamiento general de estas variables es altamente no-lineal y, por lo tanto, existe un amplio rango de variabilidad en las especificaciones de calidad con las que se obtienen los productos del proceso. En esta investigación se presenta el análisis de las variables y las condiciones de operación, que son controlables durante el proceso de despropanización realizado en el complejo petroquímico “José María Morelos y Pavón” de PEMEX, ubicado en Coatzacoalcos, Veracruz. Este análisis, que incluye la evaluación de perturbaciones identificadas en el proceso, permite plantear estrategias de control que reduzcan los rangos de variabilidad en las especificaciones de calidad del producto, además de servir para mantener un registro de datos útiles para el diseño de sistemas heurísticos de control, basados en observaciones objetivas y exactas del proceso. El presente estudio se realizó usando los simuladores ASPEN 11.1®, para calcular las características de diseño de los equipos y condiciones estacionarias del proceso, y HYSYS®, para analizar condiciones dinámicas y las perturbaciones; con estos resultados es posible diseñar los algoritmos de control y evaluar las estrategias aplicables para reducir el rango de variabilidad en las especificaciones de calidad del producto.

#### Abstract

The control of propane removal by distillation, that takes part at the depropanizing section of a petrochemical plant, is a complex process involving diverse operational variables having influence on the efficiency of the separation. The general behavior of these variables is highly non-linear, therefore, there exists a wide range of variability of the quality specifications with which the process products are obtained. In this research, it is shown an analysis of operational conditions and variables, which are controllable during the depropanization carried out in the petrochemical complex “José Maria Morelos y Pavon”, located at Coatzacoalcos, Veracruz. This analysis, including the assessment of perturbations identified over the process, allows proposing control strategies in order to reduce the variability range of quality specifications for the product, and also is useful for maintaining a data collection system for designing heuristic control systems, based upon objective and accurate observations from the process. This study was performed using ASPEN 11.1® software, for calculating the characteristics of design of equipment and the stationary conditions of the process, and HYSYS®, for analyzing dynamic conditions and perturbations; with these results it is possible to design control algorithms and to assess applicable control strategies for reducing the variability range of quality specifications of the product.

# XXXII Encuentro Nacional y 1<sup>er</sup> Congreso Internacional AMIDIQ

3 al 6 de Mayo de 2011, Riviera Maya, Quintana Roo

---

## INTRODUCCIÓN

La destilación es la técnica de separación más frecuentemente usada en las industrias químicas y petroleras. El control de esta operación unitaria es vital para la operación segura y eficiente de muchas plantas. Los procesos de separación alcanzan sus objetivos mediante la creación de dos o más zonas que coexisten y que tienen diferencias de temperatura, presión, composición y fase. Cada especie molecular de la mezcla que se vaya a separar, reaccionará de modo único ante los diversos ambientes presentes en esas zonas. En consecuencia, cada especie establecerá una concentración diferente en cada zona y esto da como resultado una separación entre las especies [Correa, 2008].

La destilación, como medio de separación de una mezcla de gas natural y butano, es un proceso común en un gran número de refinerías, ya que la separación de esta mezcla es de beneficio en los procesos subsecuentes, en los que las corrientes de salida son enviadas para la obtención de diversos productos [Porfirio, 2001].

La despropanizadora es una columna de destilación, mediante la cual se consigue la separación de dos productos, por el domo se obtiene propano líquido y por el fondo de la columna se retira, como producto, el butano líquido. El producto propano que sale del domo de la columna se encuentra contaminado con trazas de etano-etileno (C2) y n-butano e isobutano (C4). El producto que se extrae por el fondo de la columna es una mezcla de los isómeros del butano. Una torre despropanizadora está diseñada para producir propano con una pureza de 98%, si esta pureza se ve afectada entonces el producto sale fuera de especificaciones [Porfirio, 2001].

Las columnas de destilación son unidades bastante complejas, tienen varias entradas y salidas de modo que pueden presentar serios problemas de control. Sus dinámicas son una mezcla de cambios muy rápidos en los flujos de vapor, cambios moderadamente rápidos en los flujos de líquido, cambios lentos en las temperaturas y cambios muy lentos en las composiciones. Frecuentemente, las variables manipuladas tienen restricciones por los límites de inundación de la columna o las limitaciones de los intercambiadores de calor.

