

Evaluación de la eficiencia de deshidratación de los glicoles convencionales

Jairo Javier Daza Gómez

Monografía de grado para optar al título de Especialista en Ingeniería de Gas

Director

Julio Cesar Pérez Angulo

Esp. en Ingeniería de Gas

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Químicas

Escuela de Ingeniería de Petróleos

Especialización en Ingeniería de Gas

Bucaramanga

2019

**DEDICATORIA**

*El camino de la vida es uno, las oportunidades para vivirla bien y al máximo son miles, por eso quiero agradecerle primero a Dios por sus bendiciones y guía, a mis padres y hermanas por ser el motor para la búsqueda de mi camino de vida, a mis docentes por el conocimiento impartido a través de estos últimos años y a todos mis compañeros de la universidad y gente de la universidad que me ha promovido y acompañado en esta maravillosa experiencia de formación profesional.*

*...a mi novia Nata y mi hermosa Emma por su amor incondicional...*

**JAIRO**

**AGRADECIMIENTOS**

*Este autor agradece de manera especial a su alma máter, la Universidad Industrial de Santander, por ser su casa de estudios, por permitirle aprender en sus aulas, conocer grandes amigos y crecer en su paso por esta gran institución.*

*A la Escuela de Ingeniería de Petróleos y todos sus docentes por ayudarme a avanzar en este camino profesional.*

*A mi director, el Ingeniero Julio Cesar Pérez, por el conocimiento que compartido y su ejemplo de lucha incansable.*

*A nuestros amigos por darnos luz en momentos oscuros.*

**Muchas gracias**

**Tabla de contenido**

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Introducción .....                                                                  | 13 |
| 1. Preliminares del proyecto .....                                                  | 15 |
| 1.1. Título .....                                                                   | 15 |
| 1.2. Alcance.....                                                                   | 15 |
| 1.3. Objetivos .....                                                                | 15 |
| 1.3.1. Objetivo general.....                                                        | 15 |
| 1.3.2. Objetivos específicos .....                                                  | 15 |
| 1.4. Marco de referencia.....                                                       | 16 |
| 1.4.1. Marco teórico.....                                                           | 16 |
| 1.4.2. Antecedentes investigativos.....                                             | 17 |
| 2. Los glicoles y sus derivados .....                                               | 18 |
| 2.1. Trietilenglicol (TEG) .....                                                    | 19 |
| 2.1.1. Punto de congelamiento.....                                                  | 21 |
| 2.1.2. Punto de Ebullición y Punto de Condensación.....                             | 21 |
| 2.1.3. Gravedad específica.....                                                     | 22 |
| 2.1.4. Capacidad calorífica. ....                                                   | 24 |
| 2.2. Tetraetilenglicol (TREG) .....                                                 | 26 |
| 2.2.1. Punto de congelamiento.....                                                  | 27 |
| 2.2.2. Punto de ebullición .....                                                    | 27 |
| 2.2.3. Punto de condensación .....                                                  | 28 |
| 2.2.4. Gravedad específica.....                                                     | 29 |
| 2.2.5. Capacidad calorífica .....                                                   | 30 |
| 3. Facilidades y proceso para la deshidratación de hidrocarburos con glicoles ..... | 31 |
| 3.1. Facilidades básicas para el proceso de deshidratación con glicol.....          | 33 |

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2. Factores básicos para el diseño de las facilidades de superficie de un proceso de deshidratación ..... | 36 |
| 3.2.1. Temperatura del gas de entrada .....                                                                 | 37 |
| 3.2.2. Presión de la torre contactora .....                                                                 | 38 |
| 3.2.3. Número de platos de la torre contactora .....                                                        | 38 |
| 3.2.4. Temperatura del glicol pobre.....                                                                    | 39 |
| 3.2.5. Concentración de glicol .....                                                                        | 40 |
| 3.2.6. Temperatura del rehervidor del glicol .....                                                          | 41 |
| 3.2.7. Presión del rehervidor.....                                                                          | 42 |
| 3.2.8. Gas de despojo.....                                                                                  | 43 |
| 3.2.9. Temperatura del gas de despojo .....                                                                 | 44 |
| 3.2.10. Tasa de circulación del glicol .....                                                                | 45 |
| 4. Análisis comparativo entre el TEG y el TREG mediante un caso de estudio .....                            | 46 |
| 5. Análisis de resultados .....                                                                             | 53 |
| 6. Conclusiones.....                                                                                        | 60 |
| 7. Recomendaciones .....                                                                                    | 62 |
| Referencias bibliográficas.....                                                                             | 63 |
| Apéndice .....                                                                                              | 65 |

**Lista de tablas**

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Estructura química de los glicoles .....                            | 18 |
| Tabla 2. Propiedades físicas del TEG .....                                   | 20 |
| Tabla 3. Mezclas constantes de ebullición.....                               | 20 |
| Tabla 4. Constantes de la correlación de gravedad específica del TEG .....   | 24 |
| Tabla 5. Constantes de la correlación de capacidad calorífica del TEG .....  | 25 |
| Tabla 6. Propiedades físicas del TREG .....                                  | 26 |
| Tabla 7. Constantes de la correlación de gravedad específica del TREG .....  | 29 |
| Tabla 8. Constantes de la correlación de capacidad calorífica del TREG ..... | 30 |
| Tabla 9. Temperatura inicial de degradación de los glicoles.....             | 35 |
| Tabla 10. Cromatografía de Pozo JJ .....                                     | 47 |
| Tabla 11. Propiedades físicas del Gas Rico .....                             | 53 |
| Tabla 12. Resultados de iteraciones.....                                     | 54 |

**Lista de figuras**

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Punto de congelamiento de una solución acuosa de TEG .....                                                | 21 |
| Figura 2. Punto de ebullición y condensación de una solución acuosa TEG .....                                       | 22 |
| Figura 3. Gravedad específica de una solución acuosa de TEG .....                                                   | 23 |
| Figura 4. Capacidad Calorífica de una solución acuosa de TEG.....                                                   | 24 |
| Figura 5. Punto de congelamiento de una solución acuosa de TREG .....                                               | 27 |
| Figura 6. Punto de ebullición de una solución acuosa de TREG.....                                                   | 28 |
| Figura 7. Punto de condensación de una solución acuosa de TREG .....                                                | 28 |
| Figura 8. Gravedad específica de una solución acuosa de TREG .....                                                  | 29 |
| Figura 9. Capacidad calorífica de una solución acuosa de TREG .....                                                 | 31 |
| Figura 10. Unidad básica de deshidratación con glicol .....                                                         | 34 |
| Figura 11. Número de platos en función de la tasa de circulación y la variación de presión del punto de rocío ..... | 39 |
| Figura 12. Equilibrio del punto de rocío en diferentes concentraciones de glicol.....                               | 40 |
| Figura 13. Variación de la concentración de glicol respecto a la variación del punto de rocío41                     |    |
| Figura 14. Concentración de glicol en función de la temperatura del rehervidor.....                                 | 42 |
| Figura 15. Efectos del gas de despojo en el glicol.....                                                             | 44 |
| Figura 16. Planta de Deshidratación Pozo JJ .....                                                                   | 50 |
| Figura 17. Recorrido de la corriente de gas a deshidratar.....                                                      | 51 |
| Figura 18. Recorrido de regeneración del glicol.....                                                                | 52 |
| Figura 19. Concentración de glicol vs temperatura del rehervidor.....                                               | 55 |
| Figura 20. Contenido de agua en Gas a Medición vs Temperatura del Rehervidor .....                                  | 56 |
| Figura 21. Contenido de agua a medición vs Concentración de glicol.....                                             | 57 |
| Figura 22. Contenido de agua retirada de la corriente de gas rico vs Temperatura del rehervidor .....               | 58 |

### **Lista de apéndices**

(Ver apéndice adjunto en el CD y puede visualizarlo en la base de datos de la biblioteca UIS)

Apéndice A. Simulación de Planta de deshidratación Pozo JJ

## Resumen

**Título:** Evaluación de la eficiencia de deshidratación de los glicoles convencionales.\*

**Autor:** Jairo Javier Daza Gómez.\*\*

**Palabras clave:** Tetraetilenglicol (TREG), trietilenglicol (TEG), deshidratación, gas rico, gas pobre.

## Descripción

La cantidad de agua presente en el gas natural producido está regulada y el marco legal colombiano tiene estipulado un contenido de agua ideal para la comercialización de este. Uno de los métodos para la deshidratación del gas natural consiste en usar glicoles convencionales, estos pueden tener diferentes resultados de acuerdo a la cantidad de agua presente en el gas. El tetraetilenglicol y el trietilenglicol tienen diferentes composiciones que pueden ayudar a retirar fácilmente el agua presente en el gas natural de acuerdo a la composición de cada uno; por otro lado, si no se evalúa la cantidad de agua presente en el gas, podría crear graves problemas en las plantas de tratamiento y en los gasoductos.

El objetivo de esta monografía es realizar un estudio comparativo entre dos tipos de glicoles convencionales para evaluar la eficiencia de deshidratación en una corriente de gas natural producido.

El gas natural posee muchos contaminantes, uno de los más comunes e indeseados es el agua, la presencia del agua en las corrientes de gas natural producido pueden generar graves daños tanto en las tuberías de transporte como en las facilidades de procesamiento del gas, como lo son la corrosión, la formación de hidratos o congelación de la tubería. Para prevenir estos daños, se realiza un proceso previo a las facilidades de procesamiento y transporte, para la extracción de la mayor cantidad de agua presente en el gas. La mayor parte del gas natural estará cerca de la saturación de agua a la temperatura y presión de producción, este proceso de deshidratación es la eliminación del agua que está asociada con los gases naturales en forma de vapor de esta forma se entra al caso de estudio para determinar cuál es el glicol es más eficiente para la deshidratación del gas natural.

---

\* Monografía de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Especialización en Ingeniería de Gas. Director: Julio Cesar Pérez.

### Abstract

**Title:** Evaluation of the efficiency of dehydration of the conventional glycols.\*

**Author:** Jairo Javier Daza Gómez.\*\*

**Keywords:** Tetraethyleneglycol (TREG), Triethyleneglycol (TEG), dehydration, wet gas, dry gas.

### Description

The amount of water present in the produced natural gas is regulated and the Colombian legal framework has provided a water ideal for the marketing of this content. One of the methods for the dehydration of natural gas is to use conventional Glycols, these can have different results according to the amount of water in the gas. The tetraethyleneglycol and triethyleneglycol have different compositions that can help the water present in the natural gas to be removed easily according to the composition of each; On the other hand, if not evaluated the amount of water present in the gas, it could create serious problems in treatment plants and pipelines.

The objective of this monograph is to carry out a comparative study between two types of conventional glycols.

Natural gas has many pollutants, one of the most common and unwanted is water, the presence of water in the streams of produced natural gas streams can generate severe damage both pipelines conveying gas processing facilities, such as corrosion, the formation of hydrates or the pipe freeze. To prevent such damage, there is a preprocessing facility for processing and transport, for the extraction of the greater amount of water in the gas. Most of the natural gas will be close to the saturation of water at the temperature and pressure of production, this process of dehydration is the removal of water which is associated with natural gas as form of steam in this way enters the case study to determine what is the glycol is more efficient for the dehydration of natural gas.

---

\* Grade Monograph

\*\* Faculty of Physical-Chemical Engineering, School of Petroleum Engineering, Specialization in Gas Engineering.  
Director: Julio Cesar Pérez.

### Introducción

El gas natural en el pozo productor contiene cantidades significativas de vapor de agua. Típicamente, el gas está saturado de agua en la condición de presión y temperatura del pozo y se requiere un proceso de deshidratación. De hecho, el contenido de agua debe reducirse para evitar la condensación de agua líquida y la formación de hidratos en el sistema de transporte de tuberías. Hoy en día, los valores típicos del contenido de agua permitido en las líneas de transmisión de gas van de 70 a 120 mg / Nm<sup>3</sup> siendo 97 mg/Nm<sup>3</sup> el contenido máximo de agua estipulado por la comisión reguladora de energía y gas (CREG) quien es la que rige sobre Colombia.

Entre los métodos disponibles para la deshidratación del gas natural, la absorción mediante glicol es una de las más comunes. La eliminación de agua de la corriente de gas tiene lugar mediante un contacto a contracorriente entre el gas, alimentado al fondo de una torre contactora, y el glicol, que es un líquido con una gran afinidad por el agua, alimentado en la parte superior de la misma (F. Gironi, 2007).

El etilenglicol (EG), dietilenglicol (DEG), trietilenglicol (TEG), tetraetilenglicol (TREG) y mezclas de estas soluciones de glicol se han usado todas en los procesos de deshidratación de las corrientes de gas natural durante décadas. Alrededor de 1950, el TEG se convirtió en el glicol más comúnmente usado en el mundo debido a su mayor punto de ebullición, proporcionado una mejor eliminación de agua sin ser descompuesto térmicamente.

El TEG y TREG se usan en algunos casos especializados; sin embargo, el TEG sigue siendo el glicol más común, usado en procesos de deshidratación de gas natural. Ha sido estimado que el TEG se usa en aproximadamente el 95% de unidades de deshidratación con glicol en el mundo (Sorensen, 1999).

## **1. Preliminares del proyecto**

### **1.1. Título**

Evaluación de la eficiencia de deshidratación de los glicoles convencionales.

### **1.2. Alcance**

Analizar cuáles son las propiedades de deshidratación del trietilenglicol y tetraetilenglicol y determinar qué beneficios adicionales presenta el tetraetilenglicol en dicho proceso.

### **1.3. Objetivos**

**1.3.1. Objetivo general.** Evaluar la eficiencia de los glicoles convencionales para la optimización de proceso de deshidratación en corrientes de gas natural producidas mediante un análisis bibliográfico y determinar cuál de estos es el más conveniente para el proceso.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Describir las de propiedades del trietilenglicol y tetraetilenglicol mediante el uso de material bibliográfico, para obtener una base de estudio con la cual desarrollar un análisis comparativo.
- Analizar y describir el método y facilidades de deshidratación del gas natural usando glicoles convencionales.

- Comparar las eficiencias de deshidratación entre los glicoles de estudio mediante un análisis bibliográfico.
- Determinar cuál de los glicoles de estudio es más eficiente para el proceso deshidratación de gas natural mediante el análisis de los datos obtenidos a partir del estudio bibliográfico.

#### 1.4. Marco de referencia

##### 1.4.1. Marco teórico

- **Los glicoles y sus derivados:** Los glicoles de interés comercial son compuestos alifáticos que poseen dos grupos hidroxilo por molécula. Son líquidos viscosos, incoloros y prácticamente inodoros. Los glicoles y sus derivados son líquidos inflamables. Sin embargo, sus puntos de ignición están por encima de la temperatura ambiente normal y sus vapores alcanzan concentraciones situadas dentro del rango inflamable o explosivo solo cuando se calienta (hornos), razón por la cual entrañan un riesgo moderado (Mager Stellman, Osinsky, & Markkanen, 1998).
- **Trietilenglicol (TEG):** Tiene la estructura  $\text{HO}(\text{CH}_2)_2\text{O}(\text{CH}_2)_2\text{O}(\text{CH}_2)_2\text{OH}$ , se usa en aproximadamente 95% de las unidades de deshidratación de glicol para las corrientes de gas natural. Esto es debido a la estabilidad química del TEG, así como a su bajo costo y alta afinidad con el agua. Además, la solubilidad de aromáticos hidrocarburos en TEG también es muy importante debido a las emisiones de hidrocarburos de las unidades de regeneración de glicol (Breil & Kontogeorgis, 2009).
- **Tetraetilenglicol (TREG):** Tiene la estructura  $\text{HO}(\text{CH}_2)_2\text{O}(\text{CH}_2)_2\text{O}(\text{CH}_2)_2\text{O}(\text{CH}_2)_2\text{OH}$ , donde los pares de oxígeno solos internos se tienen en cuenta al introducir tres sitios adicionales en el sitio de cuatro (4C) esquema (Breil & Kontogeorgis, 2009).

