

## **DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE FORMACIÓN DE HIDRATOS EMPLEANDO PROCESS ECOLOGY HYDRATE APPLICATION**

L.A. Benitez<sup>1\*</sup>, J.V. Costamagna<sup>2</sup>, E. Erdmann<sup>3</sup>, L. Ale Ruiz<sup>4</sup> y E.E. Tarifa<sup>5</sup>

(1) Instituto de Investigaciones para la Industria Química - INIQUI (CONICET-UNSa),  
Consejo de Investigaciones - CIUNSa, Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de  
Salta - UNSa. E-mail: labbenitez@unsa.edu.ar

(2) Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Salta (UNSa)

(3) Instituto Tecnológico de Buenos Aires- ITBA, Instituto de Investigaciones para la  
Industria Química - INIQUI (CONICET-UNSa).

(4) Consejo de Investigaciones - CIUNSa, Facultad de Ingeniería Universidad Nacional  
de Salta - UNSa.

(5) CONICET. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.

**Resumen.** La formación de hidratos en las instalaciones de procesamiento y transporte de gas natural representa un grave problema. De hecho, es un aspecto imprescindible de diseño y operación que debe ser manejado adecuadamente para evitar paradas, pérdidas costosas de producción, riesgos graves de seguridad e incluso la destrucción de equipos valiosos. Debido a estas consecuencias, a menudo costosas, el gas natural debe ser sometido a procesos de acondicionamiento como el ajuste del punto de rocío de agua e hidrocarburos. Estos procesos permiten, además, el cumplimiento de los requisitos establecidos por el ENARGAS (Ente Nacional de Regulación del Gas en Argentina) para el transporte y uso de gas natural. En este trabajo se describe el desarrollo de una simulación estacionaria, empleando el simulador comercial ASPEN HYSYS® V7.3, para el sector de ajuste de punto de rocío y estabilización de gasolina de una planta de tratamiento de gas natural. Se utiliza la aplicación Process Ecology Hydrate Application desarrollada por Process Ecology Inc. para el simulador, esta es una

---

\* A quien debe enviarse toda la correspondencia

herramienta que implementa métodos recientes y rigurosos para el cálculo de la formación de hidratos, de manera tal de predecir las condiciones de formación y determinar la tasa de inyección de glicol requerido. Además se realiza un estudio de sensibilidad paramétrica de las principales variables operativas del proceso. El gas considerado en la simulación es un gas típico proveniente de yacimientos de la provincia de Salta (Argentina). La configuración de la planta y las condiciones de operación adoptadas son las generalmente empleadas en la zona para en el tratamiento de gas natural.

**Palabras clave:** Simulación; Hidratos; Ajuste Punto de Rocío

Acondicionamiento; Gas Natural; Hydrate Application

## 1. Introducción

Los hidratos fueron descubiertos por Sir Humphrey Davy en 1810. Sin embargo, fue hasta el año 1934 cuando Hammerschmidt reportó que los mismos se pueden formar en tuberías durante los procesos de producción y transporte del gas natural, obstruyendo el flujo de gas y ocasionando elevadas caídas de presión a lo largo de las mismas (Hammerschmidt, 1934) (Martínez, M; 2000).

Este trabajo inicial motivó posteriores investigaciones sobre la formación de los hidratos, y condujo al desarrollo de los primeros métodos predictivos y técnicas de inhibición de los hidratos de gas natural (Pickering y col., 2001). En la actualidad, la formación de hidratos en las instalaciones de procesamiento y transporte de gas natural sigue representando un grave problema. De hecho, es un aspecto imprescindible de diseño y operación que debe ser manejado adecuadamente para evitar paradas, pérdidas costosas de producción, riesgos graves de seguridad e incluso la destrucción de equipos valiosos (Koh y col., 2002).

Debido a estas consecuencias, a menudo costosas, el gas natural debe ser sometido a procesos de acondicionamiento como el ajuste del punto de rocío en “Plantas de Dew Point” o Plantas de Ajuste de Punto de Rocío. Éstas permiten cumplir dos objetivos del acondicionamiento simultáneamente, la deshidratación y el desgasolinaje. Mediante la deshidratación se logra prevenir la formación de hidratos y la corrosión en cañerías, y mediante el desgasolinaje ajustar el poder calorífico del gas natural y recuperar al

mismo tiempo hidrocarburos líquidos de mayor valor agregado. (Campbell, 1982). En Argentina las especificaciones para el transporte del gas natural en gasoductos y redes de distribución están reguladas por ENARGAS (Ente Nacional Regulador del Gas), resolución N° 622/98.

En la industria del gas natural existen diferentes procesos para ajustar el punto de rocío de hidrocarburos, el más utilizado es el enfriamiento mecánico del gas en un intercambiador de calor (chiller) usando propano como refrigerante (Ale Ruiz y col., 2009). Estos sistemas de refrigeración son ampliamente utilizados en la industria de procesamiento de gas natural y los procesos relacionados con la refinación de petróleo, industrias químicas y petroquímicas. Los sistemas de refrigeración de propano a menudo son empleados en la industria de procesamiento del gas natural para proporcionar la refrigeración necesaria para condensar los componentes pesados. Los componentes condensados se retiran en un separador a baja temperatura (LTS) y se estabilizan en una columna (A. Bahadori, 2012). Un simple sistema de refrigeración de propano proporciona refrigeración a temperaturas de hasta  $-40^{\circ}\text{C}$  (Lee y col., 1999).

Debido a la presencia de agua líquida en la instalación al reducir considerablemente la temperatura del gas, el riesgo de formación de hidratos aumenta. Los métodos de prevención de la formación de hidratos son la deshidratación, para eliminar el agua, o la disminución de la temperatura de formación de hidratos con inhibición química. Para deshidratación se dispone de sólidos adsorbentes y de líquidos absorbentes (Erdmann y col., 2012). Estos últimos son los más utilizados y usan glicoles como líquidos absorbentes. Por su parte en la inhibición química se realiza la inyección de glicol o metanol en el gas. Atendiendo las bajas temperaturas de trabajo el más apto es el monoetilenglicol o simplemente etilenglicol (EG), por su doble acción, como absorbente y como anticongelante. Soluciones al 70% son altamente higroscópicas y de muy bajo punto de congelamiento. Se puede decir que prácticamente soluciones que oscilen entre el 70% y 80% no congelan. El propósito de inyectar glicol no es absorber algo de agua del gas, pero sí de mezclarse con el agua condensada a medida que el gas se enfría y de esta forma bajar la temperatura de formación de hidratos en el gas.