La despropanizadora es una columna final de fraccionamiento de la que se obtienen productos comerciales, tanto por el lado del domo como por los fondos, por lo que las exigencias de calidad y de optimización de costos en este tipo de columnas son muy estrictas.

Este proyecto propone el estudio del comportamiento de la sección de despropanizadoras del Complejo Petroquímico “José María Morelos y Pavón” de la Sección Petroquímica de la compañía Petróleos Mexicanos (PEMEX). El proyecto se enfoca a la simulación dinámica y análisis de perturbaciones en el proceso, además del planteamiento de estrategias de control que reduzcan los rangos de variabilidad en las especificaciones de calidad del producto. Una vez realizado el análisis se propone mantener un registro de datos útiles para el diseño de sistemas heurísticos de control, basados en observaciones objetivas y exactas del proceso.

## METODOLOGÍA

Primero se establecieron las bases del diseño, a partir de información bibliográfica y de las especificaciones de la planta. Posteriormente, se realizaron simulaciones computacionales del proceso de despropanización, tanto en estado estacionario como en estado dinámico. La simulación y el análisis de la columna despropanizadora, se realizaron inicialmente con datos típicos y posteriormente con datos operativos. A continuación, se simuló un plan de movimientos combinados en las variables del proceso con el objeto de determinar las relaciones entre ellas, visualizar perturbaciones y plantear estrategias de control que reduzcan los rangos de variabilidad en las especificaciones de calidad del producto.

Los resultados de la simulación permitirán clasificar los datos para establecer categorías precisas que se adecuen al propósito del estudio. Además, mediante el análisis de la simulación es posible realizar observaciones

# XXXII Encuentro Nacional y 1<sup>er</sup> Congreso Internacional AMIDIQ

3 al 6 de Mayo de 2011, Riviera Maya, Quintana Roo

objetivas y exactas para describir los datos obtenidos en términos cuantitativos que sirvan para mejorar el control de la columna despropanizadora.

Finalmente, el estudio teórico de la implementación de una o varias estrategias de control, en la sección de despropanizadoras del Complejo Petroquímico “José María Morelos y Pavón”, servirá para evaluar teóricamente el control del proceso que se lleva a cabo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se analizó en HYSYS®, una columna de destilación de purificación de propano, usando especificaciones típicas del proceso que fueron utilizadas en el diseño y construcción de la simulación. El flujo en la corriente de alimentación es de 120 lbmol/h y tiene una composición de: Propano (30% molar); n-Butano (30% molar) e Isobutano (40% molar), la cual entra a la columna con una presión 200.6 psia y con una temperatura de 90°F. Previamente, sale esta corriente de la válvula “V1” que le provocó una caída de presión de 20 psia, adquiriendo de esta forma el valor de presión con el que entra a la columna. La columna tiene 30 platos y la corriente de alimentación se introduce en el plato número 15.

En el destilado se requiere una pureza de 98% molar de propano, la cual se especifica en la simulación y, de la misma manera, se especifica una composición residual de 1% molar de propano en los fondos. La razón de reflujo de diseño es de 3.22.

Se simuló un condensador total con una presión seleccionada de 195 psia, esto debido a que la presión de vapor del propano a 110°F es poco mayor de 195 psia. La presión de la base se calculó suponiendo una caída de presión de 5 pulgadas de líquido en la columna y resultó ser  $P_{base}=197.9$  psia, tomando en cuenta la densidad de este sistema de hidrocarburos que es de 33.5 lb/ft<sup>3</sup>. La columna de destilación es de 1.65 ft de diámetro y las 30 etapas son de platos perforados. El condensador tiene una capacidad para 40.60ft<sup>3</sup>, incluyendo un porcentaje de volumen de líquido del 50%. El reboiler tiene una capacidad de 91.29ft<sup>3</sup> y, de la misma manera, tiene un porcentaje de nivel de líquido del 50%.

Tabla 1. Datos iniciales de la simulación.

<b>Componentes</b>	Propano, n-Butano e Isobutano
<b>Paquete Fluido</b>	Peng Robinson
<b>Unidades</b>	Field

Tabla 2. Datos de los componentes puros considerados

Componente	Símbolo	Formula	Punto de ebullición (°C)	Masa molecular (g/mol)
Propano	C3	C3H8	-42.1	44.00
n-Butano	n-C4	C4H10	-11.7	58.08
Isobutano	i-C4	C4H10	-0.5	58.08

Ahora se describen las corrientes obtenidas en la simulación en estado estacionario.