**1.4.2. Antecedentes investigativos.** Los glicoles han demostrado ser los desecantes líquidos más efectivos en el uso actual ya que tienen alta higroscopicidad, baja presión de vapor, altos puntos de ebullición y baja solubilidad en y de gas natural. Los cuatro tipos de glicol que se han utilizado con éxito para deshidratar el gas natural son etilenglicol (EG), dietilenglicol (DEG), trietilenglicol (TEG) y tetraetilenglicol (T4EG). El TEG ha ganado una aceptación casi universal como el más rentable de los glicoles debido a la depresión superior del punto de rocío, el costo de operación y la confiabilidad de la operación. Sin embargo, hay varios problemas operativos con los deshidratadores de glicol (Gandhidasan, Al-Farayedhi, & Al-Mubarak, 2000).

Cuando se emplea un agente secante tal como un glicol o una alanol amina en unidades de secado de gas comerciales convencionales, se elimina agua del glicol o alanol amina acuosa por calentamiento. El vapor de agua producido por el calentamiento se elimina y el glicol regenerado, alanol amina u otro agente de secado líquido, se pone en contacto de nuevo con el gas húmedo. Sin embargo, este método de secado de gases tiene serias desventajas en operaciones comerciales debido a que el simple calentamiento del agente de secado líquido no elimina una cantidad suficiente de agua. La eficiencia de la operación de secado con gas es una función del agua residual en el desecante regenerado conocido como agente deshidratante (Wiley, 1998).

El vapor de agua puede eliminarse del gas natural al pasar el gas a contracorriente a través de desecantes líquidos tales como cloruro de calcio, cloruro de litio, glicoles, cloruro de zinc, etc. Generalmente se consideran los siguientes factores al seleccionar un desecante adecuado para la deshidratación: solubilidad, volatilidad, viscosidad, corrosividad, costo y disponibilidad del gas. Para deshidratar el gas natural, los desecantes líquidos deben tener alta higroscopicidad, baja presión de vapor, baja solubilidad, baja viscosidad, altos puntos de ebullición, excelente

estabilidad al calor y la descomposición química, y deben ser baratos y fácilmente disponibles (Gandhidasan P. , 2003).

## 2. Los glicoles y sus derivados

Los glicoles de interés comercial son compuestos alifáticos que poseen dos grupos hidroxilo por molécula. Son líquidos viscosos, incoloros y prácticamente inodoros. Los glicoles y sus derivados son líquidos inflamables. Sin embargo, sus puntos de ignición están por encima de la temperatura ambiente normal y sus vapores alcanzan concentraciones situadas dentro del rango inflamable o explosivo solo cuando se calienta (hornos), razón por la cual entrañan un riesgo moderado (J.A. Sorensen, 1999).

El etilenglicol (EG), dietilenglicol (DEG), trietilenglicol (TEG) y tetraetilenglicol (TREG) son los glicoles más usados en la industria petrolera, siendo el (di, tri y tetra) etilenglicol un conjunto de 2, 3 y 4 cadenas extras de EG respectivamente debido a la síntesis de éste por la hidrólisis del óxido-etileno que a diferentes puntos de presión y temperatura se logra degradar o regenerarse y formar el nuevo componente con el cual lograr el proceso de deshidratar de un gas (J.A. Sorensen, 1999).

Tabla 1.  
*Estructura química de los glicoles*

| Nombre            | Formula                                | Temperatura máxima recomendada de regeneración °F |
|-------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Etilenglicol (EG) | HO-(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> -OH | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>      |

*Continuación tabla 1.*

|                          |                                                                                           |                                               |     |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----|
| Dietilenglicol (DEG)     | HO-((CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> -O)-(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> -OH               | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub> | 325 |
| Trietilenglicol (TEG)    | HO-((CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> -O) <sub>2</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> -OH | C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub> | 360 |
| Tetraetilenglicol (TREG) | HO-((CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> -O) <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> -OH | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O <sub>5</sub> | 400 |

*Nota.* Adaptado de “Fundamentals of natural gas processing”. CRC press. Columbus, Ohio; 2006.

En la tabla 1 se muestra la estructura química de cada glicol, los cuales son caracterizados por su forma molecular y por sus propiedades físicas: Punto de burbuja, punto de flasheo, punto de congelamiento, peso molecular, solubilidad, viscosidad, entre otras propiedades.

### 2.1. Trietilenglicol (TEG)

Tiene la estructura HO (CH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> O (CH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> O (CH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> OH, se caracteriza por ser transparente, incoloro, poco volátil, moderadamente viscoso y totalmente soluble en agua y soluciones líquidas orgánicas. Bajo condiciones normales, no se detecta ningún olor peculiar, pero bajo altas concentraciones de vapor puede llegar a percibirse un olor dulce. El trietilenglicol tiene propiedades similares a las de otros glicoles y es preferiblemente usado en aplicaciones que requieran un alto punto de ebullición, alto peso molecular o menor volatilidad que la del dietilenglicol (The DOW Chemical Company, 2007).

El TEG se usa en aproximadamente el 95% de las unidades de deshidratación de glicol para las corrientes de gas natural. Esto es debido a la estabilidad química del TEG, así como a su bajo costo y alta afinidad con el agua. Además, la solubilidad de hidrocarburos aromáticos en TEG también es muy importante debido a las emisiones de hidrocarburos de las unidades de regeneración de glicol. Los usos finales para el TEG son numerosos entre ellos podemos encontrar su hidroscopticidad y baja volatilidad en procesos de deshidratación de gas natural, su solubilidad con

en procesos de separación de hidrocarburos parafínicos y aromáticos, y su bajo punto de congelación en los procesos de transferencia de calor (The DOW Chemical Company, 2007). En la tabla 2 se presentan algunas de las propiedades físicas más relevantes del TEG.

Tabla 2.

*Propiedades físicas del TEG*

| <b>Propiedades</b>                    | <b>Unidades científicas</b> | <b>Unidades comunes</b> |
|---------------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Temperatura de autoignición           | 349 °C                      | 660 °F                  |
| Punto de ebullición a 760 mm Hg       | 288 °C                      | 550 °F                  |
| Presión crítica                       | 3313.3 kPa                  | 24852 mm Hg             |
| Temperatura crítica                   | 440 °C                      | 824 °F                  |
| Punto de congelamiento                | -4.3 °C                     | 24.3 °F                 |
| Calor de vaporización                 | 62.5 kJ/gmol                | 179 Btu/lb              |
| Peso molecular                        | 150.17 g/mol                | 150.17 g/mol            |
| Temperatura de descomposición inicial | 240 °C                      | 404 °F                  |
| Solubilidad en agua a 20 °C, wt%      | 100%                        | 100%                    |
| Gravedad específica 20/20 °C          | 1.1255                      | 1.1255                  |
| Densidad de vapor (Aire=1)            | 5.2                         | 5.2                     |
| Presión de vapor a 20 °C              | <0.001 kPa                  | <0.01 mm Hg             |
| Viscosidad a 20 °C                    | 49.0 mPs                    | 49.0 cP                 |

*Nota.* Adaptado de “Huntsman Corporation”. Technical Bulletin, Triethylene Glycol (TEG). Texas; (2007).

En la tabla 3 se presentan algunas de las mezclas constantes de ebullición del trietilenglicol con su respectiva gravedad específica y punto de ebullición para cada uno de los componentes de la mezcla.

Tabla 3.

*Mezclas constantes de ebullición*

| <b>Componentes</b>                         | <b>Gravedad específica a 20/20 °C</b> | <b>Punto de ebullición a 760 mm Hg, 0 °C</b> |
|--------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------|
| Trietilenglicol (3 mm Hg) – Dietilenglicol | 1.1255 – 1.1184                       | 135.3 – 108.0                                |
| Trietilenglicol - Agua                     | 1.1255 – 1.0000                       | 288.0 – 100.0                                |
| Trietilenglicol (10mm Hg) – Agua           | 1.1255 – 1.0000                       | 161.0 – 11.0                                 |

*Nota.* Adaptado de “The Dow Chemical Company”. Tetraethylene Glycol (TREG). Midland; 2007.

**2.1.1. Punto de congelamiento.** En la figura 1 se ilustra el comportamiento del punto de congelación de una solución acuosa de trietilenglicol a diferentes temperaturas.

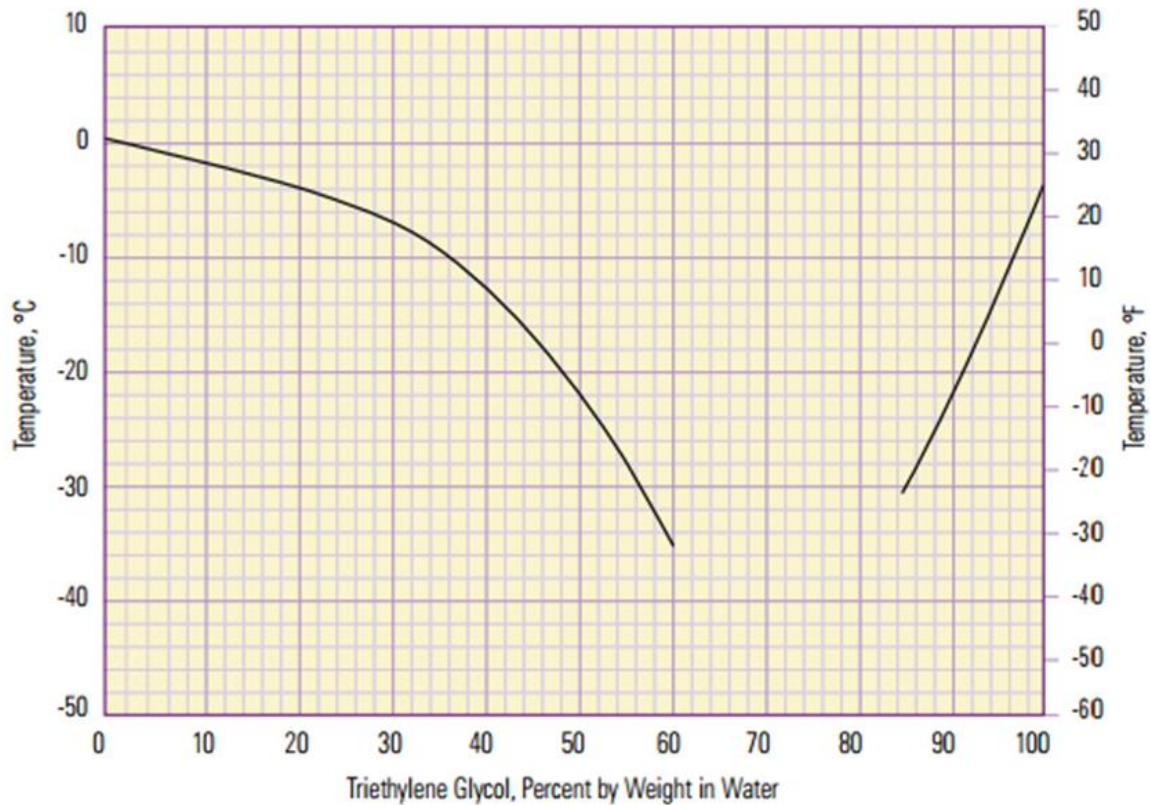


Figura 1. Punto de congelamiento de una solución acuosa de TEG. Adaptado de The Dow Chemical Company (2007).

**2.1.2. Punto de Ebullición y Punto de Condensación.** La figura 2 permite analizar el comportamiento del punto de ebullición y condensación versus el comportamiento de una solución acuosa de trietilenglicol a una atmósfera.

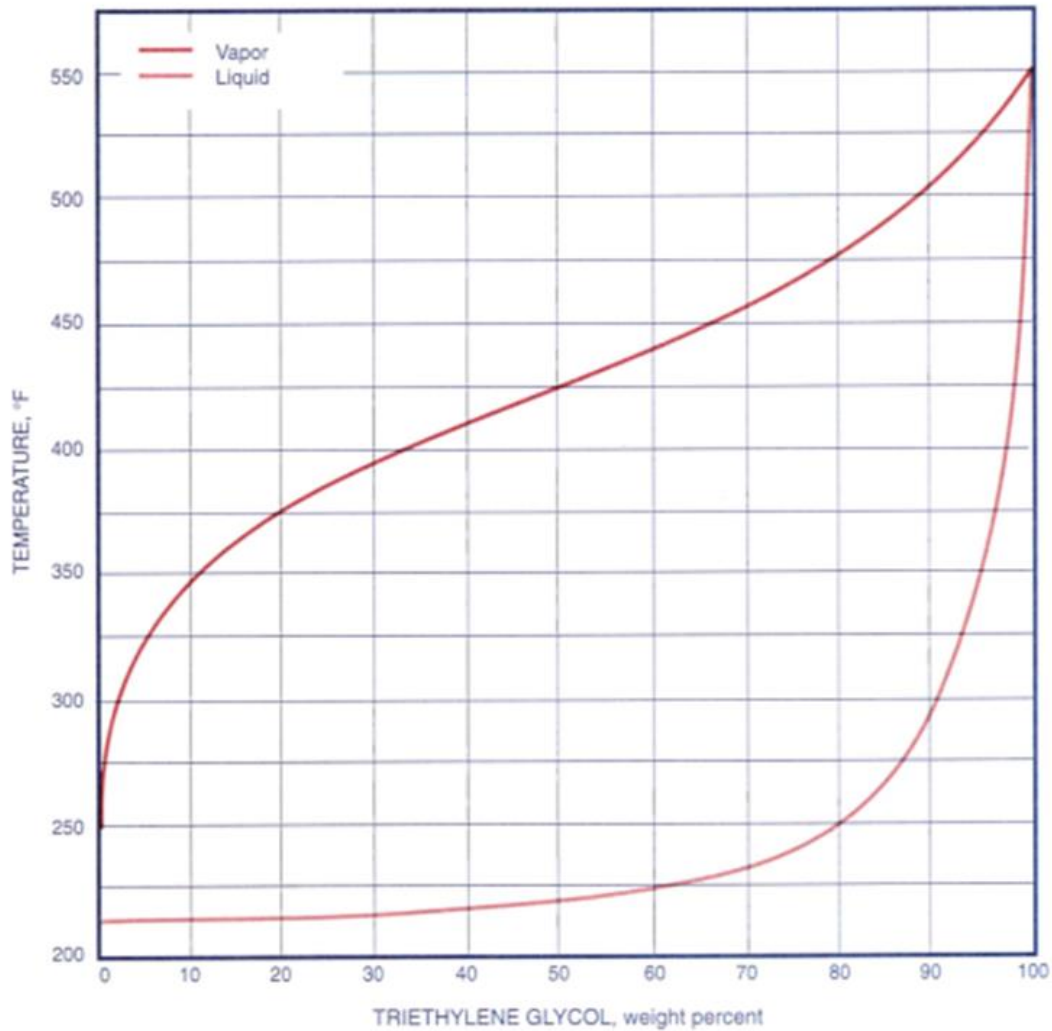


Figura 2. Punto de ebullición y condensación de una solución acuosa TEG. Adaptado de Huntsman Corporation (2001).

**2.1.3. Gravedad específica.** De acuerdo a la figura 3 podemos analizar la variación de la gravedad específica con respecto a la temperatura en una solución acuosa de trietilenglicol.