La cantidad de inhibidor (EG) que debe ser agregada al gas depende principalmente de dos factores: La cantidad de agua que puede condensar a medida que el gas se va

enfriando y la reducción de la temperatura de formación del hidrato. Esta es una diferencia de temperaturas, entre la temperatura a la cual el hidrato comienza a formarse y la temperatura más baja que el gas puede alcanzar.

A partir del conocimiento de los problemas generados por los hidratos en las líneas de transmisión del gas, se realizaron numerosas investigaciones para comprender las características, propiedades físicas y químicas de estos compuestos, y así poder controlar eficazmente la posible formación de los mismos. En los últimos años, la simulación de procesos está jugando un papel muy importante en la industria química, como una herramienta adecuada y oportuna para el diseño, caracterización, optimización y monitoreo del funcionamiento de procesos industriales. El modelamiento y la simulación por computadora han llegado a ser herramientas ingenieriles extremadamente exitosas para el diseño y optimización de procesos. En la industria de procesos químicos, hoy en día, se resuelven ordinariamente problemas no lineales, grandes y realísticos por medio de la simulación por computadora. Esto significa que virtualmente todos los cálculos de ingeniería son procesados rápidamente (Mohammad M.G., 2012) (Ming Wu, 2007).

Estudios relacionados con las condiciones de formación de los hidratos de gas, la predicción de las mismas, su prevención y los posibles métodos de inhibición, han traído como consecuencia la implementación de simuladores de procesos y programas capaces de generar gráficas que permiten obtener las temperaturas y presiones, para una composición específica de gas, a las cuales se forman los hidratos de gas así como también variar la composición del gas, con exactitud bastante aceptable en los resultados y de fácil manejo para los ingenieros de procesos.

En este trabajo se describe el desarrollo de una simulación estacionaria, empleando el simulador comercial ASPEN HYSYS® V7.3, para el sector de ajuste de punto de rocío y estabilización de gasolina de una planta de tratamiento de gas natural. Conjuntamente se utiliza la aplicación Process Ecology Hydrate Application desarrollada por Process Ecology Inc. para el simulador, esta es una herramienta que implementa métodos recientes y rigurosos para el cálculo de la formación de hidratos, de manera tal de predecir las condiciones de formación y determinar la tasa de inyección de glicol requerido en su inhibición. Al mismo tiempo se realiza un estudio de sensibilidad

paramétrica de las principales variables operativas del proceso. El gas considerado en la simulación es un gas típico proveniente de yacimientos de la provincia de Salta (Argentina). La configuración de la planta y las condiciones de operación adoptadas son las generalmente empleadas en la zona para en el tratamiento de gas natural.

## **2. Simulación del Proceso**

### **2.1. Metodología**

Las etapas realizadas son dos:

1. Recolección de información. Se obtuvo información acerca del dimensionamiento de los equipo de las planta, datos históricos de operación, especificaciones de equipos, composición de flujos, variables actuales, recomendaciones de operación, información de revistas y libros especializados, sitios en Internet, datos de operadores de la planta y de expertos.

2. Se analizó cuidadosamente si el simulador de procesos utilizado. Éste puede soportar la simulación con la base de datos existente y las operaciones unitarias requeridas. Se realizó una simulación en estado estacionario, donde se obtuvieron resultados similares a los reales. El paquete de fluido seleccionado para la realizar la simulación es el de Peng Robinson, recomendado para la este proceso.

### **2.2. Hipótesis y Restricciones**

Durante la simulación se realizaron las siguientes consideraciones:

- Los separadores no presentan arrastre de líquidos en las corrientes gaseosas de salida.
- No hay presencia de sólidos en las corrientes de gas y glicol.
- La torre absorbedora, posee cinco platos teóricos.
- La temperatura de unidad de regeneración es inferior a la temperatura de degradación del glicol.
- Las normas del ENARGAS aceptan un gas de venta de hasta 65mg de agua /Sm<sup>3</sup> de gas. Usando este criterio como máximo permisible a la salida del gas.

- La corriente del gas de entrada no presenta rastros de BTX, por lo que se considera que no debe tener equipos auxiliares para el acondicionamiento del vapor de agua que sale del regenerador.
- Las tuberías y equipos no tienen pérdidas de calor.

### 2.3. Simulación y Descripción del Proceso

Se propuso un esquema de proceso que permita la inhibición de hidratos mediante inyección de etilenglicol (EG). Aspen HYSYS tiene la capacidad de simular rigurosamente sistemas de EG, para ello se utiliza la ecuación de estado Peng–Robinson (Peng & Robinson, 1976) que ha sido modificada para representar el comportamiento no ideal de las fases líquido–vapor en todo el rango de operación esperado para estos sistemas (Partho S. et al., 2011) (J.P. Gutiérrez, 2012).

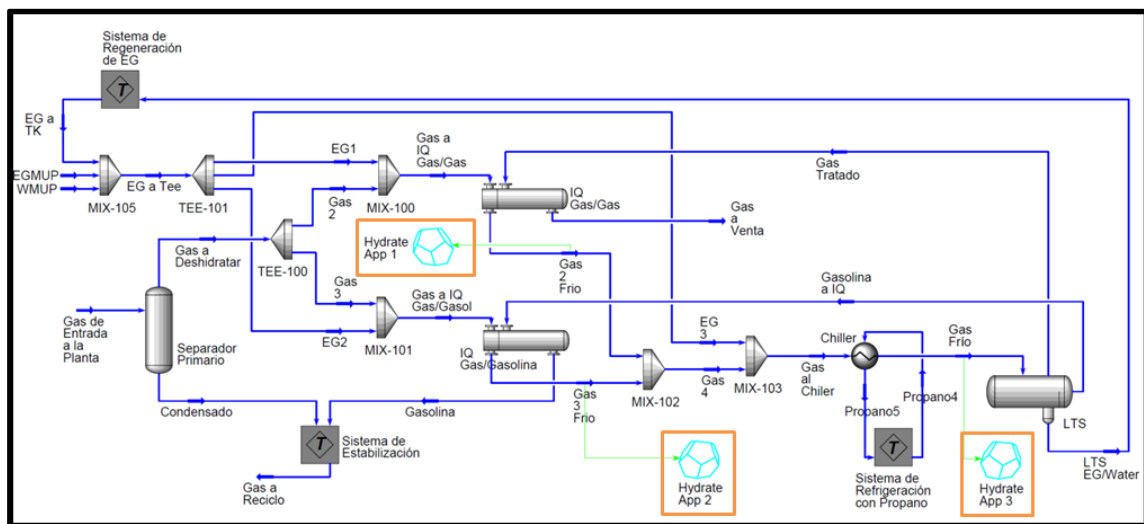
La corriente de entrada a la Planta de Ajuste del Punto de Rocío es de un gas natural dulce procedente de la Planta de Endulzamiento, cuya composición corresponde a datos cromatográficos (Tabla 1). Ingresan 3 MMscfd a una presión de operación igual a 75 kg/cm<sup>2</sup> y una temperatura de operación de 30 °C.