# XXXII Encuentro Nacional y 1<sup>er</sup> Congreso Internacional AMIDIQ

3 al 6 de Mayo de 2011, Riviera Maya, Quintana Roo

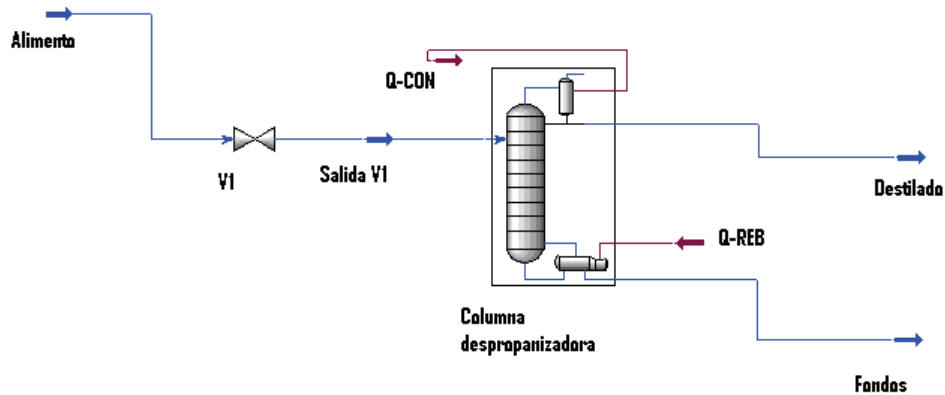


Figura. 1. Columna de despropanización en estado estacionario.

Tabla 3. Descripción de cada una de las corrientes en el proceso.

Corriente	Unidades	Alimento	Salida V1	To condensador	Reflujo	Destilado	Fondos	To reboiler	Boilup
Fase vapor fracción	...	0	0	1	0	0	0	0	1
Temperatura	°F	90	90.01	104.6	103.5	103.5	185.7	184.2	185.7
Presión	Psia	216	216	195	195	195	197.1	197.1	197.1
Flujo Molar	lbmol/h	120	120	161	125	35.88	84.12	278.6	194.5
Flujo másico	lb/h	6,470	6,470	7,145	5,548	1,592	4,878	16,130	11,250
Composición	%								
	Propano	30	30	98.0004	98.0004	98.0004	0.9993	1.61	1.8742
	i-Butano	40	40	1.9548	1.9548	1.9548	56.225	59.0396	60.2568
	n-Butano	30	30	0.0448	0.0448	0.0448	42.775	39.3504	37.8690

Para la selección del plato de control, en el que se simuló la instalación de un controlador de temperatura, se observó el perfil de temperatura dentro de la columna, el cual fue obtenido del simulador HYSYS®. Este perfil se puede observar en la Figura 2.

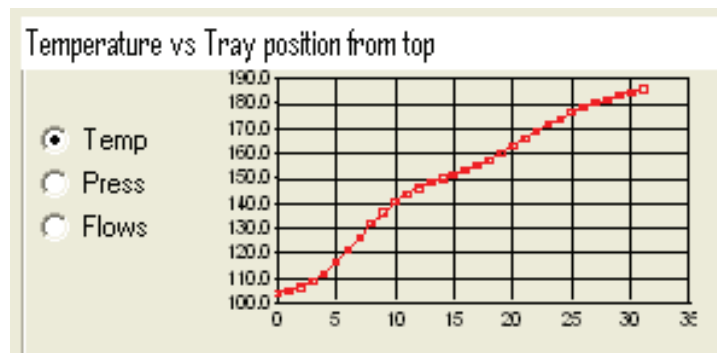


Figura 2. Perfil de temperatura dentro de la columna.

# XXXII Encuentro Nacional y 1<sup>er</sup> Congreso Internacional AMIDIQ

3 al 6 de Mayo de 2011, Riviera Maya, Quintana Roo

La mayor diferencia de temperatura que se obtuvo fue en el plato número 7, ya que del plato 5 al 10 se tuvo el mayor cambio en la temperatura y en la Tabla 4 se observa claramente que es el plato 7 en donde ocurre una mayor separación; entonces esta etapa fue seleccionada para simular un controlador de la temperatura.