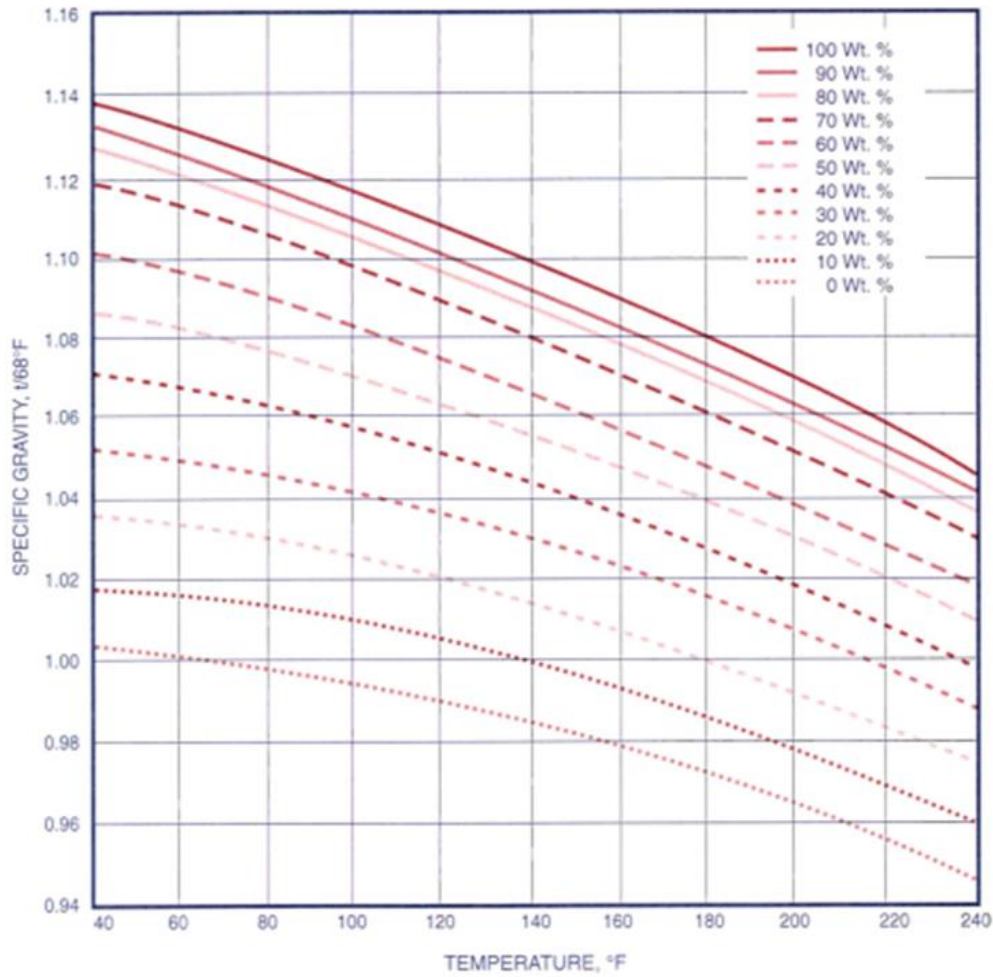


Figura 3. Gravedad específica de una solución acuosa de TEG. Adaptado de Huntsman Corporation (2001).

La correlación utilizada para estimación de esta propiedad está en función del porcentaje en peso del trietilenglicol en una solución acuosa. Además, se cuenta con un juego de constantes que dependen del rango de temperatura en la que se encuentre el TEG.

$$\gamma_{TEG} = A + Bx + Cx^2 \quad (1)$$

Donde A, B y C son las variables que dependen de la temperatura y son mostrados en la tabla 4 (The DOW Chemical Company, 2007).

Tabla 4.

*Constantes de la correlación de gravedad específica del TEG*

| T °F | A      | B                       | C                        |
|------|--------|-------------------------|--------------------------|
| -50  | 1.0502 | $1.8268 \times 10^{-3}$ | $-5.2009 \times 10^{-6}$ |
| 0    | 1.0319 | $1.7466 \times 10^{-3}$ | $-4.8304 \times 10^{-6}$ |
| 50   | 1.0121 | $1.5247 \times 10^{-3}$ | $-2.8794 \times 10^{-6}$ |
| 100  | 0.9920 | $1.7518 \times 10^{-3}$ | $-5.4955 \times 10^{-6}$ |
| 150  | 0.9804 | $1.5410 \times 10^{-3}$ | $-4.3884 \times 10^{-6}$ |
| 200  | 0.9627 | $1.4068 \times 10^{-3}$ | $-3.5089 \times 10^{-6}$ |
| 250  | 0.9413 | $1.3205 \times 10^{-3}$ | $-2.7991 \times 10^{-6}$ |
| 300  | 0.9177 | $1.2511 \times 10^{-3}$ | $-2.0848 \times 10^{-6}$ |

Nota. Adaptado de "The Dow Chemical Company". Tetraethylene Glycol (TREG). Midland; 2007.

**2.1.4. Capacidad calorífica.** En la figura 4 se muestra la variación de la capacidad calorífica del trietilenglicol a diferentes temperaturas.

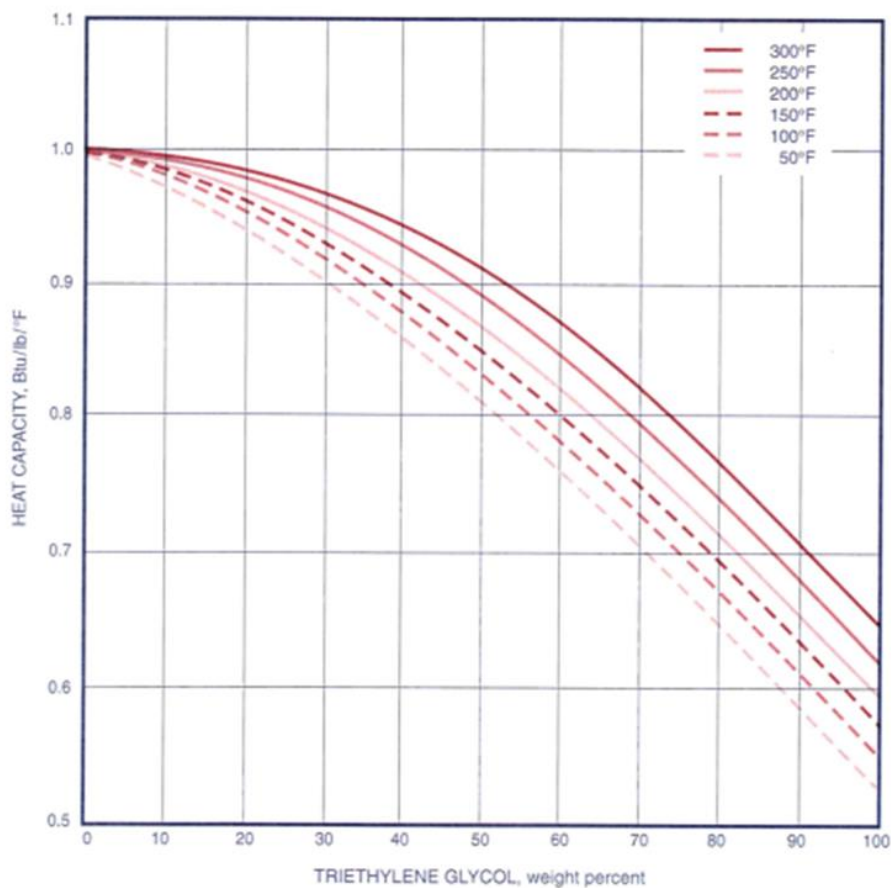


Figura 4. Capacidad Calorífica de una solución acuosa de TEG. Adaptado de Huntsman Corporation (2001).

La siguiente correlación permite determinar el calor específico del TEG que está en función de la temperatura y la concentración en peso.

$$C_p = A + \frac{5}{9}B(T - 32) + \frac{25}{81}C(T - 32)^2 \quad (2)$$

Donde A, B y C son las constantes de la correlación mostrados en la tabla 5 (The DOW Chemical Company, 2007).

Tabla 5.  
*Constantes de la correlación de capacidad calorífica del TEG*

| <b>%PESO</b> | <b>A</b> | <b>B</b>                 | <b>C</b>                 |
|--------------|----------|--------------------------|--------------------------|
| 0            | 1.00540  | -2.7286x10 <sup>-4</sup> | 2.9143x10 <sup>-6</sup>  |
| 10           | 0.96705  | -27144x10 <sup>-5</sup>  | 2.4952x10 <sup>-6</sup>  |
| 20           | 0.92490  | 2.0429x10 <sup>-4</sup>  | 2.4524x10 <sup>-6</sup>  |
| 30           | 0.88012  | 4.3000x10 <sup>-4</sup>  | 1.6952x10 <sup>-6</sup>  |
| 40           | 0.83229  | 6.2286x10 <sup>-4</sup>  | 1.3714x10 <sup>-6</sup>  |
| 50           | 0.78229  | 7.9286x10 <sup>-4</sup>  | 1.0857x10 <sup>-6</sup>  |
| 60           | 0.72200  | 9.4000x10 <sup>-4</sup>  | 8.0000x10 <sup>-7</sup>  |
| 70           | 0.66688  | 1.0871x10 <sup>-4</sup>  | 4.7620x10 <sup>-7</sup>  |
| 80           | 0.60393  | 1.2043x10 <sup>-4</sup>  | 2.8571x10 <sup>-7</sup>  |
| 190          | 0.53888  | 1.2800x10 <sup>-4</sup>  | 1.9048x10 <sup>-7</sup>  |
| 100          | 0.48614  | 1.3929x10 <sup>-4</sup>  | -5.7140x10 <sup>-8</sup> |

*Nota.* Adaptado de “The Dow Chemical Company”. Tetraethylene Glycol (TREG). Midland; 2007.

De esta manera gracias a los datos proporcionados por las diferentes compañías que fabrican estas mezclas de glicoles (como lo son HUSTSMAN o DOW) que brindan información detallada de las diferentes propiedades físicas y su comportamiento a diferentes condiciones, se pueden seguir analizando las diferentes situaciones en la que se tenga que utilizar una mezcla o los procesos que impliquen la implementación de TEG.

## 2.2. Tetraetilenglicol (TREG)

Tiene la estructura  $\text{HO}(\text{CH}_2)_2\text{O}(\text{CH}_2)_2\text{O}(\text{CH}_2)_2\text{OH}$ , se caracteriza por ser transparente, incoloro, prácticamente sin olor, con baja volatilidad, moderadamente viscoso y por ser un líquido higroscópico. Este glicol es completamente miscible con agua y muchos líquidos orgánicos. El TREG tiene propiedades similares con el dietilenglicol y el trietilenglicol y son preferiblemente usados en aplicaciones que requieran una elevada temperatura de ebullición, alto peso molecular, o baja higroscopia (The DOW Chemical Company, 2007).

Las propiedades de solubilidad del tetraetilenglicol son muy importantes en muchas aplicaciones. Existen numerosas formas de uso para el TREG, entre ellas se encuentra la higroscopicidad y la baja volatilidad en procesos de deshidratación de gas, en procesos de separación de hidrocarburos no aromáticos, aromáticos y parafinas puede ser utilizada como solvente, y en procesos de transferencia de calor es comúnmente usado por su bajo punto de congelamiento (The DOW Chemical Company, 2007). Algunas de las propiedades físicas del tetraetilenglicol son presentadas en la tabla 6.

Tabla 6.

*Propiedades físicas del TREG*

| Propiedades                           | Unidades científicas | Unidades comunes |
|---------------------------------------|----------------------|------------------|
| Temperatura de autoignición           | 358 °C               | 676 °F           |
| Punto de ebullición a 760 mm Hg       | 329.7 °C             | 625 °F           |
| Presión crítica                       | 2590 kPa             | 19430 mm Hg      |
| Temperatura crítica                   | 522 °C               | 971.6 °F         |
| Punto de congelamiento                | -4.1 °C              | 24.6 °F          |
| Calor de vaporización                 | 62.9 kJ/gmol         | 139 Btu/lb       |
| Peso molecular                        | 194.23 g/mol         | 194.23 g/mol     |
| Temperatura de descomposición inicial | 240 °C               | 464 °F           |
| Solubilidad en agua a 20 °C, wt%      | 100%                 | 100%             |
| Gravedad específica 20/20 °C          | 1.1247               | 1.1247           |
| Densidad de vapor (Aire=1)            | 6.7                  | 6.7              |
| Presión de vapor a 20 °C              | <0.001 kPa           | <0.01 mm Hg      |
| Viscosidad a 20 °C                    | 58.3 mPs             | 58.3 cP          |

Nota. Adaptado de "The Dow Chemical Company". Tetraethylene Glycol (TREG). Midland; 2007.

**2.2.1. Punto de congelamiento.** La figura 5 permite analizar el comportamiento del punto de congelación de una solución acuosa de trietilenglicol a diferentes temperaturas.

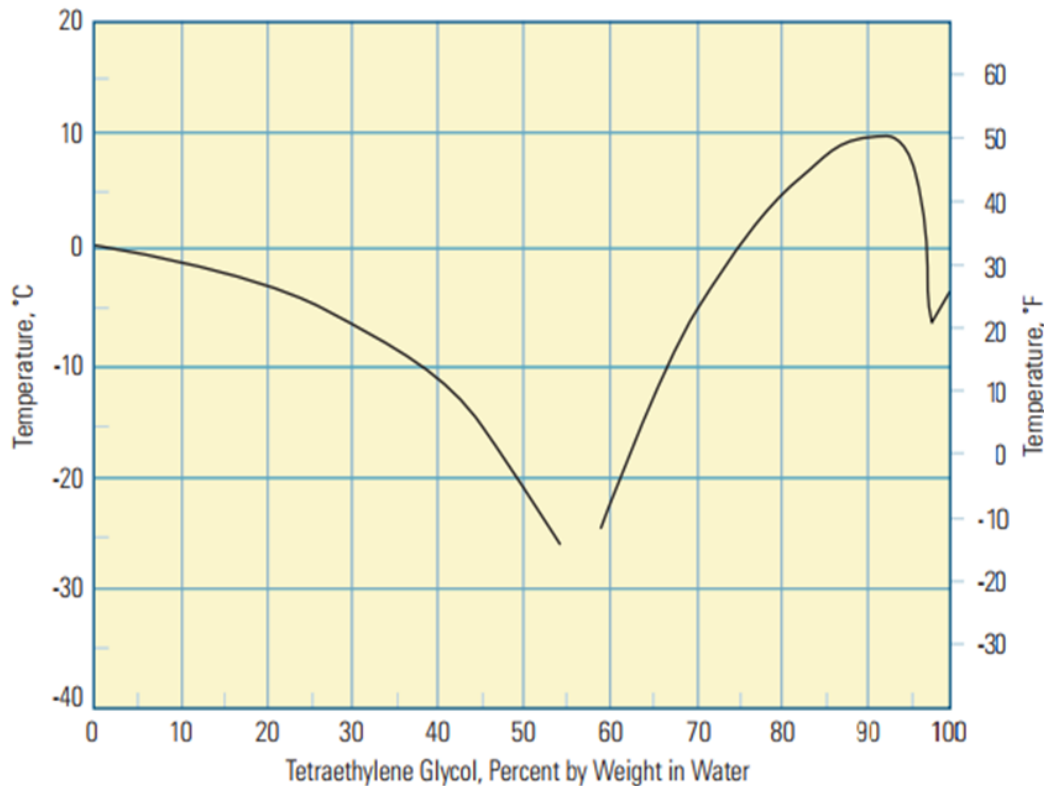


Figura 5. Punto de congelamiento de una solución acuosa de TREG. Adaptado de The Dow Chemical Company (2007).

**2.2.2. Punto de ebullición.** Gracias a la figura 6 se puede analizar el comportamiento del punto de ebullición versus el comportamiento de una solución acuosa de trietilenglicol a diferentes presiones.

