



Scientia Et Technica

ISSN: 0122-1701

scientia@utp.edu.co

Universidad Tecnológica de Pereira

Colombia

DURAN RINCON, MELVIN; CASTILLO M., EDGAR F.
APLICACIÓN DE ESQUEMAS DE CONTROL AVANZADOS EN EL PROCESO DE
DESHIDRATACIÓN DEL GAS NATURAL

Scientia Et Technica, vol. X, núm. 24, mayo, 2004, pp. 239-244

Universidad Tecnológica de Pereira
Pereira, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84912053004>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

APLICACIÓN DE ESQUEMAS DE CONTROL AVANZADOS EN EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DEL GAS NATURAL

RESUMEN

La deshidratación del gas natural juega una parte importante en la producción de gas natural. Una deshidratación efectiva previene la formación de hidratos de gas y la acumulación de agua en los sistemas de transmisión. Este trabajo determina las influencias de los factores externos e internos en el proceso de deshidratación de gas natural, en la operación de la planta Ballena (Departamento de La Guajira - Colombia) y el cumplimiento de las normas estipuladas para el transporte y comercialización del gas.

PALABRAS CLAVES: Deshidratación, Gas Natural, Trietilenglicol, Simulación, Control

ABSTRACT

Gas dehydration plays an important part in the production of natural gas. Effective dehydration prevents formation of gas hydrates and accumulation of water in transmission systems. This work determines the influence of the external and internal factors of the process of natural gas dehydration, on the operation of the Ballena plant (Departamento de La Guajira - Colombia) and the execution of the standards specified for the transport and commercialization of the gas.

KEYWORDS: Dehydration, Natural gas, Triethylene glycol, Simulation, Control.

MELVIN DURAN RINCON

Ingeniero Químico, Ms.C
Profesor Auxiliar
Escuela de Tecnología Química
Universidad Tecnológica de Pereira
melvin.duran@utp.edu.co

EDGAR F. CASTILLO M.

Ingeniero Químico, Ph.D.
Profesor Asociado
Escuela de Ingeniería Química
Universidad Industrial de Santander
efcastil@uis.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

La deshidratación del gas natural se define como la remoción del agua en forma de vapor que se encuentra asociada con el gas desde el yacimiento. Este proceso es necesario para asegurar una operación eficiente en las líneas de transporte de gas y se puede realizar mediante el uso de un desecante como el trietilenglicol. La remoción del vapor de agua previene la formación de hidratos del gas, disminuye la corrosión en las tuberías y mejora la eficiencia en las mismas, ya que reduce la acumulación de líquidos en las partes bajas de la línea, cumpliendo con las especificaciones del contenido de agua en el gas de venta (4 lb de agua/millón de pie cúbico de gas).

La tecnología de la simulación ha provisto modelos de deshidratación del gas natural desde 1983. El modelo termodinámico original fue basado en una aproximación del coeficiente de actividad para el tratamiento de los componentes supercríticos usando la ley de Henry. Esta aproximación se actualizó en los 90's para los simuladores de procesos.

En tiempos atrás la simulación de procesos era considerada una tecnología exclusiva de expertos [1]. Para crear una herramienta de simulación, era necesario recurrir a conocimientos de ingeniería química, termodinámica, análisis numérico, lenguajes de programación y tecnologías computacionales, que hacían las labores tediosas y prolongadas por lo que en muchos

casos los trabajos quedaban inconclusos y a su vez desactualizados con el paso del tiempo.

Hoy en día existen simuladores con una basta experiencia en procesos industriales con la versatilidad de poder trabajar en estado estable y dinámico con una amplia base de datos de compuestos y propiedades, donde se incluyen los controladores (PID) y las facilidades para la adición de controles avanzados.

El trabajo se desarrolló en cuatro grandes áreas. La primera fue el modelamiento del proceso de deshidratación de la planta de glicol. El segundo paso fue la verificación de los parámetros del modelo con datos de planta. Una vez se hicieron la comparación y los ajustes necesarios, se desarrolló un estudio del sistema de control.