Tabla 4. Diferencia de temperaturas entre plato y el plato continuo

Etapa	T °F	ΔT °F	Etapa	T °F	ΔT °F	Etapa	T °F	ΔT °F
<b>Condensador</b>	104		Plato 11	143.6	3.2	Plato 22	168.9	2.9
Plato 1	105	1.1	Plato 12	146.2	2.6	Plato 23	171.6	2.7
plato 2	106	1.6	Plato 13	148.3	2.1	Plato 24	174.2	2.6
Plato 3	109	2.4	Plato 14	150	1.7	Plato 25	176.5	2.3
Plato 4	112	3.4	Plato 15	151.6	1.6	Plato 26	178.5	2.0
Plato 5	116	4.2	Plato 16	153.3	1.7	Plato 27	180.2	1.7
Plato 6	121	5.0	Plato 17	155.3	2.0	Plato 28	181.8	1.6
<b>Plato 7</b>	<b>127</b>	<b>5.4</b>	Plato 18	157.7	2.4	Plato 29	183.2	1.4
Plato 8	132	5.2	Plato 19	160.3	2.6	Plato 30	184.6	1.4
Plato 9	137	4.7	Plato 20	163.1	2.8	<b>Reboiler</b>	186	1.4
Plato 10	140	3.9	Plato 21	166	2.9			

La simulación en estado dinámico se realizó después de haber hecho la simulación en estado estacionario. Se instalaron diversos controladores en la columna y, a continuación, se resume el comportamiento de sólo 2 de ellos.

Tabla 5. Especificaciones de los controladores

Controlador	Elemento a controlar	Variable	Receptor de la señal	Rango mínimo	Rango máximo
De nivel en el reboiler	Reboiler	Nivel	VLV-Fondos	0%	100%
De composición de propano	Válvula de Alimentación	Fracción mol de propano	V1	0.1	0.5

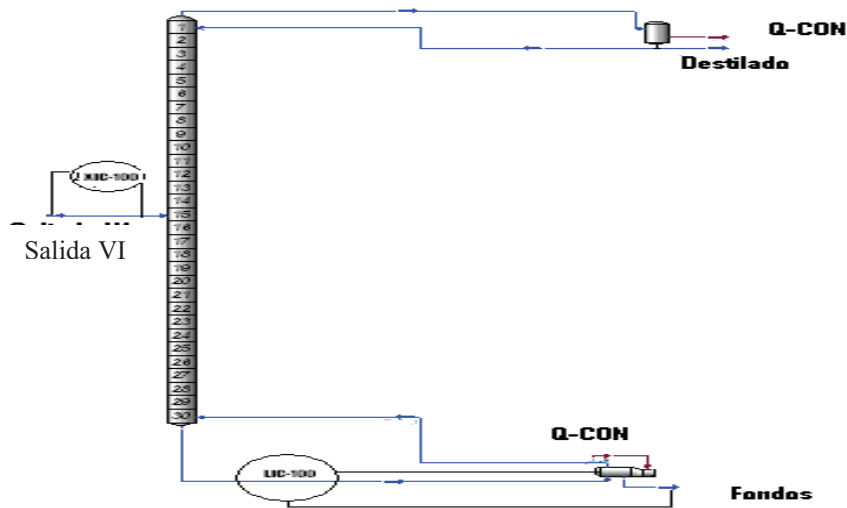


Figura 3. Columna en estado dinámico con controlador de composición en la alimentación y de nivel en el reboiler.

# XXXII Encuentro Nacional y 1<sup>er</sup> Congreso Internacional AMIDIQ

3 al 6 de Mayo de 2011, Riviera Maya, Quintana Roo

---

De acuerdo a lo observado en el simulador, el control de la composición de propano en la alimentación de la columna, por la válvula V1, se estabiliza en espacios de tiempo muy cortos. Esto se debe a que se puede manipular la apertura de la válvula "V1" en valores tan pequeños o tan grandes como sea necesario. Por otra parte, en lo que respecta a controlar el nivel de reflujo se tomaron en consideración la composición con la que entra la mezcla y los reflujos de recirculación que se pueden dar en un sistema como este.

