

Análisis de las simulaciones del proceso de deshidratación del gas natural con Aspen Hysys y Aspen Plus

Leonel Alberto Benitez¹, Juan Pablo Gutierrez¹, Liliana Ale Ruiz², Eleonora Erdmann³ y Enrique Tarifa⁴

¹ INIQUI - CCT Salta - CONICET, Facultad de Ingeniería, CIUNSa,
Universidad Nacional de Salta, labbenitez@unsa.edu.ar - gutierrezjp@unsa.edu.ar

² Facultad de Ingeniería, CIUNSa,
Universidad Nacional de Salta, laleruiz@unsa.edu.ar

³ Instituto Tecnológico Buenos Aires (ITBA), INIQUI - CCT Salta - CONICET,
Universidad Nacional de Salta, erdmann@itba.edu.ar

⁴ CONICET, Facultad de Ingeniería,
Universidad Nacional de Jujuy, eetarifa@fi.unju.edu.ar

Recibido: 12-08-2015. Aceptado después de revisión: 28-08-2015.

Resumen: El gas natural ha tomado un rol estratégico importante en el suministro de energía a nivel mundial como consecuencia de la creciente demanda global de energía. El agua es probablemente el componente indeseable más común en el gas natural no tratado ya que su presencia puede ocasionar la formación de hidratos y problemas de corrosión. Debido a las potenciales consecuencias costosas, el gas debe ser sometido a procesos de acondicionamiento a fin de alcanzar las especificaciones requeridas para su venta, transporte hacia los centros de distribución y consumo final. En los últimos años, la simulación de procesos está jugando un papel muy importante en la industria del gas y petróleo como una herramienta adecuada y oportuna para el diseño, caracterización, optimización y monitoreo del funcionamiento de procesos industriales. En el presente trabajo se describe el desarrollo de dos simulaciones estacionarias del proceso de deshidratación de gas natural por absorción con trietilenglicol (TEG), empleando los simuladores comerciales de procesos Aspen HYSYS V8.3 y Aspen PLUS V8.2. La composición del gas natural, la configuración del proceso y las condiciones de operación empleadas en los cálculos y la simulación son típicas de los yacimientos y plantas de acondicionamiento de la provincia de Salta (Argentina).

Palabras claves: Aspen HYSYS, Aspen PLUS, deshidratación, gas natural, simulación estacionaria, trietilenglicol (TEG).

Abstract: Natural gas has taken an important strategic role in world energy supply as a result of the growing global energy demand. Water is probably the most undesirable component found in raw natural gas because its presence can produce hydrate formation, and it can also lead to corrosion or erosion problems. Due to these often expensive consequences natural gas should be subjected to conditioning processes in order to achieve strict specifications for sales, transportation and final uses. In recent years, process simulation is playing an important role in the oil and gas industry as an appropriate and powerful tool for the design, characterization, optimization, and monitoring of industrial processes performance. In this paper the development of two steady state simulations of natural gas dehydration by absorption with triethylene glycol (TEG) is described, using commercial process simulators such as Aspen HYSYS V8.3 and Aspen PLUS V8.2. Natural gas composition, plant configuration and operating conditions adopted for designs and simulation are those generally used in the area in conditioning plants of natural gas in the province of Salta (Argentina).

Keywords: Aspen HYSYS, Aspen PLUS, dehydration, natural gas, steady state simulation, triethylene glycol (TEG).

1. Introducción

En los últimos siglos, los combustibles fósiles han sido esenciales para el crecimiento económico global, como fuentes primarias de energía. Las tendencias en el uso de cierto tipo de energéticos son determinadas por los avances tecnológicos para obtener nuevas fuentes de energía o para mejorar aquellas ya disponibles, en función de parámetros de abundancia, eficiencia, costos y factores recientes, como los aspectos medio ambientales [1]. El siglo XX fue llamado el siglo del petróleo, ya que desde entonces y aún en la actualidad es la principal fuente de energía que permite el desarrollo y la expansión de la economía global. Sin embargo, las continuas fluctuaciones e incertidumbres en el precio del petróleo junto con la significativa disminución en sus reservas, así como la nueva actitud medio ambiental adoptada por parte de muchos gobiernos de distintos países, ha inducido a intensificar la exploración de un combustible más limpio y económico como el gas natural. El gas natural el combustible fósil que ha tomado un rol estratégico valioso en el suministro de energía a nivel mundial debido a la creciente demanda global de energía [2] [3].