2. PROCEDIMIENTO

La simulación se realizó con base en los datos aportados por la empresa operadora así como la información detallada de diseño y operación de la unidad deshidratadora.

La unidad deshidratadora de glicol está típicamente representada por la torre absorbadora, un separador de condensados, un separador flash, intercambiadores de calor glicol-glicol y gas-glicol, una bomba de glicol y una unidad regeneradora de glicol húmedo (ver Figura 1).

Tabla 1. Composición del gas en base seca.

Componente	Fórmula	% Molar
Metano	CH ₄	97.9540
Nitrógeno	N ₂	1.6353
Dióxido de Carbono	CO ₂	0.0421
Etano	C ₂ H ₆	0.2704
Propano	C ₃ H ₈	0.0517
Agua	H ₂ O	0.0000
Sulfuro de Hidrógeno	H ₂ S	0.0000
Hidrógeno	H ₂	0.0000
Monóxido de Carbono	CO	0.0000
Oxígeno	O ₂	0.0000
i-Butano	C ₄ H ₁₀	0.0166
n-Butano	C ₄ H ₁₀	0.0077
i-Pentano	C ₅ H ₁₂	0.0054
n-Pentano	C ₅ H ₁₂	0.0013
n-Hexano	C ₆ H ₁₄	0.0154
n-Heptano	C ₇ H ₁₆	0.0000
n-Octano	C ₈ H ₁₈	0.0000
n-Nonano	C ₉ H ₂₀	0.0000
n-Decano	C ₁₀ H ₂₂	0.0000
Helio	He	0.0000
Argón	Ar	0.0000
	Total	100.0000
Poder calorífico real, Btu/scf		999.4
Peso molecular, Lbm/Lbmol		16.33
Gravedad específica real, 60 °F		0.5646

Propiedades físicas y de transporte: volumen de líquido saturado (Hankinson y Thompson).

$$\frac{V_S}{V^*} = V_R^0 [1 - w_{SRK} V_R^d] \quad (4)$$

Viscosidad de líquidos (Orrick y Erbar).

$$\ln \frac{h_L}{r_L M} = A + B / T \quad (5)$$

Viscosidad de los gases (Reichenberg).

$$\frac{V_S}{V^*} = V_R^0 [1 - w_{SRK} V_R^d] \quad (6)$$

Conductividad térmica de los líquidos (Latini).

$$I_L = \frac{A(1 - T_R)^{0.38}}{T_R^{1/6}} \quad (7)$$

Conductividad térmica de los gases (Misil, Thodos y Chung).

$$I_G = I^{**} + \frac{n^*}{M'} (1.32) (C_V - 3R/2) \quad (8)$$

Tensión superficial (Brock y Bird).

$$s = P_C^{\frac{2}{3}} T_C^{\frac{1}{3}} Q (1 - T_R)^a b \quad (9)$$

Modelos hidrodinámicos:

Balances de masa y energía para la torre absorbidora: plato n.

$$\frac{d(M_n)}{dt} = F_{TEG(n-1)} r_{TEG(n-1)} + F_{v(n+1)} r_{v(n+1)} - F_{TEG(n)} r_{TEG(n)} - F_{v(n)} r_{v(n)} \quad (10)$$

$$\frac{d(M_n h_n)}{dt} = F_{TEG(n-1)} r_{TEG(n-1)} h_{n-1} + F_{v(n+1)} r_{v(n+1)} H_{n+1} - F_{TEG(n)} r_{TEG(n)} h_n - F_{v(n)} r_{v(n)} H_n \quad (11)$$

Balances de masa y energía para la torre regeneradora: plato n.

$$\frac{d(M_n)}{dt} = F_{TEG(n-1)} r_{TEG(n-1)} + F_{v(n+1)} r_{v(n+1)} - F_{TEG(n)} r_{TEG(n)} - F_{v(n)} r_{v(n)} \quad (12)$$

$$\frac{d(M_n h_n)}{dt} = F_{TEG(n-1)} r_{TEG(n-1)} h_{n-1} + F_{v(n+1)} r_{v(n+1)} H_{n+1} - F_{TEG(n)} r_{TEG(n)} h_n - F_{v(n)} r_{v(n)} H_n \quad (13)$$