**Tabla 1.** Composición del Gas Natural que ingresa a la Planta

Componente	Fracción Molar
Metano	0,7897
Etano	0,0610
Propano	0,0294
i-Butano	0,0070
n-Butano	0,0126
i-Pentano	0,0156
n-Pentano	0,0135
n-Hexano	0,0254
n-Heptano	0,0300
Nitrógeno	0,0100
CO <sub>2</sub>	0,0004
Agua	0,0054

Se realiza una primera separación en un separador bifásico (Separador Primario), para eliminar los compuestos que se encuentren condensados y recuperar líquidos pesados provenientes de la unidad anterior. El gas que se obtiene del separador primario

se divide en dos corrientes (Gas2 y Gas3) para ser enfriadas aprovechando el bajo nivel térmico de dos de las corrientes que salen del Separador Frío (LTS), una en el intercambiador IQ Gas/Gas y la restante en el intercambiador IQ Gas/Gasolina. Se vuelven a unir las corrientes (Gas4) e ingresa al Chiller, un intercambiador de calor que emplea propano calidad comercial como refrigerante. En él se produce el mayor descenso de la temperatura, se enfría hasta una temperatura igual a  $-11,10^{\circ}\text{C}$ , provocando la condensación de componentes pesados. El tren de frío cuenta con un Sistema de Refrigeración a circuito cerrado compuesto por dos motocompresores. El refrigerante utilizado es propano en calidad comercial. Los compresores son del tipo tornillo accionados por motores a gas.



**Fig. 1.** Simulación de una Planta de Ajuste de Punto de Rocío con Aspen HYSYS

Durante el proceso de enfriamiento, antes del ingreso de la corriente de gas a cada uno de estos intercambiadores de calor, se inyecta continuamente una solución de etilenglicol (EG) al 80%wt fracción másica para prevenir la formación de hidratos (EG1; EG2; EG3). La inyección se realiza en estos puntos debido a que se debe inyectar en tres fases distintas (Campbell, 1982): (a) La fase del hidrocarburo vapor, (b) la fase del hidrocarburo líquido, y (c) la fase acuosa, en la cual ocurre la inhibición de los hidratos, y el inhibidor impacta la citada inhibición de formación de estos hidratos. De manera que el cómputo de la concentración del inhibidor en la fase acuosa es de importancia. Las inyecciones de EG se simularon con mezcladores, en el cual ingresa la corriente de gas saturado con agua y una corriente de EG. La inyección del inhibidor se

realiza en tres puntos: antes de intercambiador gas–gas (MIX-100), otro antes del intercambiador gas–líquido (MIX-101) y el último antes del chiller (MIX-102).

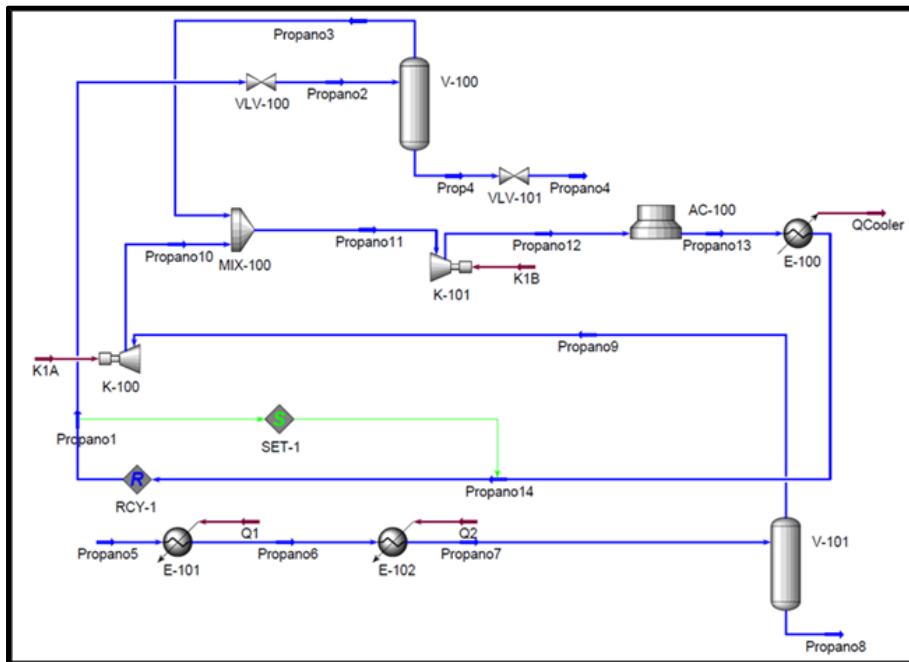
El Gas Frío proveniente del Chiller se envía al Separador Frío LTS, separador trifásico, del cual se separa el gas residual (Gas Tratado), gasolina (Gasolina a IQ) y la solución de EG diluida.

El gas que sale del LTS (Gas Tratado) intercambia calor con el gas de entrada en el IQ Gas/Gas, se verifica que el mismo cumpla con todas las especificaciones de las normas vigentes y finalmente es inyectado al gasoducto troncal de venta. Por su parte la corriente de EG diluida (LTS EG/Water) es separada por la bota del fondo del LTS y es enviada a la unidad de regeneración (Sistema de Regeneración de EG) para ser bombeados a los puntos de inyección del sistema. Por último, el condensado de mayor valor agregado es la Gasolina, por lo tanto su recuperación y estabilización es de suma importancia (Sistema de Estabilización de Gasolina y Condensados).