El gas natural es una mezcla gaseosa de hidrocarburos, formada principalmente de metano, etano, propano y butano; pero comúnmente incluye algunas impurezas tales como agua, dióxido de carbono, nitrógeno, sulfuro de hidrógeno y trazas de hidrocarburos condensables más pesados. Para asegurar una operación eficiente y evitar inconvenientes en el transporte y procesamiento del gas natural, las impurezas deben ser eliminadas [3]. El gas natural por lo general contiene agua, en forma líquida y/o vapor, desde pozo y/o como resultado del proceso de endulzamiento con una solución acuosa. La experiencia operativa y la ingeniería han demostrado que es necesario reducir y controlar el contenido de agua de gas para asegurar un procesamiento y transporte seguro. El agua es probablemente el componente indeseable más común que se encuentra en el gas natural no tratado. Su presencia puede ocasionar obstrucciones y dificultades de importancia en los gasoductos, válvulas o equipos, entorpeciendo o incluso deteniendo el flujo de gas por las líneas de transmisión debido a la formación de hidratos. Por otra parte, la presencia simultánea de H₂O, CO₂ y H₂S en el gas puede originar problemas de corrosión o erosión en las tuberías y equipos [4]. La corrosión y formación de hidratos representan un grave problema en las instalaciones de procesamiento y transporte de gas natural, de hecho son aspectos imprescindibles de diseño y operación que deben manejarse adecuadamente, tanto en el diseño como en la operación, para evitar paradas no programadas, pérdidas costosas de producción, riesgos graves de seguridad e incluso la destrucción de equipos valiosos [3]-[5].

Debido a estas consecuencias costosas, el gas natural debe ser sometido a procesos de acondicionamiento. Éstos permiten cumplir con estrictas especificaciones establecidas y reguladas por entidades privadas o estatales, como el ENARGAS (Ente Nacional de Regulación del Gas en Argentina), para la venta, el transporte, distribución y uso final de gas natural. Los contratos de venta y/o especificaciones de los gasoductos de transporte deben cumplir con el contenido máximo de agua de 65 mgH₂O por Sm³ de gas.

El acondicionamiento del gas natural generalmente requiere de un proceso de endulzamiento, que tiene por objeto eliminar los gases ácidos, como el H₂S y CO₂, un proceso de deshidratación, el cual controla el punto de rocío de agua, y un proceso de refrigeración, que es utilizado para el control del punto de rocío de hidrocarburos. La deshidratación del gas natural representa una operación de suma importancia en la industria del gas, básicamente consiste en la remoción del vapor de agua que se encuentra asociada con el gas. Este proceso es necesario para asegurar una operación eficiente en las líneas de transporte de gas [3]. En la actualidad, la técnica más común y exitosa empleada para la deshidratación del gas natural es la absorción entre el gas y un líquido higroscópico. Los absorbentes líquidos más utilizados son las soluciones acuosas de

glicoles. Los glicoles son dioles, cuyos grupos hidroxilo le brinda una alta afinidad por el agua. Particularmente el etilenglicol (EG), dietilenglicol (DEG), trietilenglicol (TEG) y tetraetilenglicol (T4EG) permiten alcanzar diferentes niveles de deshidratación. El Proceso de absorción con TEG es uno de los métodos más reconocidos y ampliamente utilizados para la deshidratación gas natural [6]-[8].

La posición actual del gas natural como fuente de energía primaria no renovable (segunda en importancia después del petróleo) y la disminución de sus reservas, conduce a realizar un análisis para mejorar, optimizar el diseño, el proceso de acondicionamiento y tratamiento del gas natural. Estas mejoras ofrecen una serie de desafíos para la comunidad científica. En este campo, la solidez ofrecida por investigación y la posibilidad de interrelacionar diversos campos de estudio, como la simulación de procesos y la optimización, son esenciales para hacer frente con eficacia a muchas de las dificultades asociadas con el gas natural, desde la extracción hasta la entrega a los consumidores finales, dando un importante énfasis en las etapas de procesamiento del gas natural.

En los últimos años, tanto en la investigación como en la industria, la simulación de procesos está jugando un papel muy importante en la industria del gas natural y petróleo, como una poderosa herramienta adecuada y oportuna para el diseño, caracterización, optimización y monitoreo del funcionamiento de procesos industriales. El modelado y la simulación por computadora han llegado a ser herramientas ingenieriles extremadamente exitosas para el diseño y optimización de procesos [1]-[4].

En este trabajo se describe el desarrollo de dos simulaciones estacionarias del proceso de deshidratación de gas natural mediante absorción con TEG, empleando los simuladores comerciales Aspen HYSYS V8.3 y Aspen PLUS V8.2. Se presentan los parámetros operativos más importantes que son considerados para realizar el estudio del proceso. Además, se realiza el análisis detallado de las estrategias de simulación empleadas a fin de observar ventajas y desventajas de cada software simuladores de procesos. Por último, se evalúan y analizan los resultados obtenidos por ambos programas. El gas considerado en las simulaciones 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 el tratamiento de gas natural.