Ecuación de equilibrio para los hidrocarburos:

$K = [(\gamma)^{\rho} \exp(-PV/RT)] / (\phi^v P)$ donde γ es el coeficiente de actividad de los hidrocarburos. Se usa el modelo de actividad de UNIQUAC.

$$Lng_i = \ln \left(\frac{f_i}{X_i} \right) + 0.5zqi \ln \left(\frac{q_i}{f_i} \right) + L_i - \left(\frac{q_i}{f_i} \right) \sum_{j=1}^n L_j X_j + q_i \left(1.0 - \ln \sum_{j=1}^n q_j t_{ji} \right) - q_i \sum_{j=1}^n \left(\frac{q_j t_{ji}}{\sum_{k=1}^n q_k t_{kj}} \right) \quad (14)$$

Donde :

n= número total de componentes

$L_j = 0.5z(r_j - q_i) - r_j + 1$ $\theta_i = q_i x_i / \sum(q_i x_i)$

$\tau_{ij} = \exp[-(a_{ij} + b_{ij}T)/RT]$ $z = 10.0$

a_{ij} = parámetro no dependiente de T

T = temperatura absoluta

b_{ij} = parámetro dependiente de T

q_i , r_i = parámetro de área y volumen de Van der Waal

3.1 Simulación en lazo abierto

La respuesta a un aumento de un 10% del flujo del gas, de 75 a 82.5 MMscfd se presenta en la Figura 2. En este caso el flujo de glicol se mantuvo en 155 galones / hora, con la concentración de 98.6% en masa. El sistema busca un nuevo estado a espera de nuevas perturbaciones.

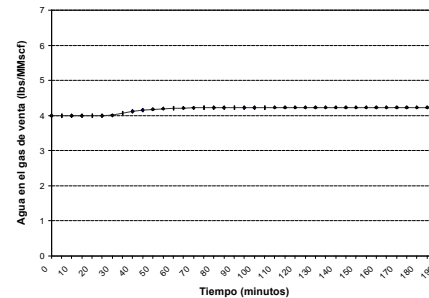


Figura 2. Variación de la cantidad de agua en el gas de salida ante una perturbación de aumento del 10% en el caudal de gas que entra a la planta deshidratadora.

La humedad en el gas de salida aumentó a 4.2 lb/MMscf. Lo que refleja lo sensible que es el proceso y la necesidad de instalar un esquema de control para esta variable

3.2 Simulación en lazo cerrado: aplicación de un esquema feedback en cascada.

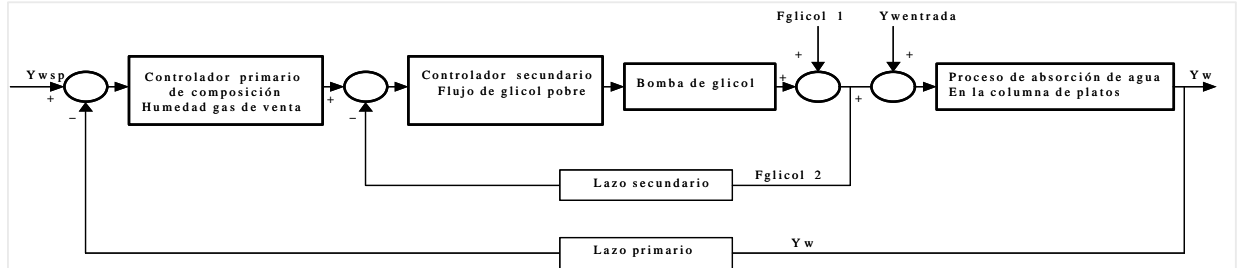


Figura 3. Diagrama de bloques del control feedback en cascada. Se somete el sistema a un esquema de control feedback en cascada. Se instala un controlador de flujo a la válvula de conducción del glicol (actúa como control secundario), en cascada con un controlador de composición (primario), instalado a la salida del gas de la torre absorbidora (ver Figuras 3 y 4).