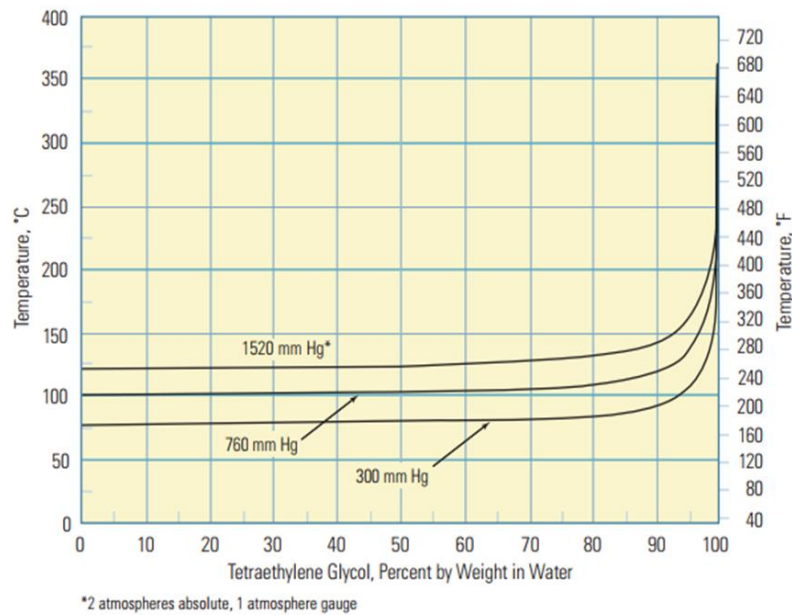


Figura 6. Punto de ebullición de una solución acuosa de TREG. Adaptado de The Dow Chemical Company (2007).

**2.2.3. Punto de condensación.** La figura 7 tiene como objetivo ilustrar el comportamiento de condensación en una mezcla acuosa de tetraetilenglicol a diferentes presiones.

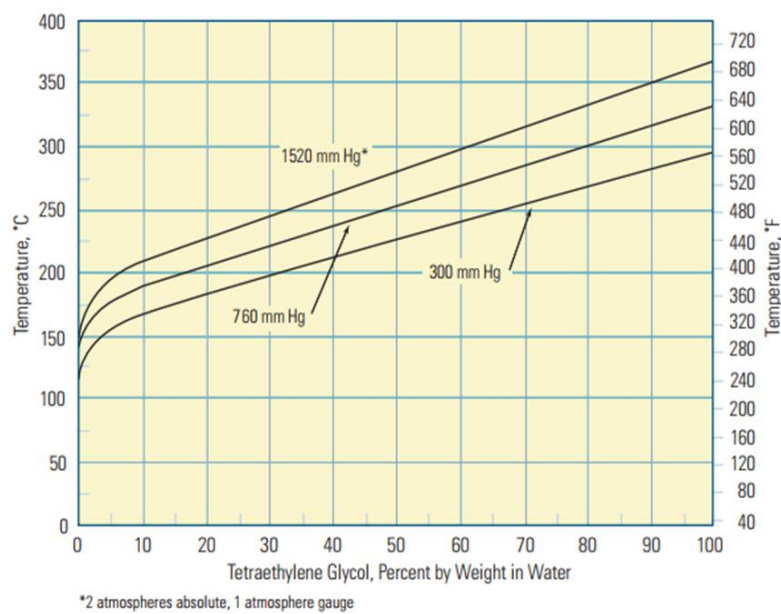


Figura 7. Punto de condensación de una solución acuosa de TREG. Adaptado de The Dow Chemical Company (2007).

**2.2.4. Gravedad específica.** De acuerdo a la figura 8 podemos analizar la variación de la gravedad específica con respecto a la temperatura en una solución acuosa de trietilenglicol.

La correlación usada para la estimación de esta propiedad está en función del porcentaje en peso del tetraetilenglicol en una solución acuosa. Además, se cuenta con un juego de constantes que dependen del rango de temperatura en el que se encuentra el TREG.

$$\gamma_{TREG} = A + Bx + Cx^2 + Dx^3 \quad (3)$$

Donde A, B y C son constantes de la correlación mostrada en la tabla 7 con diferentes temperaturas (The DOW Chemical Company, 2007).

Tabla 7.

*Constantes de la correlación de gravedad específica del TREG*

| T °F | A       | B         | C          | D          |
|------|---------|-----------|------------|------------|
| -50  | 1.05640 | 7.5641E-7 | 4.0919E-5  | -2.8619E-7 |
| 0    | 1.03750 | 2.5720E-4 | 3.3614E-5  | -2.4276E-7 |
| 50   | 1.01860 | 5.1746E-4 | 2.6173E-5  | -1.9836E-7 |
| 100  | 0.99475 | 1.0756E-3 | 1.3584E-5  | -1.2727E-7 |
| 150  | 0.98275 | 9.0500E-4 | 1.3921E-5  | -1.2557E-7 |
| 200  | 0.96482 | 1.1059E-3 | 7.5105E-6  | -8.6531E-8 |
| 250  | 0.94294 | 1.5448E-3 | -3.0186E-6 | -2.6118E-8 |
| 300  | 0.91908 | 2.1030E-3 | -1.5607E-5 | 4.4972E-8  |

Nota. Adaptado de “The Dow Chemical Company”. Tetraethylene Glycol (TREG). Midland; 2007.

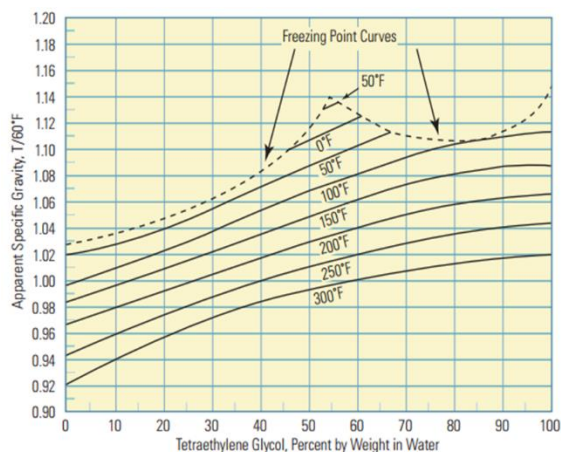


Figura 8. Gravedad específica de una solución acuosa de TREG. Adaptado de The Dow Chemical Company (2007).

**2.2.5. Capacidad calorífica.** En la figura 9 se muestra la variación de la capacidad calorífica del trietilenglicol en función de diferentes temperaturas. La siguiente correlación permite determinar el calor específico del TEG que está en función de la temperatura y la concentración en peso.

$$C_p = A + BT + CT^2 \quad (4)$$

Donde A, B y C son constantes de la correlación mostrada en la tabla 8 (The DOW Chemical Company, 2007).

Tabla 8.

*Constantes de la correlación de capacidad calorífica del TREG*

| <b>%PESO</b> | <b>A</b> | <b>B</b>                 | <b>C</b>                 |
|--------------|----------|--------------------------|--------------------------|
| 0            | 1.03210  | -7.3306x10 <sup>-4</sup> | 4.6741x10 <sup>-6</sup>  |
| 10           | 0.99642  | -3.5754x10 <sup>-4</sup> | 3.3173x10 <sup>-6</sup>  |
| 20           | 0.95633  | -2.0686x10 <sup>-5</sup> | 2.1006x10 <sup>-6</sup>  |
| 30           | 0.91178  | 2.7753x10 <sup>-4</sup>  | 1.0241x10 <sup>-6</sup>  |
| 40           | 0.86278  | 5.3709x10 <sup>-4</sup>  | 8.7771x10 <sup>-8</sup>  |
| 50           | 0.80933  | 7.5801x10 <sup>-4</sup>  | -70840x10 <sup>-7</sup>  |
| 60           | 0.75142  | 9.4028x10 <sup>-4</sup>  | -1.3644x10 <sup>-6</sup> |
| 70           | 0.68905  | 1.0839x10 <sup>-3</sup>  | -1.8802x10 <sup>-6</sup> |
| 80           | 0.62224  | 1.1889x10 <sup>-3</sup>  | -2.2559x10 <sup>-6</sup> |
| 190          | 0.55096  | 1.2552x10 <sup>-3</sup>  | -2.4913x10 <sup>-6</sup> |
| 100          | 0.47524  | 1.2829x10 <sup>-3</sup>  | -2.5866x10 <sup>-6</sup> |

*Nota.* Adaptado de “The Dow Chemical Company”. Tetraethylene Glycol (TREG). Midland; 2007.

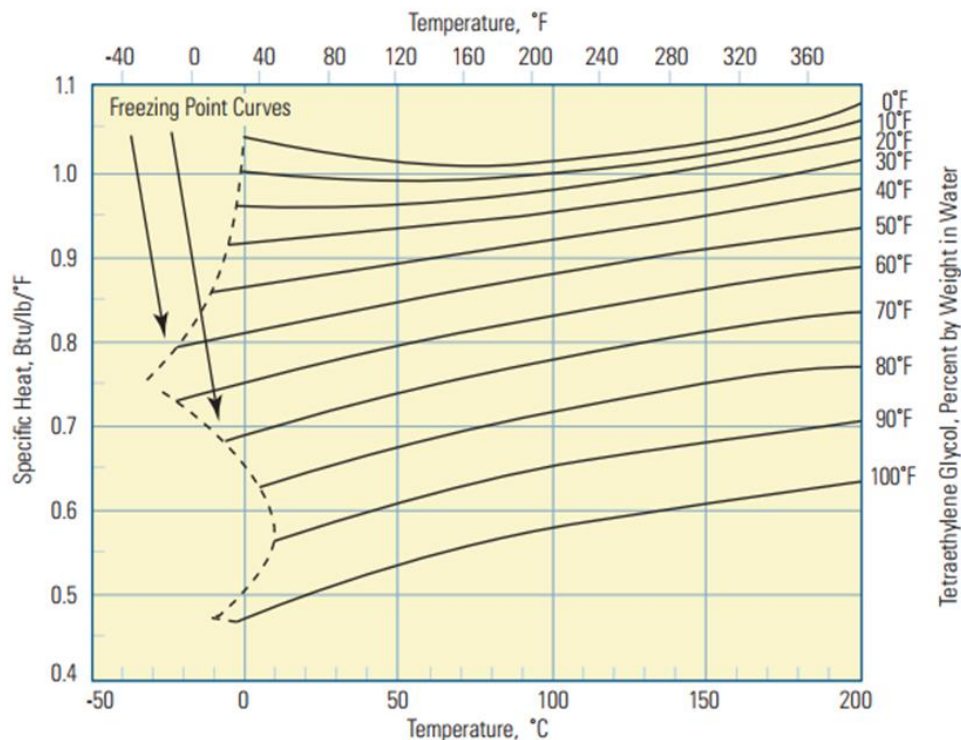


Figura 9. Capacidad calorífica de una solución acuosa de TREG. Adaptado de The Dow Chemical Company (2007).

Gracias a los datos proporcionados y la información detallada por las diferentes compañías que fabrican estas mezclas de glicoles, como lo son HUSTSMAN o DOW, podemos analizar los comportamientos físicos que presenta el TREG a diferentes condiciones de presión, temperatura y composición. De esta manera si es necesario saber más información con respecto a las propiedades físicas de los glicoles nos podremos remitir a la información de fabricantes.

### 3. Facilidades y proceso para la deshidratación de hidrocarburos con glicoles

La deshidratación de gas es el proceso de remover vapor de agua presente en una corriente de gas, bajando la temperatura para que las partículas de agua presente en la corriente de gas se condensen.

Esta temperatura es llamada punto de rocío de un gas. La mayoría de los gases de venta tienen una especificación del máximo contenido permitido de vapor de agua presente en la corriente de gas. El valor del máximo contenido de vapor de agua en Colombia se encuentra en 97 mg/Nm<sup>3</sup> o 6 lb/MPCS (CREG, Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2007).

Procesos de deshidratación para puntos de rocío por debajo de la temperatura a la cual el gas se someterá evitará la formación de hidratos y corrosión con el agua de condensación. La última consideración es especialmente importante en corrientes de gas que contengan CO<sub>2</sub> o H<sub>2</sub>S debido a que estos componentes ácidos al contacto con el agua condensada podrían formar un ácido muy corrosivo. La capacidad de una corriente de gas por mantener agua es reducida tanto como la corriente es comprimida o enfriada. De cualquier manera, la corriente de gas que aun permanezca con saturación de agua podrá ser removida con una variación de presión o temperatura (Ken Arnold, 1999).

Una numerosa cantidad de líquidos poseen la habilidad de absorber agua del gas. Ahora, una cantidad más reducida tiene unos cuantos criterios para un proceso comercial rentable, son altamente higroscópicos, no se solidifican en una solución concentrada, no corrosivos, no forman precipitaciones con los componentes del gas, son fáciles de regenerar en altas concentraciones, pueden ser separados de una mezcla con facilidad, son esencialmente no solubles en líquidos hidrocarburos y son relativamente estables en la presencia de componentes de sulfuro y dióxido de carbono bajo condiciones normales de operación (Campbell, 1992).

Existen varios glicoles que se asemejan a todos los criterios de procesos, entre ellos tenemos al DEG, TEG y TREG, siendo el TEG el más utilizado en los procesos de deshidratación. En el caso del DEG es un poco más económico y por esta razón es usado algunas veces, pero la pérdida

remanente de este en el proceso, no representa ningún ahorro. Comparado con el TEG, el DEG tiene mucha más pérdida remanente, ofrece menor caída de presión del punto de rocío y la regeneración a altas concentraciones genera más dificultades. Por estas razones es difícil la justificación de una unidad de DEG, sin embargo, cada año se construye una bajo condiciones especiales (Campbell, 1992).

El TREG es más viscoso y más costoso que los otros glicoles. La única ventaja real es que el TREG tiene una presión de vapor menor por lo que reduce las pérdidas remanentes. Es probablemente usado en esos casos relativamente raros donde el proceso de deshidratación con glicol es usado en un gas el cual se excede una temperatura alrededor de 50 °C o 122 °F (Campbell, 1992).

### **3.1. Facilidades básicas para el proceso de deshidratación con glicol**

La figura 10 muestra una unidad básica de procesamiento de deshidratación con glicol, sin importar el glicol utilizado. No se muestra un separador de tamaño completo al lado de la torre absorbadora, una pieza importante de equipo en el proceso. Tampoco se muestra ningún equipo de enfriamiento a parte del proceso de deshidratación. Cuando es posible enfriar el gas húmedo de entrada con aire o con un intercambiador de líquidos desde la absorbadora, entonces es recomendable hacerlo (Campbell, 1992).

El gas rico o gas húmedo, libre de agua, entra por la parte inferior de la torre absorbadora o contactora y fluye a contracorriente con el glicol. El contacto Glicol-Gas ocurre en los platos o empaques. Los platos de burbujeo han sido usados históricamente, pero los empaques

estructurados son usados comúnmente hoy en día. El gas pobre o gas seco sale por la parte superior de la torre absorbidora.

El glicol pobre entra por la parte superior de los platos o empaques y cae a través de ellos absorbiendo agua en su camino. El glicol rico en agua sale por la parte inferior de la torre (Campbell, 1992).