2. Descripción del proceso de deshidratación con TEG

Un proceso típico de deshidratación por absorción con TEG puede dividirse en dos partes: la deshidratación del gas y la regeneración del solvente [7]-[9]. En la etapa de deshidratación, el agua se extrae del gas natural por absorción con TEG; mientras que en la etapa de regeneración, el agua absorbida es removida del solvente, y la solución de glicol regenerada se encuentra en especificación para ser empleada nuevamente en la columna de absorción (*Contactor*). La etapa de regeneración de solventes es una operación que se realiza para reducir consumos excesivos y pérdidas indeseables de solvente.

Un diagrama típico del proceso de deshidratación se muestra en la Figura 1 [7]-[10]. Una corriente de una solución acuosa de TEG denominada TEG pobre en agua (*Lean Glycol*) es alimentada por la cabeza de la columna contactora, mientras que la corriente de gas natural húmedo (*Clean Wet Natural Gas*) ingresa por la parte inferior de la columna. Como resultado de estas alimentaciones, se genera un contacto en contracorriente entre la corriente de gas y la solución de TEG pobre.

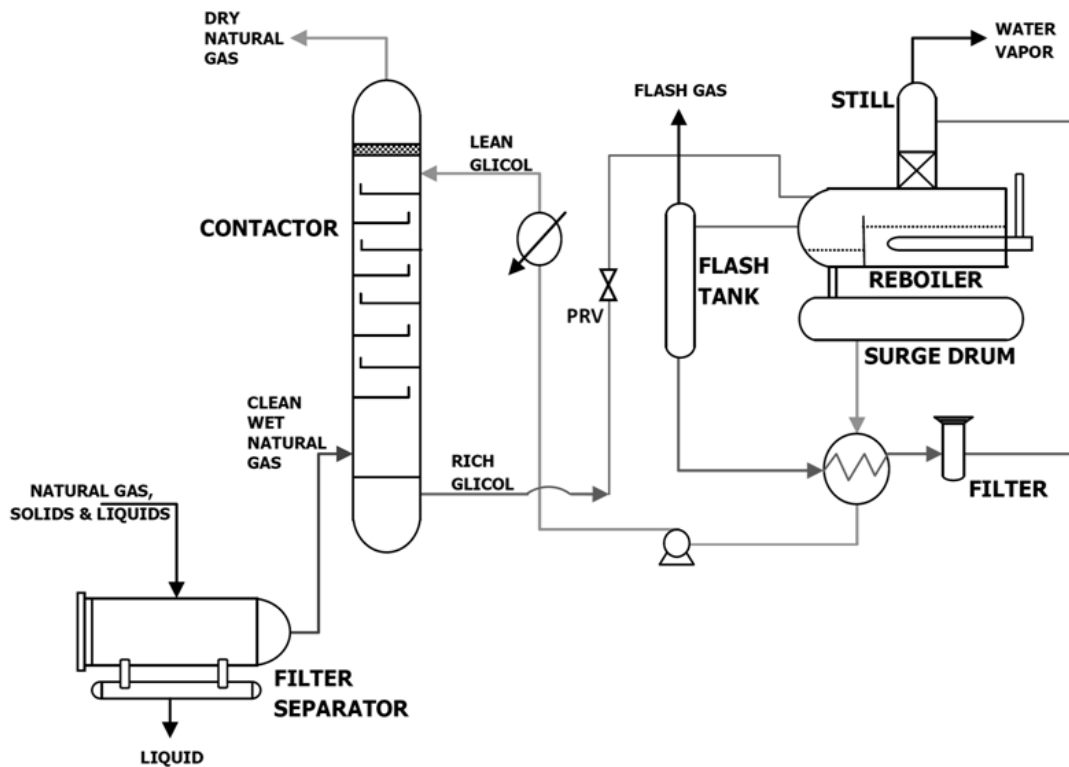


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de deshidratación por absorción con TEG.

