

**EVALUACIÓN TÉCNICA DE LOS PROCESOS DRIZO, COLD FINGER E  
INYECCIÓN DE GAS STRIPPING PARA LA REGENERACIÓN DEL  
TRIEILENGLICOL (TEG) EN PLANTAS DE DESHIDRATACIÓN DEL GAS  
NATURAL**

**JEAN NICOLAY ÁLVAREZ CHICA**

**JAIRO BRAYAN PORRAS RODRÍGUEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**FACULTAD DE FISICOQUÍMICAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS**

**BUCARAMANGA**

**2016**

**EVALUACIÓN TÉCNICA DE LOS PROCESOS DRIZO, COLD FINGER E  
INYECCIÓN DE GAS STRIPPING PARA LA REGENERACIÓN DEL  
TRIETILENGLICOL (TEG) EN PLANTAS DE DESHIDRATACIÓN DEL GAS  
NATURAL**

**JEAN NICOLAY ÁLVAREZ CHICA**

**JAIRO BRAYAN PORRAS RODRÍGUEZ**

**Trabajo de grado para optar por el título  
de Ingeniero de Petróleos**

**DIRECTOR:**

**MANUEL ENRIQUE CABARCAS SIMANCAS**

**Ingeniero de Petróleos, MS.c**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**FACULTAD DE FISCOQUÍMICAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS**

**BUCARAMANGA**

**2016**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores de este trabajo de grado presentamos nuestros agradecimientos, en primer lugar, a Dios por tantas bendiciones brindadas, una de ellas permitirnos cumplir esta meta.

A nuestras familias, por su incondicional apoyo y quienes siempre han sido fuente de motivación.

A la Universidad Industrial de Santander y a la escuela de ingeniería de petróleos, quienes nos han formado a través de todo el trayecto de nuestras carreras.

Al M.sc Manuel Enrique Cabarcas Simancas, director de este trabajo de grado, por sus sabios consejos, su orientación y guía a ser excelentes tanto a nivel académico como personal.

## DEDICATORIA

*A mi madre jacqueline por su constante apoyo, por ser una fuente incondicional de amor, por los sacrificios que ha realizado a lo largo de la vida en pro de mi bienestar, por guiarme a ser cada día mejor persona.*

*A mi padre juan pablo, quien me ha brindado amor, me ha aconsejado y de una u otra forma me ha mostrado los aspectos buenos y malos de la vida, quien ha sido el responsable en mayor parte de que haya podido formarme académicamente.*

*A mis hermanos por ser fuente de motivación e inspiración, quienes me han brindado amor y han estado siempre a mi lado apoyándome.*

*A todas las personas que a lo largo de este camino me han acompañado y de una u otra forma me enseñado algo, en especial a mi familia, quien han tenido especial fe en mí y a quienes me han brindado su amistad y me han ayudado a mejorar.*

*Jean Nicolay Álvarez Chica*

## DEDICATORIA

*A Dios por todas las bendiciones que me ha regalado a lo largo de mi vida.*

*A mi madre Lupe, quien me ha brindado su gran amor y apoyo incondicional, y por quien especialmente me esmero en cumplir cada logro de mi vida.*

*A mi padre Jairo, con quien siempre he contado y nunca me ha desamparado, quien ha creído en mí y me ha apoyado en cada decisión que he tomado.*

*A mi familia por llevarme en sus oraciones y siempre desearme lo mejor.*

*A mis amigos que me han brindado su amistad sincera y han estado presentes durante el camino a lograr esta meta.*