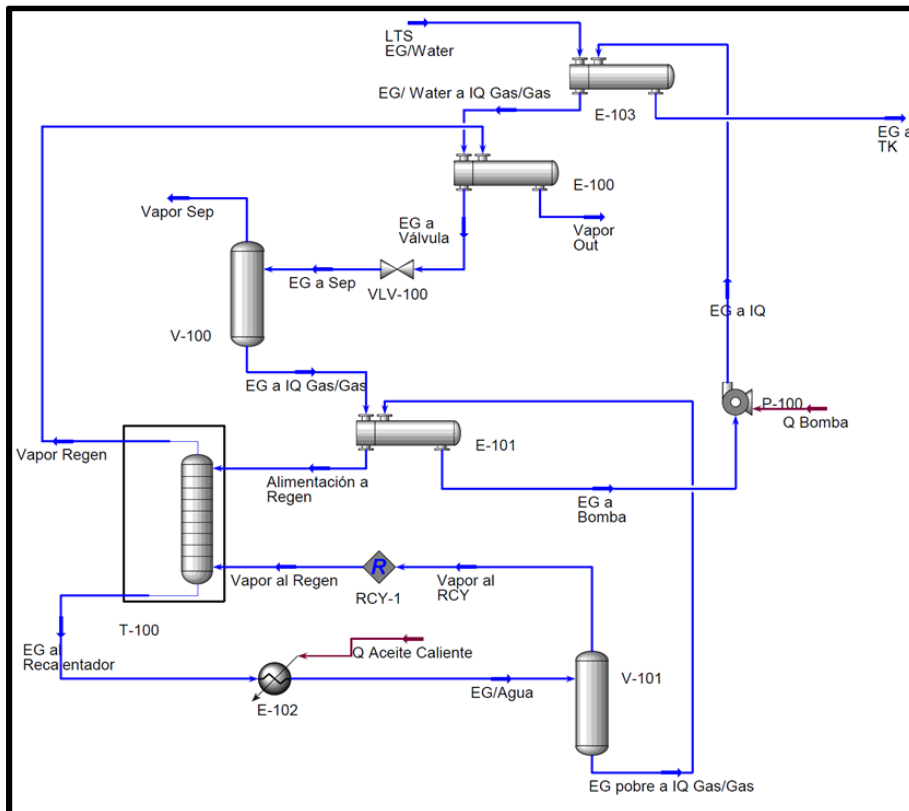
El caudal de EG a alimentar al mezclador está sujeto a la cantidad de agua que ingrese con el gas y la reducción de la temperatura de formación de hidratos. Este caudal se ha calculado mediante el operador lógico Spreadsheet denominado Flujo Másico Glicol (Ale Ruiz et al, 2009 B), en él se importan los flujos másicos de agua de las corrientes Gas2, Gas3 y Gas4 y la fracción másica del glicol correspondiente a la corriente EG a TEE (ver Figura 1). La tasa de inyección de EG también es estimada empleando la nueva aplicación denominada Process Ecology Hydrate Application, para analizar y comparar los resultados del Spreadsheet. Puede accederse a ella como una unidad de procesos de Apen HYSYS totalmente integrada al entorno de simulación. HydrateApp1 es aplicada a la corriente Gas2Frio, HydrateApp2 es aplicada a la corriente Gas3Frio y la HydrateApp3 se aplica a la corriente Gas Frío que sale del Chiller.

Por último, dentro de la simulación principal se simulan como módulos Standard Sub-Flowsheet el Sistema de Refrigeración con Propano (Figura 2), el Sistema de Regeneración de EG (Figura 3) y el Sistema de Estabilización (Figura 4).

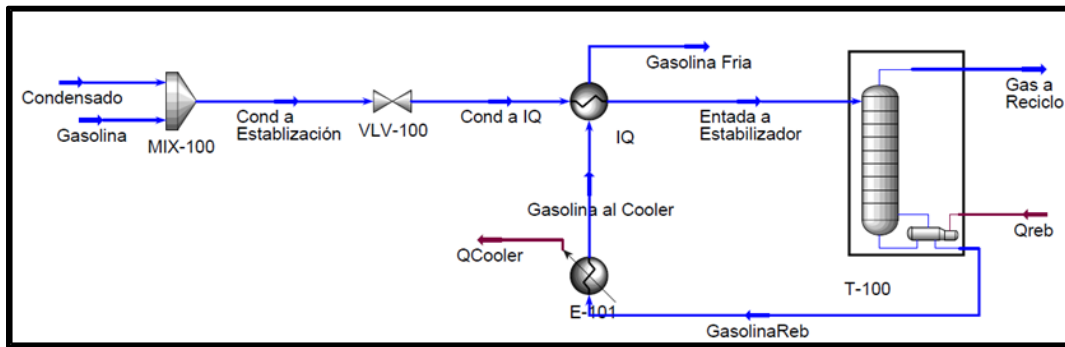




**Fig. 2.** Simulación del Sistema de Refrigeración con Propano



**Fig. 3.** Simulación del Sistema de Regeneración del Etilenglicol



**Fig. 4.** Simulación del Sistema de Estabilización de Gasolina y Condensados

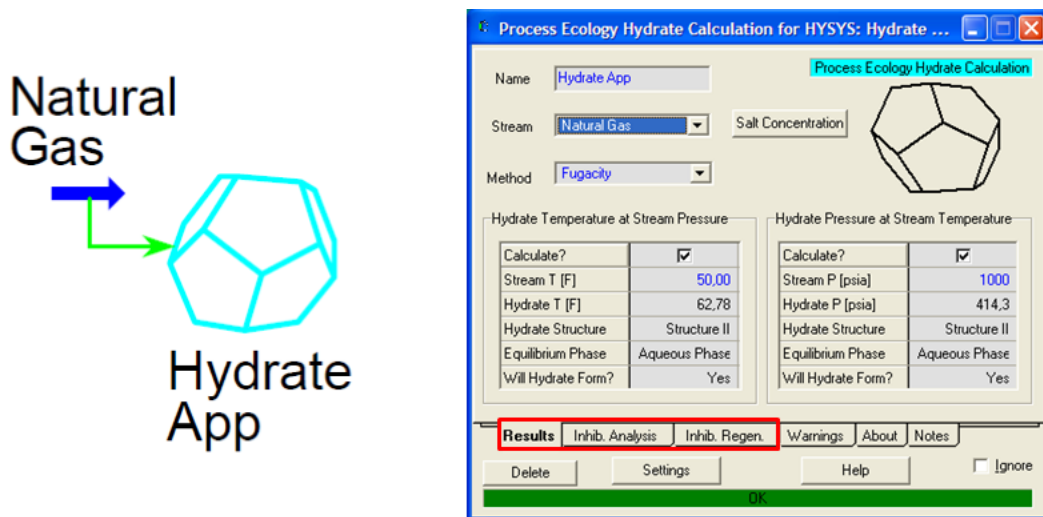
### 3. Programa Process Ecology Hydrate Application