La columna contactora es una columna de absorción que permite la transferencia de masa a elevadas presiones y bajas temperaturas. En consecuencia, la corriente de fondo que abandona la columna contactora, denominada TEG rica en agua (*Rich Glycol*), es una solución con una elevada concentración de agua y algunos hidrocarburos en su composición. Esta corriente es despresurizada mediante una válvula reductora de presión y luego ingresa a la etapa de regeneración, donde es forzada a pasar por un tanque separador flash con el fin de despojar aquellos hidrocarburos gaseosos livianos y condensados que puedan ser arrastrados con el glicol. El glicol rico se pre-calienta en el intercambiador de calor glicol pobre- glicol rico. Luego se filtra antes de ser alimentada al regenerador. El regenerador de glicol consiste en un recalentador (*Reboiler*), columna despojadora (*Still*), y el tanque acumulador (*Surge Drum*). En la columna del regenerador, el glicol se separa del agua absorbida. El proceso se produce aproximadamente a presión atmosférica. La corriente que sale del fondo de la unidad regeneradora es la corriente de TEG regenerada, pobre en agua, que posteriormente, es empleada para precalentar la alimentación del regenerador en el intercambiador de calor glicol pobre- glicol rico. Finalmente, la solución regenerada es bombeada a través de aereoenfriadores antes de ingresar nuevamente al equipo contactor [9] [10].

3. Simulación del Proceso

La simulación de procesos es una herramienta potente y moderna que se ha hecho indispensable para la solución adecuada de distintos y diversos problemas de procesos en la industria del gas y petróleo. Puede definirse como una técnica para evaluar en forma rápida un proceso con base en una representación del mismo, mediante distintos modelos matemáticos. La solución de éstos se lleva a cabo por medio de software específicos que

permiten tener un mejor conocimiento del comportamiento de dicho proceso y las operaciones unitarias que lo conforman [11].

Existe una gran variedad de simuladores de procesos comerciales, algunos de las cuales son poderosas herramientas de cálculo, con inmensos bancos de datos que contienen las propiedades físicas de miles de compuestos y sustancias químicas, selección de modelos termodinámicos, cálculos de equipos (teórico y real), análisis de costo, estado de agregación y condiciones de operación, que le dan al simulador la ventaja de una gran versatilidad [11] [12].

Aspen HYSYS y Aspen PLUS son potentes simuladores de procesos empleados en la industria del gas y petróleo, para simular diagramas de flujos complejos, estimar propiedades fisicoquímicas, termodinámicas y de transporte de distintos compuestos, permite realizar análisis de sensibilidad de variables de procesos específicas de interés, obtener especificaciones de diseño de proceso, y, realizar la síntesis y análisis de procesos, entre otras tareas del diseño y análisis de procesos y equipos [13] [14].

3.1 Metodología

Para la realización de este trabajo se ejecutaron las siguientes etapas:

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

II. Simulación Estacionaria. Se analizó y evaluó detalladamente las fortalezas y limitaciones de los simuladores de procesos utilizados: Aspen HYSYS y Aspen PLUS. Estos simuladores cuentan con los modelos termodinámicos y los modelos de equipos necesarios para simular el proceso en estudio. Esta simulación en estado estacionario, produjo resultados similares a los reales observados en planta.

Aspen HYSYS y Aspen PLUS son software de simulación de procesos y no de diseño de equipos, por lo que las variables relacionadas al dimensionamiento y características constructivas de los distintos equipos involucrados deben ser introducidas como datos.

3.2 Hipótesis y restricciones

Durante la simulación estacionaria, 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 temperatura de la unidad de regeneración es inferior a la temperatura de degradación del glicol.
- Las normas del ENARGAS aceptan un gas de venta de hasta 65 mg de agua/Std.m³ de gas. En consecuencia, se adoptó dicho valor como el máximo permisible en el gas de venta salida de la proceso.
- La corriente del gas de entrada no presenta rastros de BTX (benceno, tolueno y xileno), 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.

3.3 Gas natural a tratar

El gas dulce procedente de la unidad de acondicionamiento con aminas de la Planta de Endulzamiento es enviado a la Planta de Deshidratación por absorción con TEG, a una

presión de 75 kg/cm² y una temperatura de 38 °C. Al proceso ingresan 3 MMSCFD (*Million standard cubic feet per day*) de gas natural, su composición corresponde a datos cromatográficos mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición del gas natural que ingresa a la planta de deshidratación.

Componente	Fración 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 ₂	0,0004
H ₂ O	0,0054

3.4 Estrategia para la simulación estacionaria en Aspen HYSYS

Se desarrolló una simulación estacionaria del sistema de deshidratación del gas natural mediante el simulador de procesos Aspen HYSYS (Figura 2), teniendo en cuenta las consideraciones teóricas y técnicas del diseño conceptual presentado en bibliografía técnica [3][4] [9] [10] que permite determinar los parámetros básicos de diseño de las unidades del proceso. Aspen HYSYS tiene la capacidad de simular rigurosamente sistemas de TEG-agua, para ello se utiliza una combinación de los paquetes de fluido Peng-Robinson y Glycol Package [6] [15]. En la etapa de deshidratación, el absorbente líquido empleado es una solución acuosa de TEG al 98,7 % en peso (%wt.) a 44°C. El contactor es simulado mediante el equipo denominado Absorber Column. En la etapa de Regeneración, el Glicol Rico desciende a través columna despojadora (*Still*) hacia el reconcentrador, donde el glicol concentrado se calienta a una temperatura entre 177 °C y 204 °C [9] [10]. Es de suma importancia que la temperatura esté por debajo del punto de descomposición de TEG. La columna y el reconcentrador son simulados dentro del ambiente Distillation Column Sub-Flowsheet mediante tres equipos: Separador, Reboiler y Condensador.