## **Efecto de la variación de la composición de la fracción mol del propano en la alimentación, en la eficiencia de separación de la columna**

Las tabulaciones y las dinámicas de las corrientes y los registradores de los controladores mostraron que los efectos por la disminución en la composición de la fracción mol del propano, en la alimentación, son mermar la obtención de propano en el producto de destilado. La pureza no se ve afectada en forma considerable, pero sí el rendimiento, ya que de obtener flujos molares y másicos de 30 lbmol/h y 1350 lb/h o mayores, respectivamente, las composiciones bajas en la fracción mol de propano en la alimentación arrojaron flujos molares y másicos de sólo 10 lbmol/h y 405 lb/h. Este tipo de variaciones en la alimentación se pueden controlar poniendo especial atención a la válvula que controla esta corriente. De acuerdo a la experiencia adquirida a través del plan de movimientos combinados, realizados en la simulación, se pueden diseñar acciones de control para disminuir los efectos. Por ejemplo, a una disminución de la composición, en la fracción mol de propano, lo que se tiene que hacer es abrir la válvula V1 para incrementar la alimentación y se destile la mayor cantidad de propano que sea posible, sin necesidad de recurrir al aumento en las recirculaciones; obteniéndose, como beneficio, un ahorro de energía, cumpliendo, además, con las especificaciones requeridas.

## **Efecto de la variación de la composición de la alimentación y del nivel del reboiler, en la columna**

Una de las principales razones por la cual se controló el nivel del reboiler en esta columna, son las recirculaciones innecesarias, el plan de movimientos combinados dejó ver que: el control de la válvula de fondos debe ser cuidadoso, pues de lo contrario el acumulador del reboiler se puede llenar en pocos minutos, de acuerdo a los flujos que se estén manejando. Una vez controlado este nivel es necesario ver qué tan necesario es manejar la recirculación a la columna por la parte del fondo. Se cumple con las especificaciones del propano aún a valores bajos de recirculación y manteniendo el acumulador a un porcentaje adecuado, para que las recirculaciones también sean adecuadas. Por lo tanto, tener la válvula a una apertura mayor al 69% (para este caso de estudio) es una acción que se verá reflejada en el ahorro de energía. Por otra parte, cuando la alimentación de carga a la columna cuenta con una pobre fracción mol de propano, se estimó que la composición que se obtiene en el destilado es también muy pobre, aun si se trabaja a porcentajes de apertura bajos en la válvula, por lo tanto, es recomendable abrir la válvula de fondos cuando se tengan composiciones bajas de propano en la carga de la columna, pues incrementar la recirculación de la mezcla desde el reboiler hacia la columna, no tiene beneficios considerables.

## **CONCLUSIONES**

Se realizó el análisis y el estudio de la operación de una columna despropanizadora mediante el simulador HYSYS®, utilizando las bases de diseño para datos operativos típicos de este proceso. Los resultados respaldan que se pueden plantear estrategias de control que reduzcan los rangos de variabilidad en las especificaciones de calidad del producto, además de servir para mantener un registro de datos útiles para el diseño de sistemas heurísticos de control. Se observó que las composiciones pobres en la alimentación causan problemas a la rentabilidad de las despropanizadoras pero una recirculación de los fondos no soluciona este problema. Por lo contrario, tener una buena circulación en la salida de los fondos proporciona un ahorro de energía.

## **REFERENCIAS**

1. Correa, N. y Saavedra, M., 2008. Operación Unitaria Destilación, disponible en: <http://www.scribd.com/doc/29578829/Destilacion>.

# XXXII Encuentro Nacional y 1<sup>er</sup> Congreso Internacional AMIDIQ

3 al 6 de Mayo de 2011, Riviera Maya, Quintana Roo

---

2. Porfirio, C., 2001. Implantación de un control multivariable en una columna despropanizadora industrial, *Tesis de Maestría en Ingeniería*, Escuela Politécnica de la Universidad de Sao Pablo, Departamento de Ingeniería Química.
3. Luyben W., 2002. Plantwide Dynamic Simulators in Chemical Processing and control. Marcel Dekker Inc.
4. González, C. y Gonzalez, M., 2010. Curso electivo: Simulación de procesos en ASPEN HYSYS®, Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, Universidad Nacional de Cuyo. Disponible en : <http://hysys.che.ufl.edu/>"HYSUS Library"- University Of Florida.

[Índice](#)