Una serie de metodologías y herramientas están disponibles para que los ingenieros de planta puedan predecir si la formación de hidratos debe ser motivo de preocupación. Gráficos y ecuaciones publicadas por instituciones reconocidas, como por ejemplo el manual GPSA, proporcionan estimaciones ampliamente aceptados para este propósito. Sin embargo los simuladores de procesos son poderosas instrumentos que permiten realizar cálculos más rigurosos y exactos. El hecho es que todos estos diferentes métodos tienen sus propias fortalezas y debilidades y, dependiendo de las características específicas del problema en cuestión, algunos métodos funcionan mejor que otros, en otras palabras, no existe una solución única que funcione mejor para todos los casos.

Process Ecology Hydrate Application es un innovador software desarrollado por Process Ecology Inc. que proporciona las herramientas necesarias para que los ingenieros de procesos puedan evaluar el potencial de formación de hidratos. Esto permite combinar la potencia, exactitud, flexibilidad y velocidad de un simulador de procesos, como ASPEN HYSYS® V7.3, con los métodos más recientes y rigurosos empleados para el cálculo de la formación de hidratos. De esta forma es mucho más fácil comparar los distintos resultados de cada uno de los métodos en un solo software o programa. Sin embargo este producto no forma parte del simulador, por lo que debe ser adquirido junto a su licencia de uso, de forma independiente con la empresa que lo produce y luego proceder a la instalación del mismo. Otra ventaja que presenta es una de las características clave, es que todos los cálculos se mantienen consistentes debido

a que el motor que permite realizar todos los cálculos termodinámicos es proporcionado por el host del simulador mediante los Fluid Packages del simulador (James Holoboff, 2012).

La información originada como resultado por el software incluye toda la salida convencional relacionada con la formación de hidratos: temperatura, la presión y el tipo de hidrato. Puesto que fue diseñado como una herramienta de ingeniería, también proporciona información sobre las tasas de inyección y mínima concentración de inhibidor asociadas con la prevención de la formación de hidratos y una estimación de la energía asociada con la regeneración del propio inhibidor (Figura 5).



**Fig. 5.** Entorno del Process Ecology Hydrate Application

Process Ecology Hydrate Application ofrece la posibilidad de estimar las condiciones de formación de hidratos empleando distintos métodos. El método de GPSA, involucra las tablas del GPSA y las ecuaciones se utilizan comúnmente para la predicción de hidrato. Por su parte, el método de Van der Waals-Platteeuw, es uno de los más ampliamente utilizados empleadas en software de predicción de hidrato disponible en el mercado, incluyendo la utilidad hidrato de Aspen HYSYS. La formación de hidratos se produce en dos etapas. En la primera se produce la red exterior del hidrato con las moléculas de agua y en la segunda ingresan las moléculas de hidrocarburos al interior de la red generando el hidrato.

Mientras que el método Chen Guo (fugacidad), presenta un modelo que propone dos etapas para la formación de hidratos, en donde primero por medio de una reacción

química se produce la estructura del hidrato (enlaces q forman la red) y luego en una segunda etapa se absorbe las moléculas del gas en las cavidades del hidrato. Este mecanismo permite predecir la estequiometría del hidrato.

La fracción de las cavidades ocupadas por moléculas de gas se calcula como una función de la fugacidad de gas. Mediante la aplicación de relaciones termodinámicas se determina la influencia de la temperatura, la presión y la actividad de agua en la fugacidad de la fase gaseosa en equilibrio con la estructura del hidrato. Una ventaja de este método es que predice de forma correcta la formación de hidratos para corrientes gaseosas.

También ofrece distintos métodos para estimar la cantidad y concentración mínima requerida de inhibidor, es importante tener en cuenta que esto depende del método de predicción de hidrato que se haya elegido (es decir, de van der Waals-Platteeuw, fugacidad, o GPSA). Los métodos Hammerschmidt y Neilson-Bucklin, calculan una depresión de la temperatura que se resta de la temperatura calculada de hidrato. El primero es ampliamente utilizado para estimar la depresión de la temperatura debido a la adición de hidrato inhibidor, mientras que el segundo es una versión mejorada de la ecuación Nielsen-Bucklin original, que incluye un coeficiente de actividad, se lleva a cabo para estimar la depresión de la temperatura hidrato.

El método riguroso ajusta internamente la adición del inhibidor hasta que la temperatura de hidrato objetivo, la cual es calculada utilizando el método de estimación hidratos, se logra. En otras palabras es un cálculo iterativo. Debe tenerse en cuenta que la situación descrita es equivalente al empleo del operador lógico Adjust, el cual es una operación de ajuste en HYSYS para manipular el caudal de inhibidor hasta que se consigue la especificación de temperatura hidrato.

#### **4. Resultados y Discusiones**

La estimación y la lectura de la temperatura de formación de hidratos ( $T_{FH}$ ) a la presión de la línea ( $75 \text{ kg/cm}^2$ ), en las corrientes Gas2Frio, Gas3Frio y GasFrío, se realizaron empleando el Software Hydrate App y la herramienta Hydrate Formation HYSYS Utility del simulador.