La corriente de glicol Regenerado ingresa nuevamente al contactor, para ello se utiliza el operador lógico *Recycle*. Este operador no transforma la corriente que pasa a través de él, sino que permite resolver sistemas de lazo iterativo.

Es necesario verificar si la cantidad de agua en el gas de venta obtenido cumple con las especificaciones para el transporte de gas natural en Argentina, de hasta 65 mg de agua /Sm³ de gas. Para ello se calcula el mismo en una planilla u hoja de cálculo (*Spreadsheet*) del simulador, denominada Cantidad de agua salida [13] [16] [17].

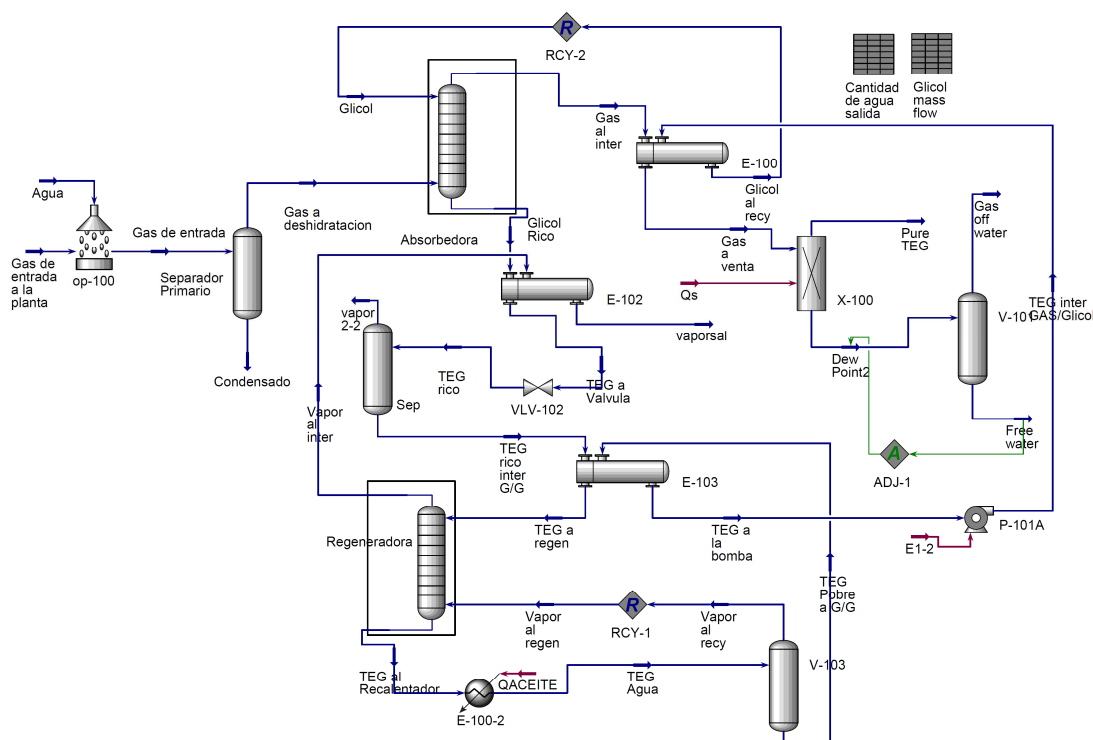


Figura 2. Simulación estacionaria del proceso de deshidratación con TEG en Aspen HYSYS V8.3.

Uno de los criterios utilizados para determinar la eficiencia de la deshidratación es la determinación del punto de rocío de agua en la corriente de gas de salida. Para determinarla se busca la temperatura a la cual el agua, aun contenida en el gas, comenzará a condensar. El primer paso en la determinación del punto de rocío es remover todas las trazas de TEG debido a que la presencia del mismo afecta el punto de rocío del agua. Para ello se utiliza la operación “*Component Splitter*” (X-100), este equipo es un separador de componentes en el cual se imponen las fracciones molares de salida para asegurar que la corriente *Free Water* no contenga trazas de TEG. Se utiliza el operador lógico *Adjust* (ADJ-1) el cual ajusta la temperatura de la corriente *Dew Point* para que el flujo másico de agua en la corriente *Free Water* sea casi nulo. El valor de temperatura alcanzado será el punto de rocío del agua en la corriente de gas [15]-[17].