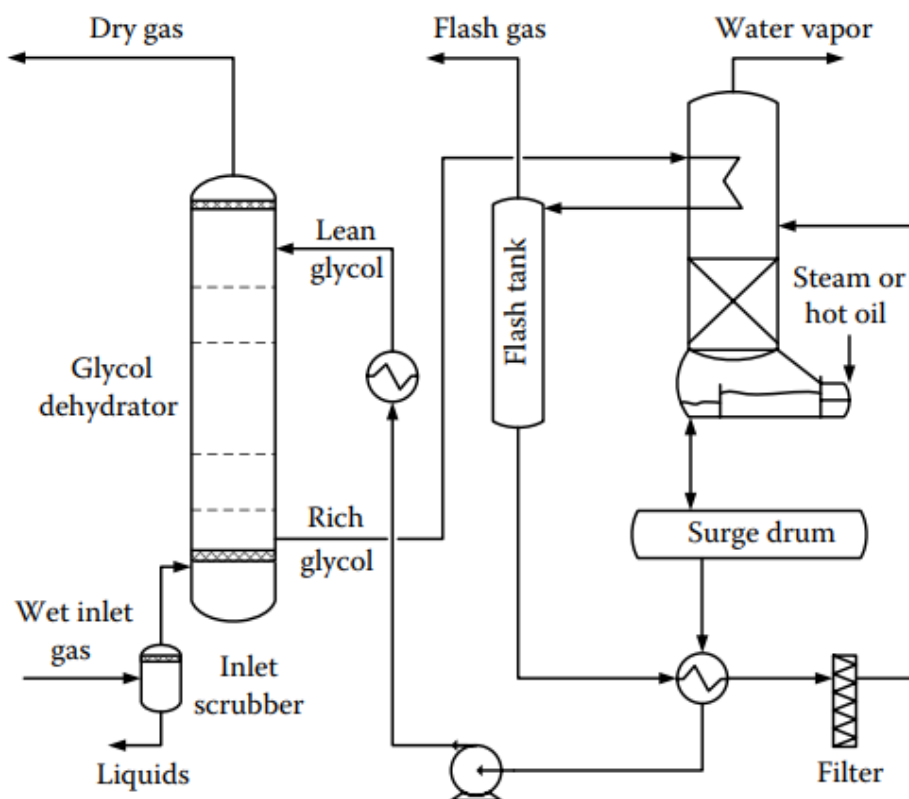


Figura 10. Unidad básica de deshidratación con glicol. Adaptado de Faulkner L. (2006). Fundamentals of Natural Gas Processing.

El glicol rico sale por la parte inferior de la torre contactora y fluye a través de un condensador de reflujo hasta la parte superior de la torre regeneradora de glicol. El glicol rico entra entonces a un tanque de flasheo donde la mayoría de los componentes volátiles de hidrocarburos son

vaporizados. Después de esto el glicol rico entra a la torre de regeneración donde el agua es removida por un proceso de destilación. En esta torre es donde la concentración de glicol incrementa para cumplir los requerimientos del glicol pobre (Campbell, 1992).

La torre de regeneración de glicol está diseñada para trabajar a una atmosfera de presión. En la tabla 9 se muestran las temperaturas de descomposición de los glicoles en presencia de oxígeno.

Tabla 9.  
*Temperatura inicial de degradación de los glicoles*

| GLICOL | TEMPERATURA (°C - °F) |
|--------|-----------------------|
| EG     | 165 – 329             |
| DEG    | 164 – 328             |
| TEG    | 206 – 404             |
| TREG   | 238 – 460             |

*Nota.* Adaptado de “Campbell Petroleum Series”. Gas Conditioning and Processing, Séptima edición, Vol. 2. U.S.A; 1992.

En una unidad contactora normal, se ha encontrado que el rehervidor puede operar a altas temperaturas sin una descomposición notable, por lo tanto, se fija la composición del glicol pobre a condiciones de su punto de burbuja. Esta presión se determina con la siguiente expresión de acuerdo a la ley de Raoult.

$$x_w = \left(\frac{P}{P_v}\right)(Y_w) \quad (5)$$

Dónde:  $x_w$  = Fracción molar de agua en el glicol pobre

$P$  = Presión del sistema

$P_v$  = Presión de vapor de agua a la temperatura del rehervidor

$Y_w$  = Fracción molar de agua en el rehervidor (en equilibrio con  $x_w$ )

Una vez que se haya utilizado la temperatura máxima admisible (para maximizar la presión de vapor,  $P_v$ ),  $P$  y/o  $Y_w$  se debe bajar en valor si se necesita menor concentración de agua. Una bomba de succión podría ser usada para disminuir la presión (Campbell, 1992).

### **3.2. Factores básicos para el diseño de las facilidades de superficie de un proceso de deshidratación**

Para diseñar correctamente las facilidades de superficie es necesario conocer el caudal de gas máximo, la temperatura y presión máxima, la composición del gas y el punto de burbuja o contenido máximo de agua en el gas de salida. De acuerdo a esto podremos calcular:

- La mínima concentración de glicol en la solución pobre que entra por la parte superior de la torre absorbadora para conocer la especificación de agua en el gas de salida.
- La circulación de glicol pobre para recoger del gas la cantidad necesaria de agua para cumplir las especificaciones del gas de salida.
- La cantidad requerida de placas contactoras para la deshidratación manteniendo el equilibrio de concentración y flujo

Para obtener estas repuestas es necesario tener una correlación de equilibrio gas-líquido para un sistema agua-glicol (Campbell, 1992).

**3.2.1. Temperatura del gas de entrada.** A presión constante, el contenido de agua del gas entrante incrementa tanto como la temperatura del gas entrante incrementa. A altas temperaturas, el glicol tendrá que remover tres veces más agua en una tubería para alcanzar la especificación de 6 lb/MPCS.

Un incremento en la temperatura del gas de entrada podría resultar en un incremento en el diámetro requerido para la torre contactora esto debido al aumento de la velocidad del gas.

Una temperatura superior a 120 °F en el gas de entrada podría resultar en una gran pérdida de glicol por degradación. Es posible usar glicoles a altas temperaturas, pero es más común pre enfriar el gas que entra a la torre contactora por debajo de 120 °F. La mayoría del gas es enfriado, mientras esta temperatura este por encima de la temperatura de formación de hidratos, la torre contactora requerida será más pequeña (Ken Arnold, 1999).

La mínima temperatura del gas de entrada esta normalmente por encima de la de formación de hidratos y debería permanecer superior a los 50 °F, por debajo de esta temperatura el glicol es demasiado viscoso, por encima de 60 °F hasta 70 °F el glicol puede formar una emulsión estable con los líquidos hidrocarburos presentes en el gas y causar formación de espumas en la torre contactora. Existe un equilibrio económico entre el sistema de intercambiador de calor para enfriar el gas y el tamaño de la unidad de glicol, entre mayor sea el enfriador menor será el tamaño de la torre contactora (Ken Arnold, 1999).

**3.2.2. Presión de la torre contactora.** La presión de la torre contactora tiene pequeños efectos en el proceso de absorción con glicol mientras permanezcan por debajo de 3000 psig.

A una temperatura constante el contenido de agua del gas de entrada disminuye cuando la presión aumenta, una menor cantidad de agua debe ser retirada del gas si se está deshidratando en una presión más alta. Además, una pequeña torre contactora puede ser usada a altas presiones tanto como la velocidad del gas es reducida, lo que lleva a una disminución del diámetro requerido de la torre contactora (Stewart, 2014).

A bajas presiones, menor es el espesor de pared requerido para contener la presión un diámetro determinado de torre contactora, es entonces que existe una relación económica entre la presión de operación y el costo de la torre contactora. Normalmente, la presión en un proceso de deshidratación económico se encuentra entre los 500 a 1200 psi (Stewart, 2014).

**3.2.3. Número de platos de la torre contactora.** El glicol y el gas no alcanzan el equilibrio en cada plato. La eficiencia comúnmente usada para el diseño se encuentra en un 25%. es decir, si una bandeja de equilibrio es necesario, se especifican cuatro bandejas reales. En torres con bandejas de casco burbuja, el espaciamiento de la bandeja es normalmente de 24 pulgadas. Es necesario una mayor cantidad de bandejas en cuanto mayor sea la depresión de punto de rocío para una tasa de circulación de glicol constante y la concentración del glicol pobre.

Especificando una mayor cantidad de platos es posible generar un ahorro de combustible, porque el calor necesario en el rehervidor está directamente relacionado con la tasa de circulación.

En la figura 11 se muestra cómo la cantidad de platos puede tener un efecto mucho mayor en la depresión del punto de rocío que la tasa de circulación (Ken Arnold, 1999).

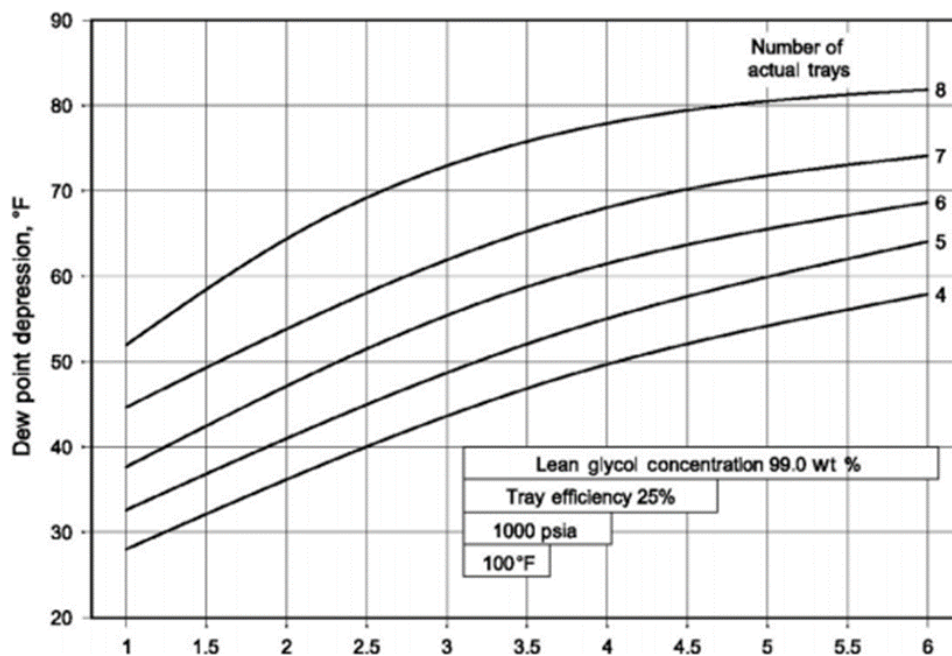


Figura 11. Número de platos en función de la tasa de circulación y la variación de presión del punto de rocío. Adaptado de Arnold K., Stewart M. (1999). Surface Production Operations.

**3.2.4. Temperatura del glicol pobre.** La temperatura del glicol pobre que entra en la torre contactora tiene efectos en la caída de presión de burbuja del gas y debería ayudar a minimizar la tasa de circulación requerida. Las altas pérdidas de glicol que existen en la torre contactora pueden ser causadas cuando el glicol pobre está demasiado caliente. Por otra parte, la temperatura del glicol pobre deberá permanecer ligeramente mayor a la de la torre contactora para prevenir la condensación de hidrocarburos en la torre contactora y por consiguiente la formación de espumas de glicol. la mayoría de los diseños requieren una temperatura de glicol pobre 10°F más caliente que el gas que sale de la contactora (Ken Arnold, 1999).

**3.2.5. Concentración de glicol.** Cuanto mayor sea la concentración de glicol pobre, mayor será el punto de rocío para una determinada circulación de glicol y el número de bandejas.

La figura 12 muestra el punto de equilibrio del punto de rocío a diferentes temperaturas para un gas que está en contacto con varias concentraciones de glicol. Actualmente el punto de rocío para el gas pobre que sale de la torre contactora deberá ser 10°F a 20°F más caliente que el que entra a la torre.

La figura 13 muestra que el incremento de la concentración de glicol puede tener grandes efectos en la variación de presión del punto de rocío que la que en la tasa de circulación (Ken Arnold, 1999).

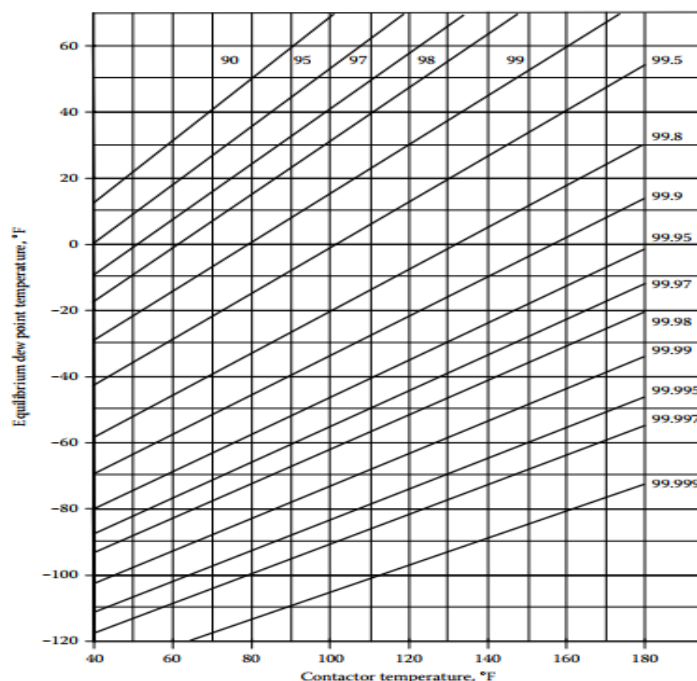


Figura 12. Equilibrio del punto de rocío en diferentes concentraciones de glicol. Adaptado de Faulkner L. (2006). Fundamentals of Natural Gas Processing.

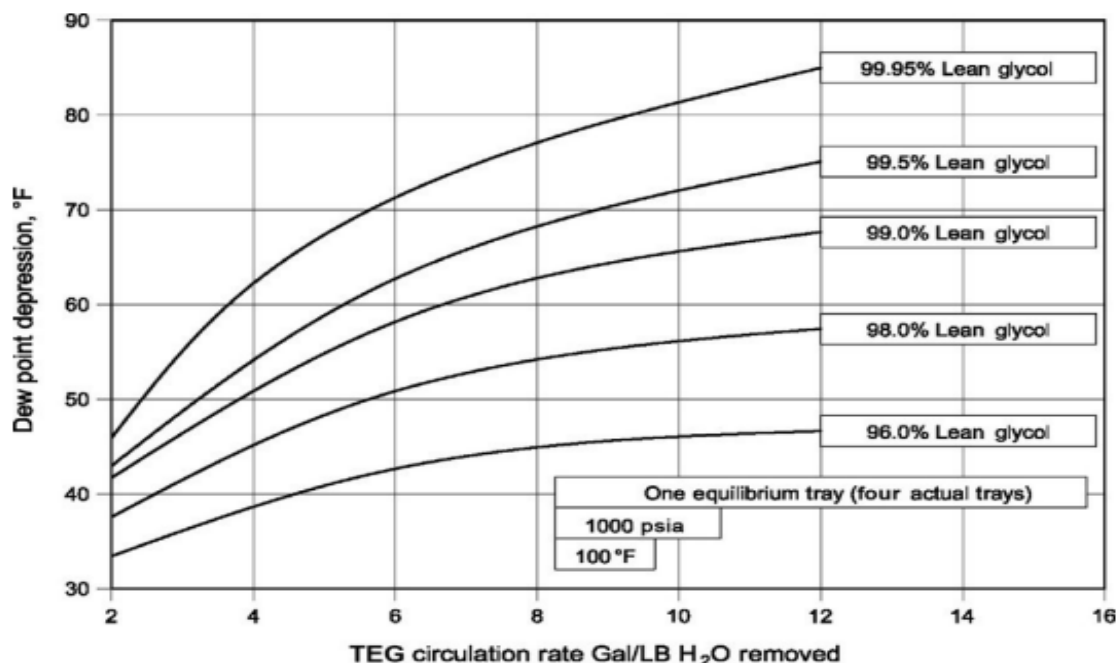


Figura 13. Variación de la concentración de glicol respecto a la variación del punto de rocío. Adaptado de Stewart M. (2014). Surface Production Operations.

**3.2.6. Temperatura del rehervidor del glicol.** La temperatura del rehervidor controla la concentración de agua en el glicol pobre. Cuanto mayor sea la temperatura mayor será la concentración, como se muestra en la figura 14. La temperatura del rehervidor para el TEG está limitada a 400 °F, lo que marca el límite máximo de concentración del glicol pobre sin gas de despojo. Se considera una buena práctica el limitar la temperatura del rehervidor entre 370°F y 390°F para minimizar la degradación del glicol, esto limita efectivamente la concentración de glicol entre 98.5% y 98.9% (Stewart, 2014).