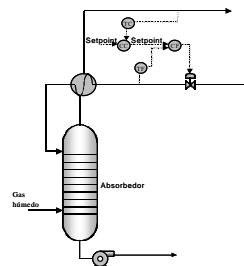


Figura 4. Diagrama del esquema de control feedback en cascada. La respuesta a la perturbación se presenta con un aumento en el flujo de glicol a la torre, este pasa de 155 a 169.4 gph para poder controlar la humedad bajo el set point de 4 lb/MMscf de agua en el gas de salida (ver Figura 5). El esquema de control feedback en cascada, hace referencia a una serie de controladores feedback instalados en una secuencia que permite la oportuna manipulación del flujo de glicol, para mantener un set point deseado. Se observa que el gasto de energía en el regenerador aumenta de 278549 a 308421 Btu/hora.

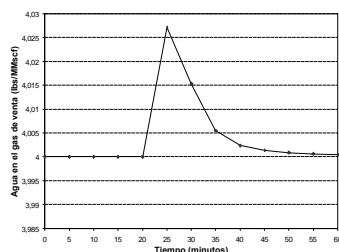


Figura 5. Variación de la cantidad de agua en el gas de salida ante una perturbación de aumento del 10% en el caudal de gas que entra a la planta deshidratadora. Esquema feedback.

3.3 Simulación en lazo cerrado: aplicación de un esquema Feedforward.

Este control requiere el pleno dominio en el conocimiento del proceso de deshidratación. Se usa un sensor para monitorear la perturbación, el controlador determina la necesidad de cambio en la variable manipulada (flujo de glicol), dependiendo del valor del set point a mantener [2]. (Ver Figuras 6 y 7).

El control feedforward sensa la perturbación antes que tenga una influencia marcada en la operación y se adelanta a manipular el flujo de glicol de tal manera que el efecto sea mínimo.

Se utilizan el método de absorción de Kremser-Brown.

$$\frac{Y_{n+1} - Y_1}{Y_{n+1} - Y_0} = \frac{A^{n+1} - A}{A^{n+1} - 1} \quad (15)$$

Donde A = función de (T, K, Y_{wentrada}), se aplica para una torre de absorción de 2 platos teóricos (n=2). El flujo de glicol se calcula por la ecuación

$$F_{\text{glicol}} = (A)(K)(F_{\text{gas}}) \quad (16)$$

La ecuación de equilibrio para el agua – TEG se calcula con el coeficiente de actividad del agua y del teg (γ) utilizando la correlación de Parrish que se describe a continuación.

$$Ln g_w = B[\tanh(t) - 1.0] - Cx_{TEG}^2 \quad (17)$$

$$Ln g_{TEG} = B^2 \ln[\cosh(t)] / A - X_w B \tanh(t) / X_{TEG} - Cx_w^2 \quad (18)$$