3.5 Estrategia para la simulación estacionaria en Aspen PLUS

Simultáneamente, se desarrolló la simulación estacionaria en Aspen PLUS (Figura 3) del mismo esquema de proceso, teniendo en cuenta las mismas consideraciones que en la simulación con Aspen HYSYS. Aspen PLUS simula rigurosamente sistemas de TEG-agua, para ello se empleó una combinación de los paquetes de fluido SR-POLAR (como método base) y Peng-Robinson [14] [18].

La columna absorbidora es representada y simulada como una columna rigurosa siguiendo el modelo del equipo denominado *RadFrac*. Esto es debido a que este equipo permite evaluar, diseñar y analizar el desempeño de distintas columnas simples. Para ello en las especificaciones se define que el mismo va a funcionar como columna absorbidora. La etapa de regeneración es simulada mediante dos equipos: *Stripper*, que simula la columna regeneradora y el reconcentrador y a la salida de éste un separador simulado por el equipo denominado *Regen*.

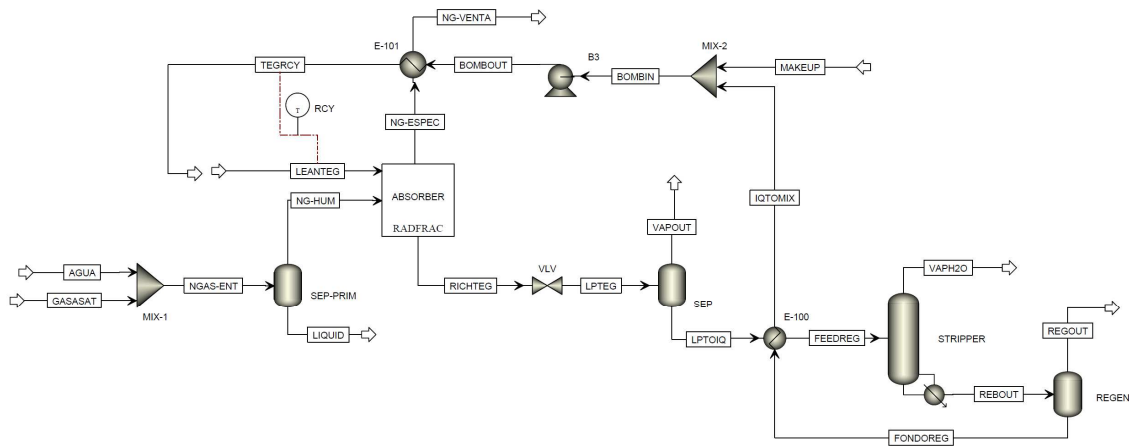


Figura 3. Simulación estacionaria del proceso de deshidratación con TEG en Aspen PLUS V8.2.

Se implementan manipuladores de corrientes en la simulación a fin de determinar ciertas variables de operación de la simulación siguiendo algún criterio determinado. Los mismos son utilizados en forma similar a los operadores lógicos en Aspen HYSYS. En Aspen PLUS se ha utilizado el operador *Transference Block* (bloque de transferencia), a fin de emular el operador *Recycle*. En un bloque de transferencia, solo pueden transferirse las variables que han sido especificadas asumiendo valores iniciales para las mismas. Los bloques de transferencia no crean instancias como bloques separados, pero se convierten en conexiones que vinculan corrientes y sus respectivas variables.

4. Resultados y discusión

Se analizó la respuesta de tres de las variables representativas de la eficiencia del proceso [17] [19] [20], contenido de agua (Figura 4), punto de rocío de agua (Figura 5) y temperatura del gas de venta (Figura 6), frente a la variación de la fracción másica de glicol alimentado al contactor. Se observa que el contenido de agua disminuye, alcanzando la especificación del contenido de agua cuando la fracción másica de TEG supera el valor de 98% wt.

Es importante analizar como varía la concentración de agua en la solución de glicol regenerada que se recicla, en función de la temperatura del recalentador desde 93°C a 204 °C (Figura 7). Se observa que el contenido de agua disminuye mientras aumenta la temperatura del recalentador. Este análisis solo fue posible realizarlo en Aspen HYSYS debido a que la simulación en Aspen PLUS no presenta la flexibilidad suficiente para ello.