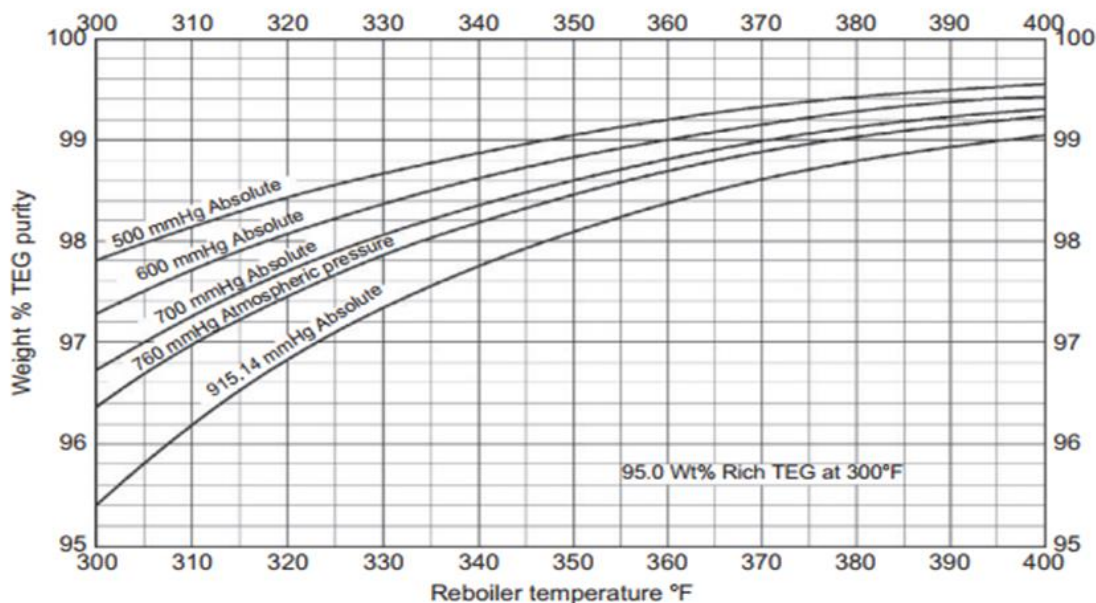


Figura 14. Concentración de glicol en función de la temperatura del rehervidor. Adaptado de Stewart M. (2014). Surface Production Operations.

**3.2.7. Presión del rehervidor.** Presiones por encima de la presión atmosférica en el rehervidor puede significar una reducción significativa en la concentración del glicol y la eficiencia de deshidratación.

La torre regeneradora debe ser adecuadamente ventilada y los empaques deben ser periódicamente remplazados para prevenir el exceso de una contra presión en el rehervidor (Ken Arnold, 1999).

A presiones por debajo de la presión atmosférica, la temperatura de ebullición de la mezcla agua-glicol (glicol rico) disminuya y una gran concentración de glicol pobre es posible a la misma temperatura del rehervidor. Los rehervidores son raramente operados en condiciones de vacío en una instalación de deshidratación de gas debido a la complejidad agregada y al hecho de que cualquier fuga de aire resultará en la degradación del glicol. En adición es normalmente menos

costoso usar gas de despojo. De igual forma, si la concentración de glicol requerida es próxima a 99.5%, se considera usar una presión del rehervidor de 500mm Hg (10 psia) así como el uso de gas de despojo (Ken Arnold, 1999).

**3.2.8. Gas de despojo.** La concentración de glicol que sale del rehervidor puede ser menor debido al contacto del glicol con el gas de despojo. A menudo, el gas rico que está saturado con vapor de agua a temperatura ambiente y entre 25 a 100 psig. A condiciones atmosféricas de presión y temperatura un rehervidor puede absorber más de 100000 lb/MPCS. En la mayoría de las situaciones se requiere adicionar gas combustible para aumentar la temperatura del rehervidor y a su vez incrementar la concentración de glicol es menos efectivo que la adicción de gas de despojo para conseguir el mismo efecto.

Por lo tanto, normalmente es deseable usar gas de despojo solamente para incrementar la concentración de glicol entre 98.5% y 98.9%, que se puede alcanzar con la temperatura normal del rehervidor y una contra presión normal en la torre de regeneración. Si la velocidad de circulación del glicol debe incrementarse por encima del diseño en una unidad existente y el hervidor no puede alcanzar la temperatura deseada, a menudo es posible usar gas de arrastre para lograr la concentración de glicol pobre deseada (Ken Arnold, 1999).

La figura 15 muestra el efecto sobre la concentración del glicol del flujo de gas de despojo para varias temperaturas en el rehervidor. Mayores concentraciones son obtenidas si el gas de despojo tiene contacto con el glicol pobre en una torre que tiene una o más etapas de empaques antes de ingresar al rehervidor.

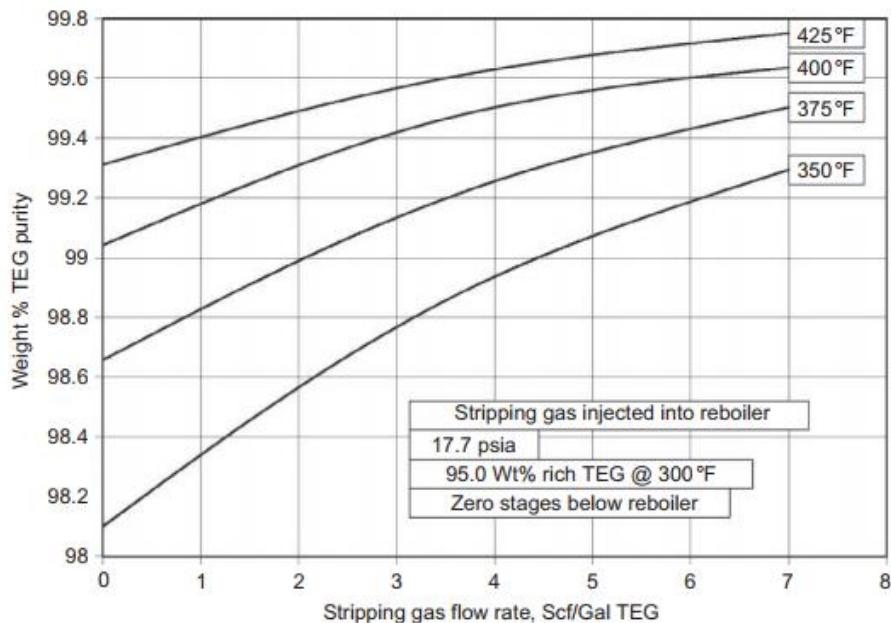


Figura 15. Efectos del gas de despojo en el glicol. Adaptado de Stewart M. (2014). Surface Production Operations.

**3.2.9. Temperatura del gas de despojo.** Una alta temperatura en la parte superior de la torre regeneradora puede incrementar las pérdidas de glicol debido al exceso de vaporización. La temperatura de ebullición del agua es de 212 °F y la temperatura de ebullición de los glicoles está entre 280 °F y 600°F. La temperatura recomendada en el tope de la torre es aproximadamente de 225 °F.

Cuando la temperatura excede los 250 °F las pérdidas por vaporización del glicol son considerables. La temperatura del tope de la torre puede ser disminuida aumentando el flujo de glicol a través de la tubería de reflujo (Ken Arnold, 1999).

Si la temperatura del tope de la torre es demasiado baja, se puede condensar más agua y la carga de calor del rehervidor. Demasiada tasa de circulación de glicol por la tubería de reflujo puede en ocasiones disminuir la temperatura en el tope de la torre por debajo de 220 °F. La mayoría de las

tuberías de reflujo tiene un sistema de derivación manual o automática para controlar la temperatura del gas de despojo (Ken Arnold, 1999).

El gas de despojo tiene como propósito reducir la temperatura del tope de la torre de regeneración para producir la misma cantidad de taza de reflujo.

**3.2.10. Tasa de circulación del glicol.** Cuando el número de platos contactores y la concentración de glicol es determinada, la presión del punto de rocío de un gas saturado es función de la taza de circulación del glicol. Entre mayor sea el contacto de glicol pobre con el gas rico, mayor es la cantidad de vapor de agua que es extraída del gas. Mientras que la concentración de glicol afecta principalmente el punto de rocío del gas seco, la tasa de glicol controla la cantidad total de agua que se puede eliminar. La mínima cantidad de glicol para asegurar un buen contacto glicol- gas es cerca de dos galones de glicol por cada libra de agua removida. Siete galones de glicol por libra de agua removida es la máxima cantidad establecida. La mayoría de los procesos de deshidratación de gas están diseñados para trabajar aproximadamente a tres galones de glicol por libra de agua removida (Ken Arnold, 1999).

Una excesiva tasa de circulación es probable que sobrecargue el rehervidor y evite la regeneración de glicol. El calor requerido en el rehervidor es directamente proporcional con la taza de circulación. Un incremento en la taza de circulación podría generar una disminución de la temperatura del rehervidor, de la concentración de glicol y así mismo una disminución considerable de la cantidad removida de vapor de agua presente en la corriente de gas. Solamente si la temperatura del rehervidor permanece constante, un aumento de la velocidad de circulación disminuirá el punto de rocío (Ken Arnold, 1999).

La concentración de glicol pobre es determinada por la temperatura del rehervidor, el flujo de gas stripping y la presión del rehervidor (Stewart, 2014).

$$L = \frac{\frac{\Delta W}{W_i} W_i Q_g}{24} \quad (6)$$

Dónde:  $\Delta W = W_i - W_o$

$L$  = Tasa de circulación del glicol (gal/h)

$\Delta W / W_i$  = Tasa de circulación (gal GLICOL/lb H<sub>2</sub>O)

$W_i$  = Contenido de agua en el gas de entrada (lb H<sub>2</sub>O/MPCS)

$W_o$  = Contenido de agua deseado en el gas de salida (lb H<sub>2</sub>O/MPCS)

$Q_g$  = Flujo de gas (MPCS)

#### 4. Análisis comparativo entre el TEG y el TREG mediante un caso de estudio

Para el análisis comparativo entre los glicoles se realizó un diseño de una planta de deshidratación de gas mediante la herramienta de simulación Aspen HYSYS V8.8, el cual fue proporcionado por la Universidad Industrial de Santander únicamente con fines educativos (ver apéndice A).

Para realizar el diseño de la planta de deshidratación se inició con una cromatografía extendida de un caso de estudio el cual se nombrará Pozo JJ, esta será presentada en la tabla 10 junto con su

respectivo caudal, presión y temperatura los cuales fueron adaptados de acuerdo a la teoría, de igual modo se tomaron valores promedio siguiendo la teoría para el diseño de la planta.

Tabla 10.

*Cromatografía de Pozo JJ*

| Identificación de la muestra | Pozo JJ  |
|------------------------------|----------|
| Caudal pozo (MMscfd)         | 40       |
| Presión (psig)               | 1200     |
| Temperatura (°F)             | 120      |
| Agua                         | 0.000000 |
| Oxígeno                      | 0.013323 |
| Nitrógeno                    | 0.019266 |
| Dióxido de Carbono           | 0.015321 |
| Metano                       | 0.903503 |
| Etano                        | 0.025438 |
| Propano                      | 0.009288 |
| i-Butano                     | 0.005403 |
| n-Butano                     | 0.001268 |
| Neo-Pentano                  | 0.000050 |
| i-Pentano                    | 0.001588 |
| n-Pentano                    | 0.000280 |
| 2,2-Dimetilbutano            | 0.000010 |
| Ciclopentano                 | 0.000070 |
| 2,3-Dimetilbut               | 0.000070 |
| Isohexano                    | 0.000130 |
| 3-Metilpentano               | 0.000090 |
| n-Hexano                     | 0.000090 |
| Metilciclopentano            | 0.000280 |
| Isoheptano                   | 0.000040 |
| Benceno                      | 0.000030 |
| Ciclohexano                  | 0.000080 |
| 2,3-Dimetilpentano           | 0.000030 |
| 3-Metilhexano                | 0.000030 |
| 1t,3-Dimetilcyclopentano     | 0.000050 |
| 1c,3-Dimetilcyclopentano     | 0.000050 |
| IsoOctano                    | 0.000130 |
| n-Heptano                    | 0.000050 |
| Metilciclohexano             | 0.000140 |
| 1,1,3-Trimetilciclopentano   | 0.000000 |
| Etilciclopentano             | 0.000005 |
| 2,5 Dimetilhexano            | 0.000005 |
| 1t,2c,3-Trimetilciclopentano | 0.000050 |
| Tolueno                      | 0.000050 |
| 2-Metilheptano               | 0.000010 |
| 1t,etil3 metilciclopentano   | 0.000000 |
| 1t,2-Dimetilciclohexano      | 0.000040 |
| n-Octano                     | 0.000010 |

*Continuación tabla 10.*

|                           |                 |
|---------------------------|-----------------|
| 1c,4-Dimetilciclohexano   | 0.000030        |
| Parafinas C9              | 0.000060        |
| 2,3Dimetilheptano         | 0.000130        |
| o-Xileno                  | 0.000000        |
| Etilciclohexano           | 0.000000        |
| 1,1,3-Trimetilciclohexano | 0.000300        |
| Etilbenceno               | 0.000090        |
| m-Xileno                  | 0.000130        |
| p-Xileno                  | 0.000140        |
| n-Nonano                  | 0.000050        |
| Decanos                   | 0.000310        |
| Undecano                  | 0.000000        |
| Dodecanos+                | 0.002497        |
| <b>Total</b>              | <b>1.000000</b> |

*Nota.* Adaptado de “M. Sc. Hermes Peña Velásquez”. Software para el Diseño de Plantas de Gas Natural. Bucaramanga; 2019.

En la figura 16 se muestra la planta diseñada para la evaluación de la eficiencia de deshidratación del TEG y el TREG.

La evaluación se realizó de acuerdo a la variación de la temperatura de regeneración del glicol en cuestión, esta temperatura de regeneración está directamente relacionada con la temperatura a la cual trabaja el rehervidor de la torre regeneradora, por lo tanto mediante la variación de la temperatura del rehervidor se contrastó esta eficiencia de deshidratación gracias a la medición en los puntos de rocío del gas rico y el gas que se entrega a medición.

En la figura 17 se resalta el camino del gas desde que entra a la planta de deshidratación hasta que es enviado al punto de medición para ser transportados, en el caso de que no cumpla con las especificaciones de transporte, se considerará que el proceso ha sido ineficiente y es necesario ajustar las concentraciones del glicol con el cual se está trabajando.

El recorrido de circulación del glicol se presenta en la figura 18, este será aplicado a ambos glicoles variando la temperatura del rehervidor, en esta figura se podrá ver tanto el recorrido del glicol pobre como el recorrido del glicol rico.

Una vez se estabiliza la simulación se comienza a variar la temperatura del rehervidor tanto para planta que contiene TEG como para la planta que contiene TREG, a partir de estas variaciones se llevará a cabo el análisis de datos.