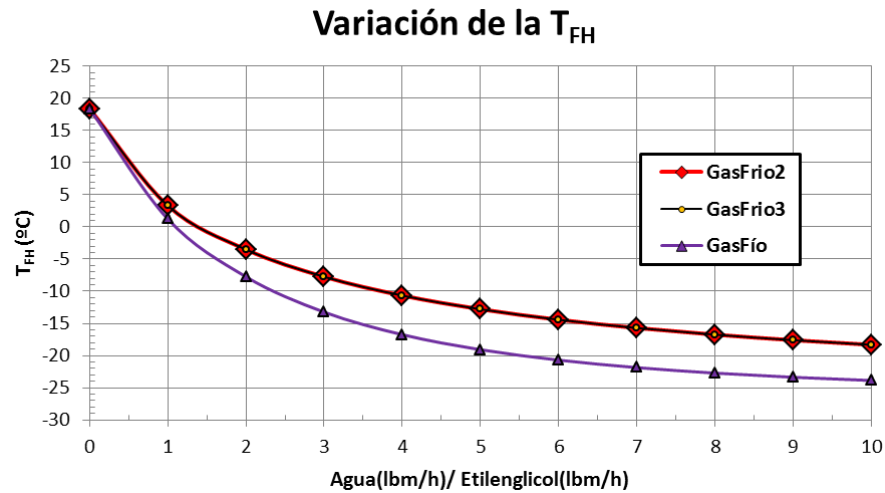
La primera lectura se realiza para el caso en que la inyección de una solución etilenglicol a una concentración del 80%wt no se ha realizado aún (Tabla 2). Se observa que la  $T_{FH}$  para cada una de las corrientes analizadas posee el mismo valor. Esto se debe a que la  $T_{FH}$  depende de la composición del gas y la presión del sistema, que al inicio de la simulación no han modificado estos parámetros de forma directa ni indirecta.

**Tabla 2.** Temperatura de Formación de Hidratos

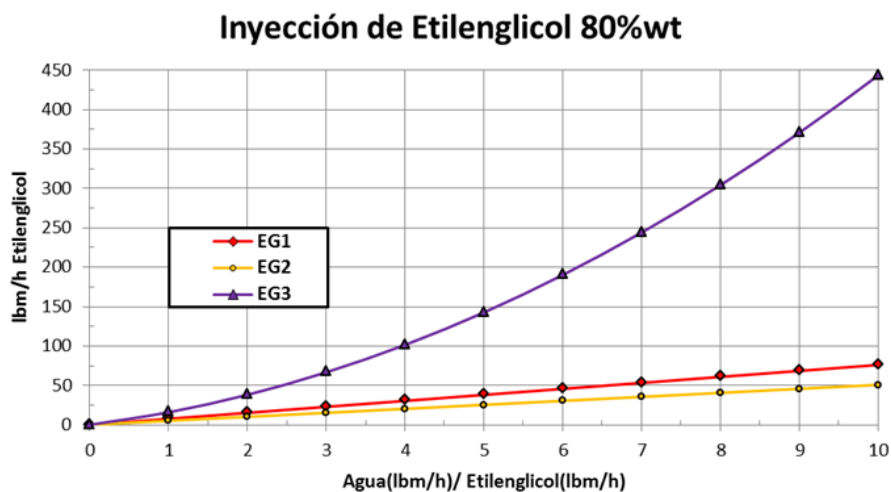
Lectura con HYSYS Utility	Lectura con Hydrate App.
17,56 °C	18,39 °C

Se observa que el riesgo de formación de hidratos en las corrientes analizadas es alto debido a que las temperaturas de operación de cada una de ellas se encuentran por debajo de la  $T_{FH}$ . En consecuencia es necesario determinar la cantidad mínima requerida del inhibidor a ser inyectado para lograr una reducción determinada en la  $T_{FH}$ . El riesgo de formación de hidratos disminuye especificando una  $T_{FH}$  tal que sea inferior a la temperatura de operación más baja en cada línea, considerando un margen de seguridad entre 5-10°C. Para las corrientes Gas2Frio y Gas3Frio se define una  $T_{FH}$  inferior a -12.50°C (ya que la Temperatura de operación más baja que pueden alcanzar estas corrientes es de -7.50°C, por lo que se estima un margen de seguridad de 5°C) y en la corriente GasFrío se fija una  $T_{FH}$  menor que -19.10°C (ya que la Temperatura de operación más baja que pueden alcanzar esta corriente es de -11.10°C, por lo que se estima un margen de seguridad de 8°C).

Se realizó en la simulador un caso de estudio, en donde se observa la variación de la  $T_{FH}$  en función de la relación EG (lbm/hr)/Agua (lbm/hr), para determinar cuál es la relación EG/Agua más adecuada para lograr las especificaciones deseadas (Figura 6). Puede observarse que para lograr la inhibición deseada y alcanzar los valores especificados una relación de Glicol/Agua igual a 5 es necesaria (Tabla 3). Con este valor calculamos el flujo másico de EG a inyectar antes de cada intercambiador en función del contenido de agua en el gas y la reducción de la  $T_{FH}$  (Figura 7).



**Fig. 6.** Variación de la Temperatura de Formación de Hidratos en cada una de las corrientes analizadas en función de la cantidad de EG inyectado



**Fig. 7.** Flujo másico de EG 80%wt a inyectar en función de la relación Glicol/Agua adoptada.

No obstante, el software de hidratos Process Ecology Hydrate App es una forma más directa de cálculo. Esta aplicación permite ingresar las especificaciones deseadas (Descenso de la  $T_{FH}$ , margen de seguridad y concentración del inhibidor). Con estos datos determina el caudal necesario de inhibidor a inyectar (Tabla 4). Se observa resultados muy similares a los obtenidos con el método anterior.

**Tabla 3.** Método 1: Uso de Caso de Estudio en HYSYS con una relación Glicol/Agua=5

Corrientes	Flujo de Glicol Inyectado (lbm/h)	Corrientes	Lectura de la Temperatura Formación Hidratos Alcanzada usando Hydrate App (°C)	Lectura de la Temperatura Formación Hidratos Alcanzada usando HYSYS Utility (°C)
EG1	38,05	Gas2Frio	-12,79	-18,18
EG2	25,36	Gas3Frio	-12,79	-18,18
EG3	79,26	GasFrio	-19,08	-26,43