Los resultados obtenidos por ambos simuladores son muy similares y próximos a los esperados conceptualmente. Esto implica una buena performance del esquema de procesamiento simulado. El tiempo empleado para realizar la simulación y posteriores modificaciones es sustancialmente menor que realizar los cálculos tradicionales, aun empleando herramientas informáticas como el MS Excel. Esto presenta una gran ventaja ya que en una planta de procesos los cambios a realizar deben ser validados antes de realizarlos y en el menor tiempo posible.

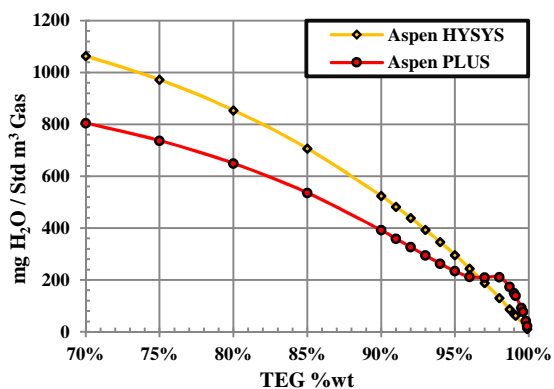


Figura 4. Variación del contenido de agua en el gas de venta en función de la concentración de TEG.

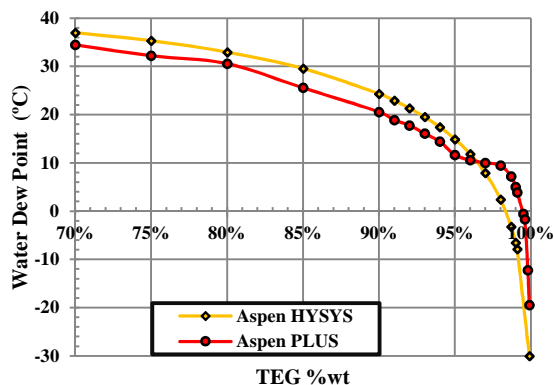


Figura 5. Variación del punto de rocío de agua en el gas de venta en función de la concentración de TEG.

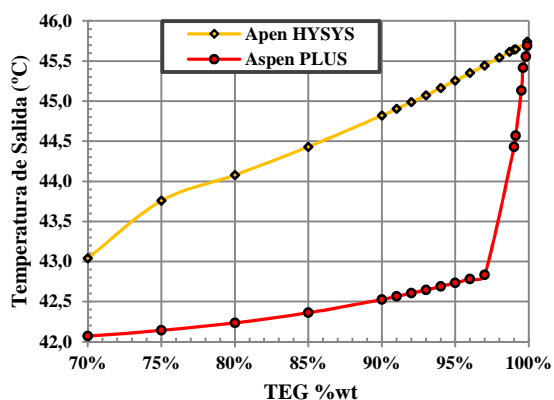


Figura 6. Variación de la temperatura de salida del gas de venta en función de la concentración de TEG.

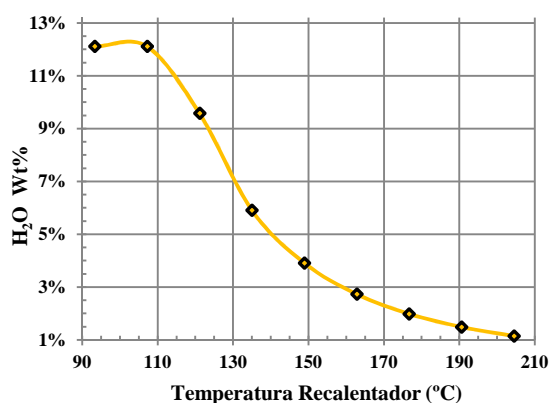


Figura 7. Variación del contenido de agua en el TEG regenerado en función de la temperatura del recalentador.

5. Conclusiones

Se realizaron satisfactoriamente las simulaciones completas de una planta de deshidratación por absorción con TEG para un gas característico de la región norte de Argentina, empleando condiciones operativas características de este tipo de plantas. La simulación realizada permite visualizar el proceso y analizar su comportamiento en función de las variables operativas críticas.

Aspen HYSYS y Aspen PLUS tienen la capacidad de simular rigurosamente sistemas de TEG, para ello se utiliza una combinación de los paquetes termodinámicos más adecuados y recomendados por cada simulador. Los manipuladores de corrientes en Aspen PLUS y las operaciones lógicas en Aspen HYSYS modifican o cambia variables operativas de las corrientes siguiendo algún criterio a fin de ayudar al usuario a cumplir con ciertas especificaciones deseadas. Ellos no representan operaciones unitarias reales. En trabajos posteriores podría mejorarse la simulación de los equipos destinados a la regeneración del glicol, por ejemplo el Stripper en la etapa de regeneración del TEG para ambas simulaciones. Las simulaciones estacionarias realizadas pueden emplearse para la posterior simulación dinámica y optimizar el proceso mediante la reducción de los costos de capital y equipo, como así también para aumentar al máximo la producción.