$$\tau = Ax_w / (Bx_{TEG})$$

$$A = \exp(-12.792 + 0.03293T)$$

$$B = \exp(0.77377 - 0.00695T)$$

$$C = 0.88874 - 0.001915T$$

$$T = \text{temperatura en Kelvin}$$

$$\gamma = \text{coeficiente de actividad}$$

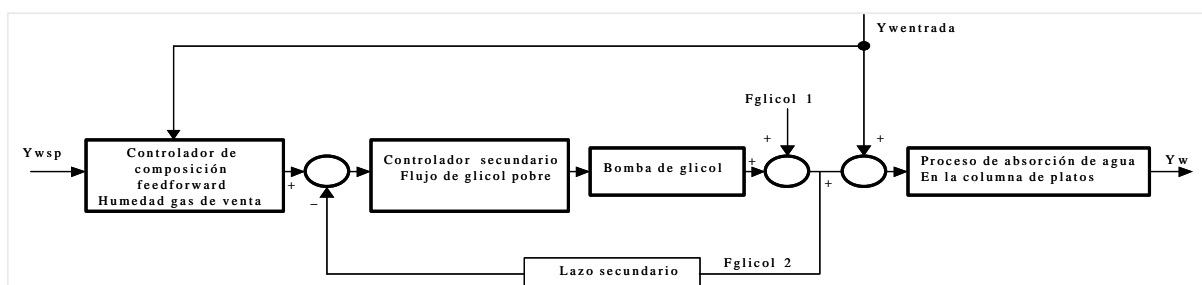


Figura 6. Diagrama de bloques del control feedforward

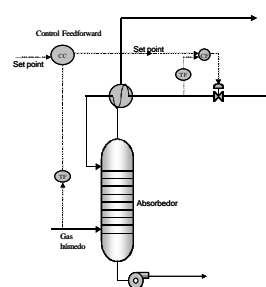


Figura 7. Diagrama del esquema de control feedforward.

En el control feedforward se lleva a cabo balances de masa, para lo cual se debe contar con las respectivas ecuaciones de equilibrio, que para este caso particular se tomaron las correlaciones desarrolladas por Parrish [3] para la mezcla gas-agua-teg, y el método de absorción de Kremser-Brown para los cálculos en la torre absorbidora, este método es muy aplicado en plantas deshidratadoras con trietilenglicol (teg) debido a que el factor de absorción es prácticamente constante a lo largo de la torre[4].

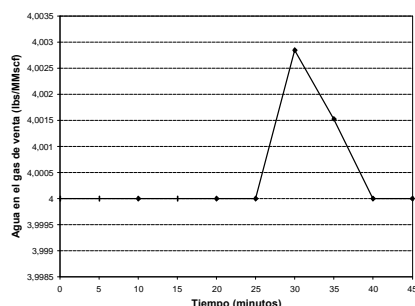


Figura 8. Variación de la cantidad de agua en el gas de salida. Esquema feedforward.

Se encontró que el flujo de glicol aumentó de 155 a 169.4 gph, y 278549 a 306070 Btu/hora. Presentando una leve disminución con el valor reportado en el esquema de control feedback.

3.4 Simulación en lazo cerrado: aplicación de un esquema de control óptimo.

El control óptimo se plantea en este punto y se observan los resultados a la misma perturbación que en los casos anteriores.

El controlador va optimizando en cada punto los resultados obtenidos, hasta llegar al set point fijado que en nuestro caso se mantiene en 4 lbs de agua por millón de pies cúbicos de gas, para este punto se plantearon las mismas ecuaciones utilizadas en el control feedforward, pero con la diferencia que se controla tanto del flujo del trietilenglicol como su composición.

La función objetivo se planteó para minimizar la cantidad de agua en el gas de salida de la torre absorbidora.

$$\text{Min} (F_g \times Y_{gs}) \quad (19)$$

Donde: F_g = flujo molar de gas

Y_{gs} = fracción molar de agua en el gas

Bajo las siguientes restricciones: La concentración del glicol varía entre 0.986 y 0.993477 fracción másica. El flujo de glicol varía entre 70 y 500 galones / hora.

La concentración de glicol se maneja con el aumento del flujo de gas de arrastre en el rehervidor, que es una forma rápida de obtener un aumento en la concentración [5]. El diagrama del esquema de control óptimo se muestra en la Figura 9.

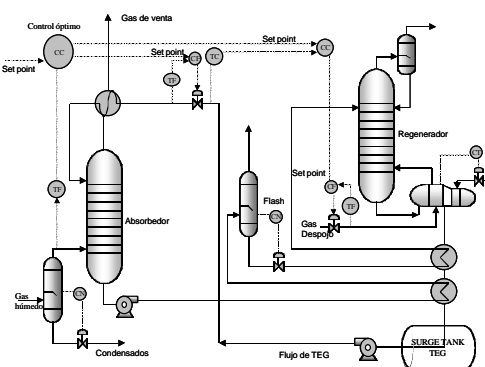


Figura 9. Diagrama del esquema de control óptimo.

El control óptimo implica una rápida respuesta para manipular las variables encargadas de mitigar el efecto de la perturbación, pero el cambio en la concentración del trietilenglicol es un proceso con un gran tiempo muerto lo que representa una respuesta demorada en el control de la humedad de gas de venta, en comparación con los otros esquemas de control. El esquema de control busca condiciones óptimas en relación a flujo y concentración del trietilenglicol.