**Tabla 4.** Método 2 – Uso de Hydrate Application

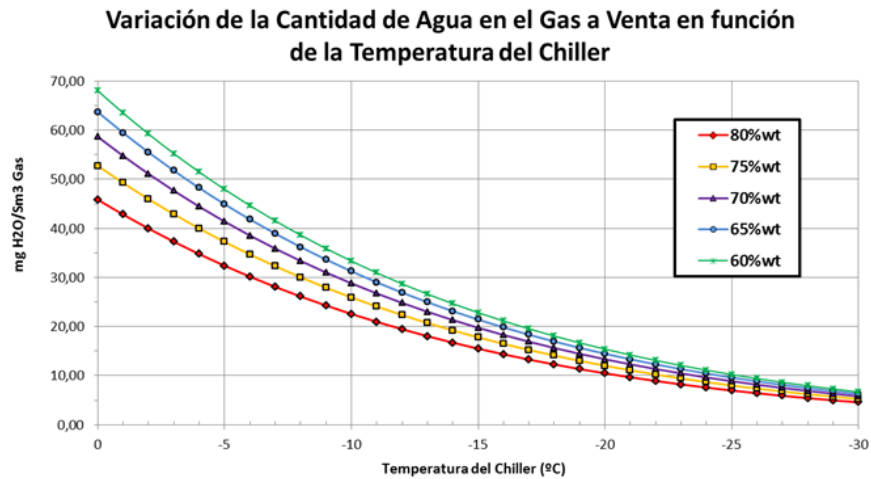
Corrientes	Flujo de Glicol Inyectado (lbm/h)	Corrientes	Temperatura Formación Hidratos Alcanzada Lectura Hydrate App (°C)	Temperatura Formación Hidratos Alcanzada Lectura HYSYS Utility (°C)
EG1	38,05	Gas2Frio	-12,79	-18,18
EG2	25,37	Gas3Frio	-12,79	-18,18
EG3	88,24	GasFrio	-19,45	-26,93

## 5. Análisis de sensibilidad

Una vez realizada la inyección de EG para inhibir la formación de hidratos, se realizó un análisis sensibilidad paramétrico del proceso. Se muestran solo los resultados más representativos obtenidos variando la temperatura del Chiller y la concentración de EG.

### 5.1. Contenido de agua en el gas de venta

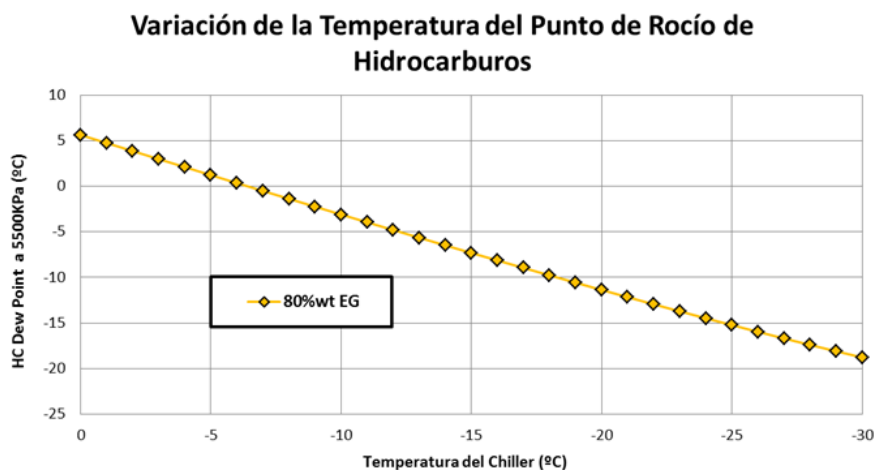
La variable del proceso más sensible a los cambios de concentración es evidentemente el contenido de agua en el gas de venta. Se observa que para una dada temperatura del Chiller, mientras más concentrada sea la solución de EG, menor es el contenido de agua en el gas de salida. La cantidad de agua también es muy sensible a la disminución de la temperatura del chiller (Figura 8). Según bibliografía el rango óptimo de concentración de la solución de glicol es de 60%wt – 80 %wt (Campbell, 1982). Puede observarse que en este rango y para temperatura del chiller menor a -1 °C se cumplen las especificaciones del contenido de agua en el gas natural (Res. 622/98).



**Figura 8.** Variación de la cantidad de agua en el gas de venta en función de la temperatura del chiller, empelando la concentración de EG como parámetro

## 5.2. Temperatura de rocío de hidrocarburos

Se observa que la temperatura de rocío de hidrocarburos es directamente proporcional a la temperatura del Chiller. Cuando ésta es inferior a los  $-11.10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , la temperatura de rocío cumple con la especificación del ENARGAS (Res. 622/98) correspondiente a  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  a 5500 kPa. Este comportamiento se debe a que a medida que la corriente GasFrio disminuye su temperatura, es mayor la cantidad de Gasolina que se obtiene del LTS; de esta forma el Gas a Venta cuenta con menos cantidad de compuestos pesados en su composición (Figura 9).

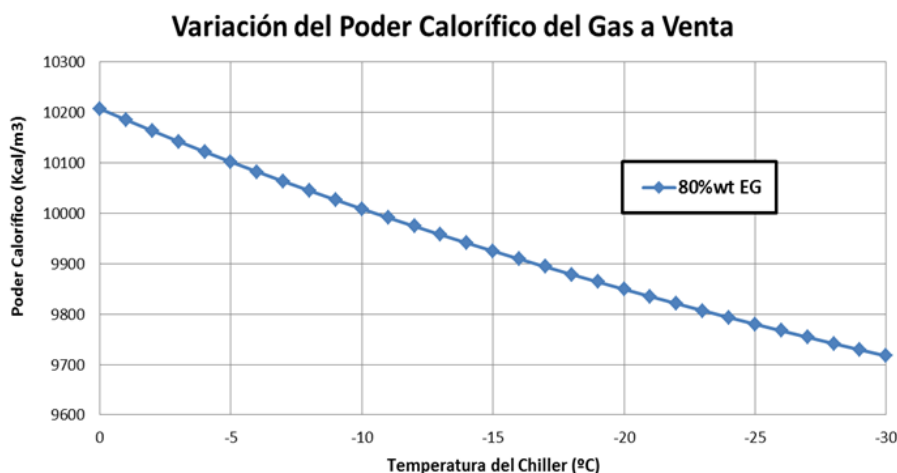


**Figura 9.** Relación entre la Temperatura de Punto de Rocío de Hidrocarburos y la Temperatura del Chiller



### 5.3. Poder Calorífico del Gas

Se observa que poder calorífico del gas es directamente proporcional a la temperatura del Chiller (Figura 10). En todo el rango de temperaturas analizado, cumple con la especificación del ENARGAS (Res. 622/98) correspondiente de Min. 8850 Kcal/m<sup>3</sup> - Máx. 10200 Kcal/m<sup>3</sup>.