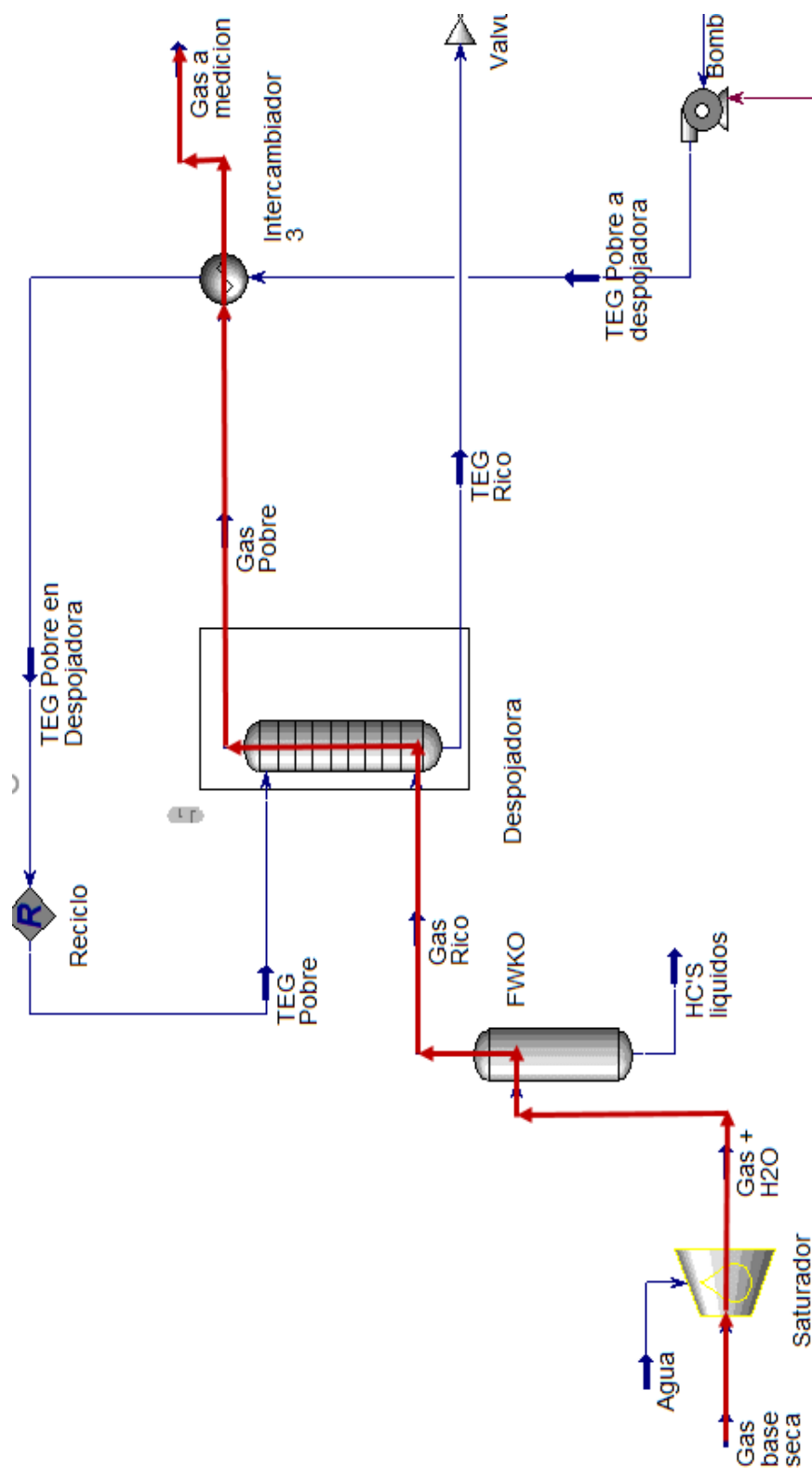


Figura 17. Recorrido de la corriente de gas a deshidratar

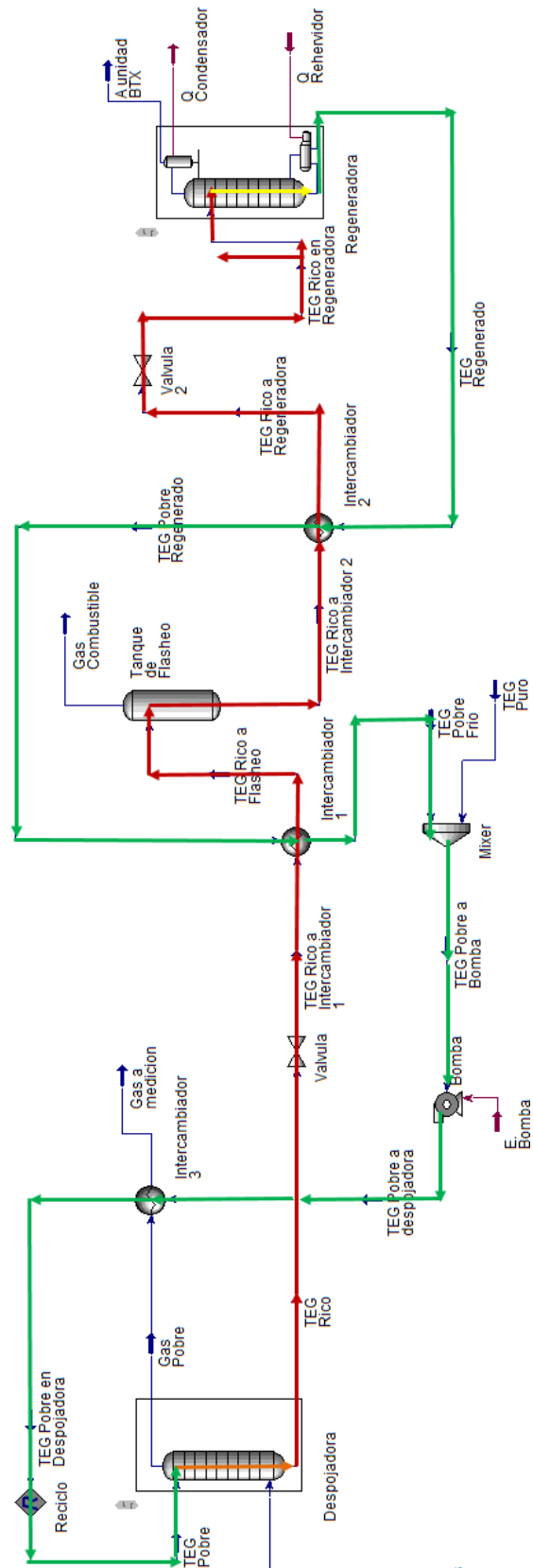


Figura 18. Recorrido de regeneración del glicol

## 5. Análisis de resultados

Teniendo en cuenta que las condiciones del contenido de agua de la corriente del Gas Rico que entra en la torre despojadora sobrepasan el límite establecido por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) cuyo valor es de 6 lb/MPCS, se busca deshidratar este gas como mínimo al valor establecido por la CREG para lograr el transporte del gas mediante la variación de los dos tipos de glicoles y así mismo sus respectivas concentraciones. Los datos de este Gas Rico se presentan en la tabla 11.

Tabla 11.

*Propiedades físicas del Gas Rico*

| <b>Propiedad</b>  | <b>Valor</b>       | <b>Unidad de medida</b> |
|-------------------|--------------------|-------------------------|
| Temperatura       | 120                | °F                      |
| Presión           | 1200               | Psig                    |
| Flujo molar       | 39.87              | MPCS                    |
| Contenido de agua | $9.01 \times 10^7$ | Lb/MPCS                 |
| Punto de rocío    | 120                | °F                      |

Para esto se llevaron a cabo varias iteraciones en la simulación, sometiendo el rehervidor a diferentes temperaturas hasta alcanzar el punto de deshidratación, de esta forma también se logra apreciar que a medida que la temperatura aumenta la concentración del glicol también aumenta y gracias a esto se ve reflejada una reducción en el contenido de agua presente en el gas.

Para el análisis de estos datos se tuvo en cuenta que la temperatura inicial de degradación del TEG se encontrara entre los 206 °F y 404 °F, así mismo se aseguró que la del TREG se encontrara entre 238 °F y 460 °F, siendo 464°F la temperatura de descomposición inicial de ambos glicoles.

En la tabla 12 se presentan los datos obtenidos al ejecutar la simulación, teniendo en cuenta que el contenido de agua inicial presente en el Gas Rico es de  $9.01 \times 10^7$  lb/MPCS.

Tabla 12.  
*Resultados de iteraciones*

| Temp.<br>rehervidor<br>(°F) | TEG<br>pobre<br>(%masico) | TREG<br>pobre<br>(%masico) | Contenido<br>de agua en<br>gas a<br>medición<br>(lb/MPCS)<br>TEG | Contenido<br>de agua en<br>gas a<br>medición<br>(lb/MPCS)<br>TREG | Contenido<br>de agua<br>deshidratada<br>de gas rico<br>(lb/MPCS)<br>TEG | Contenido<br>de agua<br>deshidratada<br>de gas rico<br>(lb/MPCS)<br>TREG |
|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 380                         | 0.9870                    | 0.9883                     | 8.05E+06                                                         | 1.10E+07                                                          | 8.21E+07                                                                | 7.91E+07                                                                 |
| 385                         | 0.9877                    | 0.9890                     | 7.58E+06                                                         | 1.05E+07                                                          | 8.25E+07                                                                | 7.96E+07                                                                 |
| 390                         | 0.9885                    | 0.9896                     | 7.14E+06                                                         | 1.00E+07                                                          | 8.30E+07                                                                | 8.01E+07                                                                 |
| 395                         | 0.9892                    | 0.9902                     | 6.74E+06                                                         | 9.54E+06                                                          | 8.34E+07                                                                | 8.06E+07                                                                 |
| 400                         | 0.9898                    | 0.9907                     | 6.36E+06                                                         | 9.09E+06                                                          | 8.37E+07                                                                | 8.10E+07                                                                 |
| 405                         | 0.9904                    | 0.9912                     | 5.98E+06                                                         | 8.68E+06                                                          | 8.41E+07                                                                | 8.14E+07                                                                 |
| 410                         | 0.9910                    | 0.9917                     | 5.64E+06                                                         | 8.28E+06                                                          | 8.45E+07                                                                | 8.18E+07                                                                 |
| 415                         | 0.9915                    | 0.9921                     | 5.32E+06                                                         | 7.90E+06                                                          | 8.48E+07                                                                | 8.22E+07                                                                 |
| 420                         | 0.9920                    | 0.9925                     | 5.01E+06                                                         | 7.54E+06                                                          | 8.51E+07                                                                | 8.26E+07                                                                 |
| 425                         | 0.9925                    | 0.9929                     | 4.73E+06                                                         | 7.20E+06                                                          | 8.54E+07                                                                | 8.29E+07                                                                 |
| 430                         | 0.9930                    | 0.9933                     | 4.45E+06                                                         | 6.88E+06                                                          | 8.57E+07                                                                | 8.32E+07                                                                 |
| 435                         | 0.9934                    | 0.9936                     | 4.19E+06                                                         | 6.57E+06                                                          | 8.59E+07                                                                | 8.35E+07                                                                 |
| 440                         | 0.9938                    | 0.9939                     | 3.94E+06                                                         | 6.28E+06                                                          | 8.62E+07                                                                | 8.38E+07                                                                 |
| 445                         | 0.9942                    | 0.9943                     | 3.70E+06                                                         | 5.99E+06                                                          | 8.64E+07                                                                | 8.41E+07                                                                 |
| 450                         | 0.9945                    | 0.9945                     | 3.48E+06                                                         | 5.73E+06                                                          | 8.66E+07                                                                | 8.44E+07                                                                 |
| 455                         | 0.9949                    | 0.9948                     | 3.26E+06                                                         | 5.47E+06                                                          | 8.68E+07                                                                | 8.46E+07                                                                 |
| 460                         | 0.9952                    | 0.9951                     | 3.05E+06                                                         | 5.22E+06                                                          | 8.71E+07                                                                | 8.49E+07                                                                 |
| 465                         | 0.9956                    | 0.9953                     | 2.85E+06                                                         | 4.98E+06                                                          | 8.73E+07                                                                | 8.51E+07                                                                 |

De acuerdo con lo anterior se contrastan los datos obtenidos del TEG junto con los datos obtenidos del TREG en una gráfica sencilla de temperatura del rehervidor vs concentración del glicol que se presenta en la figura 19.

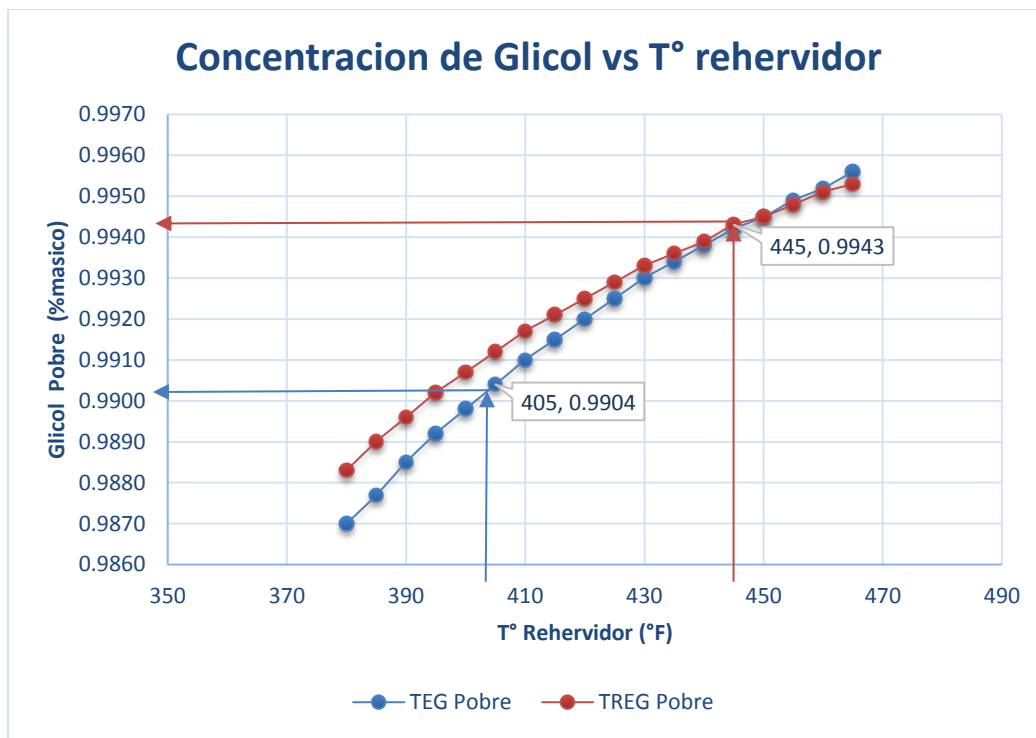


Figura 19. Concentración de glicol vs temperatura del rehervidor

De la figura 19 se puede resaltar la concentración de los glicoles a su correspondiente temperatura máxima de inicio de degradación de glicol, de esta forma se obtienen mayores concentraciones de cada glicol elevando la temperatura del rehervidor, pero esto generaría mayores pérdidas de glicol en la torre regeneradora y esto a su vez nos indica que la tasa de glicol puro inyectado en la corriente de glicol regenerado debe aumentar para compensar la pérdida de glicol en el rehervidor.

En la figura 20 se contrasta el contenido de agua obtenido en la corriente de gas a medición de cada glicol con la variación de la temperatura del rehervidor en la torre regeneradora. En esta figura se puede apreciar que para que el TEG llegue a retirar el contenido de agua en la corriente de gas

hasta el valor deseado de 6 lb/MPCS, es necesario que el TEG alcance su temperatura máxima de inicio de degradación del glicol.

Por otro lado, para que el TREG retire el contenido de agua presente en la corriente de gas hasta el valor deseado de 6 lb/MPCS es necesario que el rehervidor esté operando a 445 °F, esta es una temperatura que operacionalmente es adecuada para el manejo del TREG debido a que se encuentra entre 10 °F y 15 °F por debajo de la temperatura máxima inicial de degradación que es de 460 °F.