Referencias

- [1] M. Economides y D. Wood, «The state of natural gas », *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, vol 1, pp. 1-13, July 2009.
- [2] A. Ríos, *Rol del gas natural en el desarrollo económico y social de américa latina y elcaribe*. Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) y Agencia Canadiense para la Cooperación Internacional (CIDA), 2012.
- [3] S. Mokhatab, W. Poe y J. Mak, *Handbook of Natural Gas Transmission and Processing: Principles and Practices, Third Edition*. Oxford, UK: Elsevier Inc, 2015.
- [4] M. Kelkar, *Natural Gas Production Engineering*. PennWell Corporation. Tulsa, Oklahoma, 2008.
- [5] C. Koh, R. Westacott, W. Zhang, K. Hirachand, J. Creek y A. Soper, «Mechanisms of gas hydrate formation and inhibition », *Fluid Phase Equilibria*, vol. 194–197, pp. 143–151, March 2002.
- [6] C. Twu, V. Tassone, W. Sim y S. Watanasiri, «Advanced equation of state method for modeling TEG–water for glycol gas dehydration », *Fluid Phase Equilibria*, vol. 228-229, pp. 213-221, February 2005.
- [7] K. Atiqueuzzaman y M. ASM, « Optimizing Effective Absorption during Wet Natural Gas Dehydration by Triethylene Glycol », *IOSR Journal of Applied Chemistry (IOSRJAC)*, vol. 2, No. 2, pp. 01-06, September. 2012.
- [8] A. Bahadori, Y. Hajizadeh, H.B. Vuthaluru, M.O. Tade y S. Mokhatabd, « Novel approaches for the prediction of density of glycol solutions», *Journal of Natural Gas Chemistry*, vol. 17, No. 3, pp. 298-302, September 2008.
- [9] Gas Processors & Suppliers Association (GPSA), *Gas Processors and Suppliers Association Engineering Data Book, Twelfth ed.* Tulsa, Oklahoma, USA, 2004.
- [10] M. Martínez, *Ingeniería de Gas, Principios y Aplicaciones. Deshidratación del Gas Natural*, Ed. Ingenieros Consultores S.R.L., Venezuela, 2000.
- [11] Víctor Hugo Martínez Sifuentes, *Simulación de procesos en Ingeniería Química*, Plaza y Valdés Editores, S.A. de C.V., D.F., México, 2000.
- [12] Susana Luque Rodríguez y Aurelio B. Vega Granda, *Simulación y optimización avanzadas en la industria química y de procesos: HYSYS*, España, Universidad de Oviedo, Oviedo, 2005.
- [13] ASPENTECH, *Aspen HYSYS Teaching Modules*, Aspen Technology Inc. Burlington, MA 01803-5501, USA, 2014.
- [14] ASPENTECH, *Aspen PLUS Teaching Modules*, Aspen Technology Inc. Burlington, MA 01803-5501, USA, 2014.
- [15] ASPENTECH, *Aspen HYSYS Thermodynamics COM Interface - Reference Guide*, Aspen Technology Inc. Burlington, MA 01803-5501, USA, 2014.
- [16] E. Erdmann, L. Ale Ruiz, L. Benitez y E. Tarifa, «Análisis de Sensibilidad por Simulación del Proceso de Deshidratación de una Planta de Acondicionamiento de Gas Natural», *Av. Cien. Ing.*, vol. 3, No.3, p. 119-130, 2012.
- [17] A. Ruiz, L. Mercado, L. Tarifa y E. Erdmann, «Natural Gas Dew Point Adjustment. Parametric Sensitivity Analysis», *Eighth World Congress of Chemical Engineering*. Montreal, Quebec, Canada, 2009.
- [18] ASPENTECH, *Aspen PLUS Getting Started Building and Running a Process Model*, Aspen Technology Inc. Burlington, MA 01803-5501, USA, 2014.
- [19] P. Gandhidasan, «Parametric Analysis of Natural Gas Dehydration by a Triethylene Glycol Solution», *Energy Sources*, vol. 25, pp. 189-201, 2003.
- [20] P. Kazemi y R. HamidI, «Sensitivity analysis of a natural gas triethylene glycol dehydration plant in Persian Gulf Region», *Petroleum & Coal*, vol. 53, No. 1, pp. 71-77, 2011.