**Figura 10.** Relación entre el Poder Calorífico alcanzado y la Temperatura del Chiller

## 6. Conclusiones

Se realizó satisfactoriamente la simulación completa de una Planta de Ajuste del Punto de Roció para un gas característico de la región norte de Argentina, empleando condiciones operativas características de este tipo de planta. La simulación fue realizada utilizando el simulador ASPEN HYSYS® V7.3. La simulación realizada permite visualizar el proceso y analizar su comportamiento en función de las variables operativas críticas: concentración de la solución de EG (60% –80% wt) y la temperatura del chiller (-30°C – 0°C).

La variable más sensible de operación es la temperatura de la corriente de salida del Chiller. Si bien en todos los casos analizados se verifican las especificaciones de calidad para el gas de venta en cuanto a los contenidos máximos de agua, hidrocarburos condensables (gasolina) y poder calorífico, se observa que a medida que disminuye la temperatura de salida del Chiller y aumenta la concentración de EG se recupera mayor cantidad de gasolina, disminuye la temperatura del punto de rocío y el contenido de

agua del gas. Los resultados obtenidos permitirían determinar, dentro de las diferentes situaciones que cumplen con la especificación de calidad del gas de venta, cuál es la temperatura del chiller y la concentración de glicol óptimas, para tomar esta decisión también hay que realizar un análisis económico entre el costo de enfriamiento en el Chiller y la recuperación de la gasolina.

El Process Ecology Hydrate Application hace que el análisis de las condiciones de formación de hidrato sea más rápido y más fácil dentro de un simulador de procesos tan potente como HYSYS, y le permite rápidamente comparar las predicciones de varios métodos de cálculo utilizando una base termodinámica consistente brindada por el mismo simulador. Este software nos permite evaluar las condiciones de formación de hidratos calculados por métodos tradicionales GPSA junto con más rigurosas predicciones de hidrato (mejorado van der Waals-Platteeuw y procedimientos de Chen-Guo), estimar los caudales requeridos de inhibidor usando un método riguroso y métodos empíricos (Hammerschmidt y Nielsen-Bucklin).

Se concluye que el Hydrate Application a pesar de que ofrece los métodos GPSA, de van der Waals-Platteeuw, Hammerschmidt y Nielsen-Bucklin que se han utilizado ampliamente para los cálculos de hidrato y cantidad de inhibidor a inyectar, la combinación de los métodos de Chen-Guo (fugacidad) y método riguroso ofrecen resultados más consistentes y exactos para las predicciones de las condiciones de formación de hidratos, para los cálculos de hidrato estándar, así como de predicción de la tasa de inhibidores como el etilenglicol.

Dada la simplicidad de cálculo y exactitud de los resultados obtenidos con esta aplicación, éste tiene un gran valor práctico, ya que permitirá que los ingenieros de procesos puedan realizar una rápida estimación y valoración del potencial riesgo de formación de hidratos en las líneas de procesos, como así también la estrategia de inhibición adecuada.

## Referencias

- A. Bahadori. (2012). A simple approach for evaluating the performance of a refrigeration system in the natural gas processing industry. *NAFTA* 63 (1-2) 52-57
- Ale Ruiz, L., Mercado, L., Tarifa, E. & Erdmann, E. (2009). Natural Gas Dew Point Adjustment. Parametric Sensitivity Analysis, *8th World Congress of Chemical Engineering*. Montreal - Quebec- Canadá. Actas publicadas en formato digital. Agosto de 2009.
- Campbell, J. (1982). Gas Conditioning and Processing. Vol. 1 y 2, Ed. Campbell Petroleum Series. USA.
- Eleonora Erdmann, Liliana Ale Ruiz, Leonel Benitez, Enrique Tarifa. (2012). Análisis de sensibilidad por simulación del proceso de Deshidratación de una planta de acondicionamiento de gas natural. *Avances en Ciencias e Ingeniería. Av. cien. ing.:* 3(3), 119-130. ISSN: 0718-8706.
- Hammerschmidt, E.G. (1934). Formation of gas hydrates in natural gas transmission lines. *Ind. Eng. Chem.*, 26 (8), pp. 851-855.
- James Holoboff. (2012). Process Ecology Hydrate Application. Process Ecology Inc. <http://www.processecology.com/>
- Juan Pablo Gutiérrez, Leonel Alberto Benitez, Julieta Martínez, Liliana Ale Ruiz, Eleonora Erdmann. (2012). Propiedades termodinámicas para simulaciones de tratamientos primarios de petróleo. *3er. Congreso Latinoamericano y del Caribe de Refinación. Sheraton Buenos Aires Hotel & Convention Center*, Buenos Aires - Argentina, del 30 de octubre al 2 de noviembre de 2012.
- Koh, C.A., Westacott, R.E., Zhang, W., Hirachand, K., Creek, J.L. & Soper, A.K. (2002). Mechanisms of gas hydrate formation and inhibition. *Fluid Phase Equil.* , 194-197, 143-151.
- Lee, M.Y., Lee, D.Y., Kim, Y. (2008). Performance characteristics of a small-capacity directly cooled refrigerator using R290/R600a (55/45). *International Journal of Refrigeration* 31, 734-741.
- Martínez, M. (2000). Ingeniería de Gas, Principios y Aplicaciones. Deshidratación del Gas Natural. Ed. Ingenieros Consultores, S.R.L., Venezuela.
- Ming Wu, Shumiao Wang, Hongbo Liu. (2007). A Study on Inhibitors for the Prevention of Hydrate Formation in Gas Transmission Pipeline. *Journal of Natural Gas Chemistry* 16, pp. 81-85
- Mohammad Mahdi Ghiasi. (2012). Initial estimation of hydrate formation temperature of sweet natural gases based on new empirical correlation. *Journal of Natural Gas Chemistry* 21, pp. 508-512.
- Partho S. Roy and Ruhul Amin M. (2011). Aspen-HYSYS Simulation of Natural Gas Processing Plant. *Journal of Chemical Engineering*, IEB Vol. ChE. 26, No. 1, December 2011
- Peng, D.Y. & Robinson, D.B. (1976). A New Two Constant Equation of State. *Ind. Eng. Chem. Fundamen.* 15, 59-64.
- Pickering P.F., Edmonds, B., Moorwood, R.A.S., Szczepanski, R. & Watson, M.J. (2001). *Evaluating new chemicals and alternatives for mitigating hydrates in oil & gas production. IIR Conference*, Aberdeen, Escocia. 1-15.