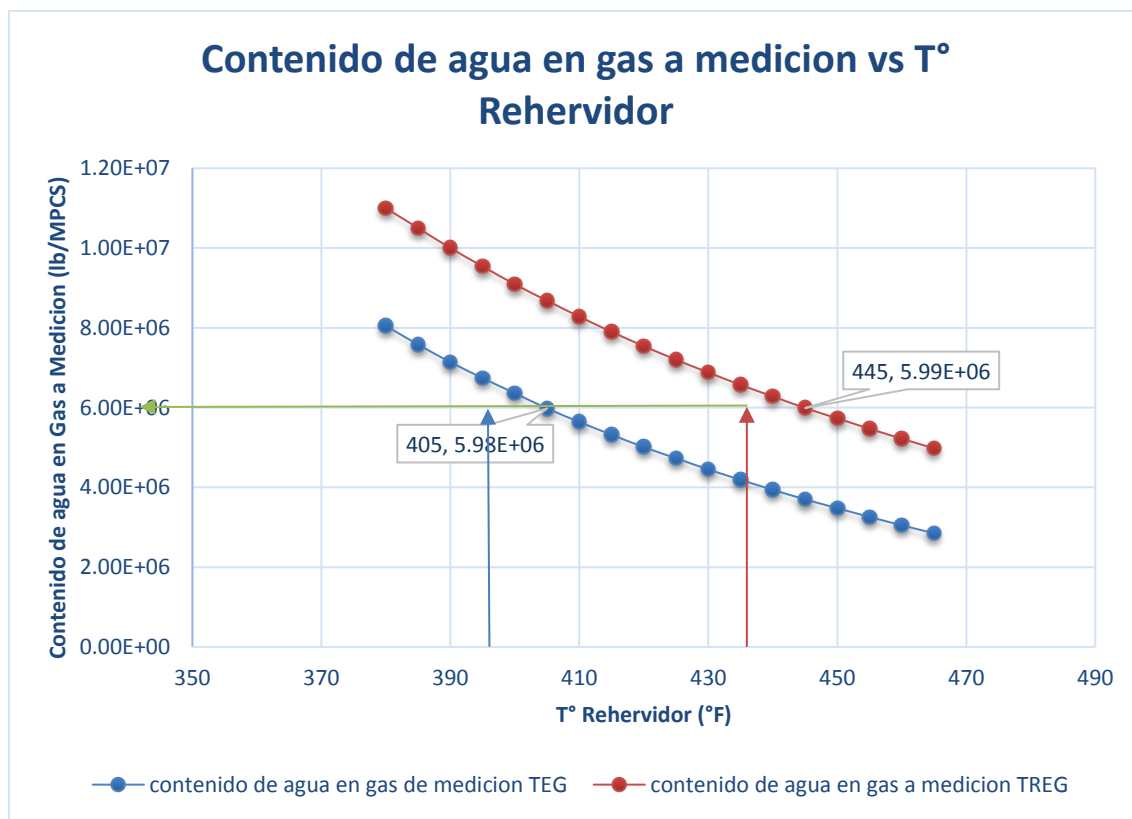


Figura 20. Contenido de agua en Gas a Medición vs Temperatura del Rehervidor

En la figura 21 se logra contrastar el contenido de agua en el gas a medición contra la concentración de glicol necesaria para cumplir con lo establecido para el transporte del gas. En

esta figura se logra apreciar que a mayor concentración de TREG mayor es su eficiencia de remoción de agua, necesitando tener una corriente de TREG al 99.43% de concentración para cumplir con la norma de contenido de agua en el gas.

Por otro parte la concentración de TEG necesaria para cumplir con la norma de transporte de gas es un poco menor que la del TREG con una concentración de 99.04%, también se logra apreciar que para lograr las concentraciones más altas de TEG son necesarias las temperaturas por encima de la temperatura máxima inicial de degradación del glicol (404°F).

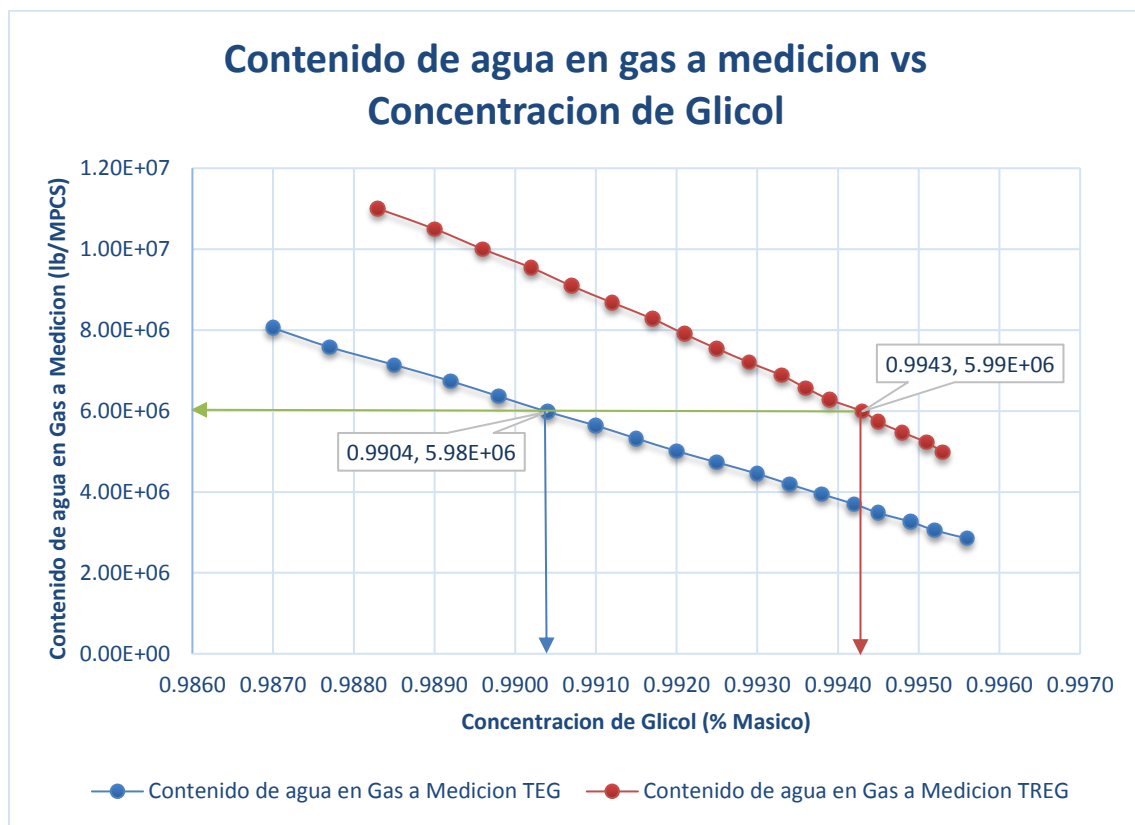


Figura 21. Contenido de agua a medición vs Concentración de glicol

A partir de la figura 22 se puede analizar el contenido de agua retirado de la corriente de gas rico con la ayuda de los glicoles de estudio a diferentes temperaturas del rehervidor.

De esta figura se puede interpretar que la remoción de agua en ambos glicoles aumenta proporcionalmente a medida que se aumenta la temperatura del rehervidor teniendo una mínima reducción de eficiencia de remoción de agua a los 410 °F, esto se logra apreciar en una ligera curvatura en las líneas de contenido de agua.

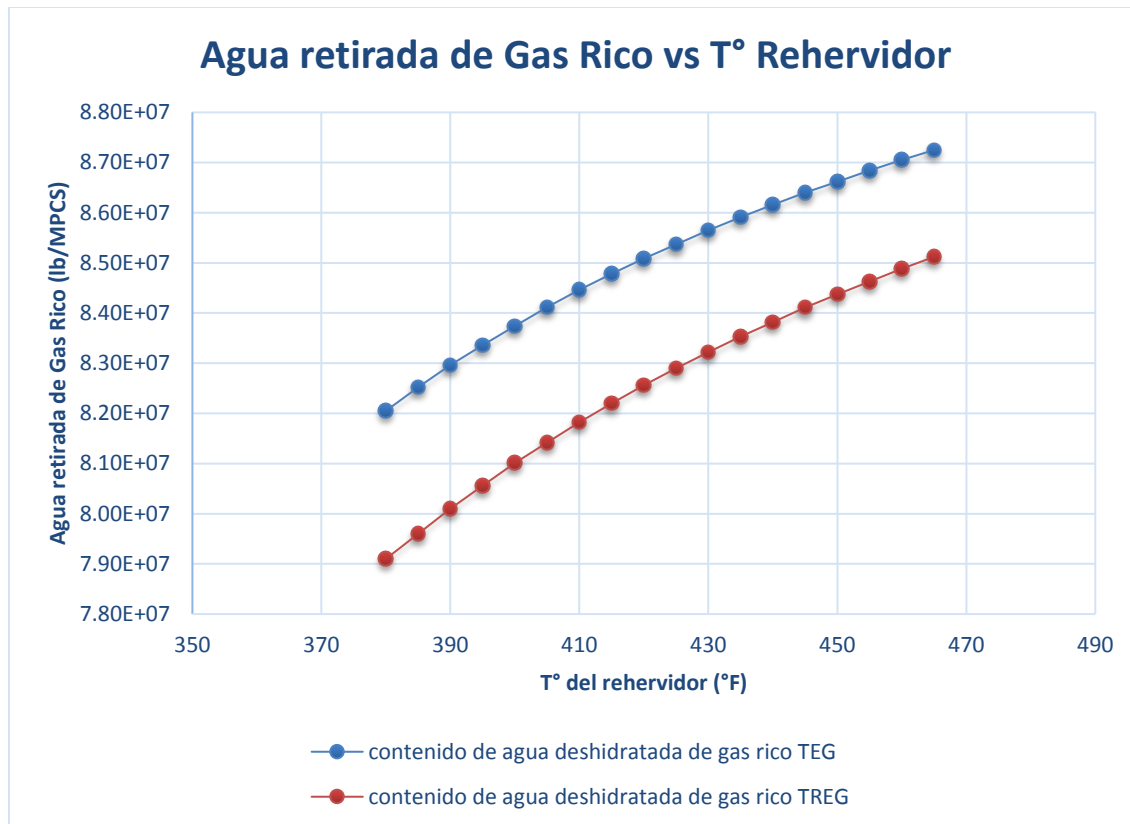


Figura 22. Contenido de agua retirada de la corriente de gas rico vs Temperatura del rehervidor

Para finalizar el análisis de estos datos se puede interpretar que la eficiencia de remoción de agua del TEG y del TREG va aumentando a medida que su concentración aumenta y al mismo tiempo la temperatura del rehervidor es aumentada, sin embargo estos glicoles tienen una temperatura a la cual deja de ser eficiente el proceso debido a las pérdidas por degradación de glicol en la torre, llegado este punto es posible recuperar bastante concentración de TEG pero

como consecuencia hay mayor pérdida por degradación. Por otro lado el TREG a altas concentraciones tiene más rango de temperatura de trabajo para la remoción de agua haciéndolo un poco más eficiente a la hora de remover las cantidades de agua por debajo de lo establecido por la CREG.

## 6. Conclusiones

- Para deshidratar una corriente de gas con TEG es necesario determinar una temperatura del rehervidor por debajo de la temperatura máxima inicial de degradación, de lo contrario sería necesario inyectar más glicol puro a la corriente de TEG regenerado para compensar la concentración de glicol perdida en la torre regeneradora y permanecer con la eficiencia de remoción de agua.
- En concentraciones por encima de la temperatura máxima inicial de degradación del TEG, la eficiencia de remoción de agua decae un poco al perder las moléculas de glicol por la degradación.
- El contenido de agua deseado en la corriente de gas a medición es alcanzado por el TEG a concentraciones muy elevada (99.04%) lo que conlleva a que se opere demasiado cerca o incluso por encima de su punto máximo de temperatura de degradación 404 °F.
- Para la deshidratación de una corriente de gas utilizando TREG, es necesario tener un poco más concentrado este glicol y a su vez más elevada la temperatura del rehervidor, pero debido a que el rango de temperaturas de descomposición de este glicol es mayor, se puede deshidratar mucho más la corriente de gas sin presentar pérdidas considerables de glicol por descomposición.
- Con lo dicho anteriormente, se concluye que el TREG tiene una eficiencia de deshidratación en mayor medida que la del TEG, esto debido a que su rango de temperaturas de degradación se encuentra entre los 238 °F y los 460 °F. Gracias a esto se puede deshidratar una corriente de gas hasta llevarla a un valor de contenido de agua comercial o incluso un valor menor, todo esto antes de alcanzar la temperatura de degradación del TREG.

- Las tasas de circulación de glicol también varían con respecto a la concentración de glicol deseada a la entrada de la torre contactora.
- La tasa de inyección de glicol puro aumenta drásticamente después de superar la temperatura de degradación de los glicoles.

## **7. Recomendaciones**

- Se recomienda hacer una evaluación financiera de las tasas de circulación de glicol necesario para un proceso de deshidratación y su correspondiente inyección de glicol puro para mantener eficiente el proceso.
- Se recomienda hacer una evaluación de uso energético necesario para mantener en funcionamiento una planta de deshidratación.

**Referencias bibliográficas**

- Breil, M. P., & Kontogeorgis, G. M. (2009). Thermodynamics of triethylene glycol and tetraethylene glycol containing systems described by the cubic-plus-association equation of state. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 9.
- Campbell, J. M. (1992). *GAS CONDITIONING AND PROCESSING*.
- CREG, Comision de Regulacion de Energia y Gas. (2007). *ESPECIFICACIONES DE CALIDAD DEL GAS NATURAL EN EL PUNTO DE ENTRADA DEL SISTEMA DE TRANSPORTE*.
- F. Gironi, M. M. (2007). *TRIETHYLENE GLYCOL REGENERATION IN NATURAL GAS DEHYDRATION PLANTS: A STUDYY ON THE COLDFINGER PROCESS*. Italia.
- Obtenido de [https://www.onepetro.org/conference-paper/OMC-2007-026?sort=&start=0&q=TEG&from\\_year=&peer\\_reviewed=&published\\_between=&fromSearchResults=true&to\\_year=&rows=25#](https://www.onepetro.org/conference-paper/OMC-2007-026?sort=&start=0&q=TEG&from_year=&peer_reviewed=&published_between=&fromSearchResults=true&to_year=&rows=25#)
- Gandhidasan, P. (2003). Parametric Analysis of Natural Gas Dehydration by a Triethylene Glycol Solution. *Energy Sources*, 14.
- Gandhidasan, P., Al-Farayedhi, A. A., & Al-Mubarak, A. A. (2000). Dehydration of natural gas using solid desiccants. *Elsevier - Energy*, 14.
- J.A. Sorensen, S. H. (1999). *Glycol Used for Natural Gas Dehydration: Evaluation of Subsurface Transport and Fate Issues*. Austin, Texas.
- Ken Arnold, M. S. (1999). *Surface Production Operation, Design of Gas-Handling Systems and Facilities* (Vol. Vol. 2).
- Mager Stellman, J., Osinsky, D., & Markkanen, P. (1998). *Enciclopedia Seguridad y Salud en el Trabajo*. España: Chantal Dufresne, BA.

- Sorensen, J. A. (1999). *Glycol Used for Natural Gas Dehydration: Evaluation of Subsurface Transport and Fate Issues*. Obtenido de [https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-52730-MS?sort=&start=0&q=tetraethylene+glycol&from\\_year=&peer\\_reviewed=&published\\_between=&fromSearchResults=true&to\\_year=&rows=25#](https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-52730-MS?sort=&start=0&q=tetraethylene+glycol&from_year=&peer_reviewed=&published_between=&fromSearchResults=true&to_year=&rows=25#)
- Stewart, M. I. (2014). *Surface Production Operations, Design of Gas-Handling Systems and Facilities* (3rd Edition ed.).
- The DOW Chemical Company. (2007). *TETRAETHYLENEGLYCOL*.
- The DOW Chemical Company. (2007). *TRIETHYLENEGLYCOL*.
- Wiley, J. (1998). *Encyclopedia of Chemical Technology*. New York.

## **Apéndice**

### **Apéndice A. Simulación de Planta de deshidratación Pozo JJ**

Se realizó una simulación para representar el funcionamiento de una planta de deshidratación con glicoles que determina la eficiencia de deshidratación de la corriente de gas analizado. Esta simulación esta anexada en la carpeta correspondiente cuyo software es Hysys v8.8 (ver apéndice adjunto en el CD y puede visualizarlo en la base de datos de la biblioteca UIS).