En la Figura 10, se aprecia el diagrama de bloques del esquema de control. En la Figura 11, se observa el

El diagrama de control muestra la siguiente estructura:

- Controlador primario de composición de glicol:** Recibe la señal $Y_w entrada$ y genera la señal $X_{glicol\ xp}$.
- Controlador secundario de flujo de glicol pobre:** Recibe la señal $F_{glicol\ xp}$ y genera la señal $F_{glicol\ 1}$.
- Bomba de glicol:** Recibe la señal $F_{glicol\ 1}$ y genera la señal $F_{glicol\ 2}$.
- Proceso de absorción de agua en la columna de platos:** Recibe la señal $F_{glicol\ 2}$ y genera la salida Y .
- Proceso de regeneración del glicol pobre:** Recibe la señal $X_{glicol\ 1}$ y genera la salida $Y_{glicol\ 1}$.
- Valvula:** Recibe la señal $F_{gase\ disp\ 1}$ y genera la señal $F_{gase\ disp\ 2}$.
- Lazo primario:** Conecta la salida $Y_{glicol\ 1}$ con el controlador primario.
- Lazo secundario:** Conecta la salida $F_{gase\ disp\ 2}$ con el controlador secundario.

Gráfico 1: Variação da taxa de produção de gás de síntese (litros/min) em função do tempo (min) para o sistema de produção de gás de síntese. O gráfico mostra uma curva que sobe rapidamente de 4.000 para 4.018 litros/min em 10 minutos, depois decai gradualmente de volta para 4.000 litros/min em 180 minutos.

El control lleva a cabo el objetivo de mantener la humedad del gas en el set point deseado de 4 lb/MMscf, a condiciones de: concentración de glicol de 0.99257 fracción en peso, flujo de glicol 126.8 gph, flujo de calor en el regenerador de 256881 Btu/hora, flujo de gas de arrastre en el regenerador 0.0303355 MMscfd.

El modelo termodinámico seleccionado para la simulación del proceso de deshidratación del gas natural y la regeneración del glicol, resulta adecuado para los objetivos propuestos.

La concentración del glicol pobre es una de las variables más importantes del proceso. Por lo tanto se debe contar en las unidades de deshidratación de gas natural, las instalaciones y facilidades que permitan obtener de forma rápida glicol de alta concentración para utilizar en situaciones donde se presenten grandes perturbaciones. El funcionamiento de esta planta en la actualidad es manual, por lo resulta en ocasiones ineficiente y costoso. Las correlaciones de Parrish, para el equilibrio gas-agua-*teg*, presentan buen desempeño en los cálculos de absorción.

Con los esquemas de control feedforward y óptimo se probaron las ecuaciones de Kremser-Brown presentando una buena aproximación, lo que ratifica la preferencia de este método en el cálculo de torres absorbedoras. La correlación de equilibrio de Parrish para el sistema agua-teg, presenta buenas aproximaciones para predecir los flujos de glicol y las concentraciones.

La planta deshidratadora de gas natural de la estación Ballena, es una instalación estratégica por ser la que acondiciona el gas que abastece el 30% del consumo nacional. Por lo que la instalación de un esquema de control avanzado es necesario.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Eastman Chemical Company, Simulation Success Story, Chemical Processing Technology International, página 89, 1997/8.
- [2] Murrill. P, Fundamentals of Process Control Theory, Segunda edición, Instrument Society of America, página 156USA, 1991,.
- [3] Parrish W, Phase Behavior of the Water System for Extremely Low Dew Point Requirement, Proceedings of Sixty-fifth Annual Convention, Gas Processors Association, marzo, San Antonio, Texas, 1989.
- [4] Youn K, Improved Program for Natural Gas dehydration with TEG, Proceedings of Sixty-eighth GPA Annual Convention, San Antonio, Texas, 1990.
- [5] Worley M, Super Dehydration with Glycol, Proceedings of the Gas Conditioning Conference, The University of Oklahoma, Norman, 1967.