**Brayan Porras R.**

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	17
1. GAS NATURAL .....	18
1.1 CLASIFICACIÓN DEL GAS NATURAL.....	18
1.1.1 Contenido de Sulfuro.....	18
1.1.2 Procesamiento del Gas Natural.....	19
2. DESHIDRATACIÓN .....	20
2.1 CONTENIDO DE AGUA.....	20
2.1.1 Correlación Mc Ketta.....	21
2.1.2 Modelo ideal.....	21
2.1.3 Modelo Bucacek's .....	23
2.1.4 Correlación de Maddox .....	23
2.2 DESHIDRATACIÓN CON GLICOL .....	25
2.2.1 Etapas del proceso de deshidratación con teg.....	25
2.2.2 Descripción del proceso de deshidratación con trietilenglicol (teg) .....	27
2.2.3 Equipos del Sistema de Deshidratación con Glicol .....	28
2.2.3.1 Scrubber.....	29
2.2.3.2 Torre contactora .....	29
2.2.3.3 Válvula de expansión .....	30
2.2.3.4 Separador flash .....	30
2.2.3.5 Filtros .....	30

2.2.3.6 Filtro de sólidos .....	30
2.2.3.7 Filtro de carbón activado .....	30
2.2.3.8 Intercambiador glicol/glicol .....	30
2.2.3.9 Intercambiador gas/glicol .....	30
2.2.3.10 Regenerador .....	31
2.2.3.11 Rehervidor .....	31
2.2.3.12 Columna still .....	31
2.2.3.13 Condensador .....	31
2.2.3.14 Bomba de glicol.....	31
2.2.4 Variables de Operación del Proceso de Deshidratación .....	32
2.2.4.1 Temperatura del gas de entrada .....	32
2.2.4.2 Presión del gas de entrada .....	33
2.2.4.3 Flujo del gas de entrada.....	33
2.2.4.4 Número de etapas en la torre contactora .....	33
2.2.4.5 Concentración de glicol .....	34
2.2.4.6 Presión en el rehervidor .....	35
2.2.4.7 Tasa de circulación de TEG .....	35
2.2.4.8 Temperatura en el condensador de reflujo.....	36
2.2.4.9 Temperatura en el rehervidor.....	36
2.2.5 Sistemas alternos para mejorar la regeneración de TEG.....	36
2.2.5.1 Inyección de Gas Stripping.....	37
2.2.5.2 Drizo.....	37
2.2.5.3 Coldfinger.....	40
3. COMPONENTES BTEX.....	41

4.	SIMULACION DE PROCESOS.....	42
4.1	METODO TERMODINAMICO PENG-ROBINSON (PR).....	42
4.2	CONDICIONES PARA LA SIMULACIÓN .....	44
4.2.1	Bases de la simulación .....	44
4.2.2	Condiciones del gas de entrada.....	45
4.2.3	Condiciones del teg de entrada .....	45
4.2.4	Especificaciones de la torre contactora.....	45
4.2.5	Especificaciones del regenerador .....	46
4.3	SENSIBILIZACIÓN DE PARÁMETROS .....	48
5.	ANALISIS DE RESULTADOS.....	48
5.1	EFFECTO DE LA TEMPERATURA DEL REHERVIDOR A DIVERSOS FLUJOS DE GAS STRIPPING EN LA CONCENTRACIÓN.....	49
5.2	EFFECTO DEL FLUJO DE GAS STRIPPING A DIVERSAS TEMPERATURAS DEL REHERVIDOR EN LA CONCENTRACIÓN DE TEG.....	50
5.3	EFFECTO DEL FLUJO DE GAS STRIPPING EN LA DISMINUCIÓN DE LA PRESIÓN PARCIAL DEL VAPOR DE AGUA .....	51
5.4	EFFECTO DEL FLUJO DE GAS STRIPPING EN LA EMISIÓN DE BTEX.....	51
5.5	EFFECTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DRIZO EN LA CONCENTRACIÓN DE TEG REGENERADO.....	52
5.6	EFFECTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DRIZO EN LA DISMINUCIÓN DE LA PRESIÓN PARCIAL DEL VAPOR DE AGUA.....	53
5.7	EFFECTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DRIZO EN LA EMISIÓN DE BTEX .....	53
5.8	EFFECTO DE LA TEMPERATURA DEL REHERVIDOR A DIVERSOS FLUJOS DE ISO-OCTANO EN LA CONCENTRACIÓN DE TEG POBRE .....	54

5.9	EFFECTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE DOS DIFERENTES PROCESOS DRIZO EN LA CONCENTRACIÓN DE TEG REGENERADO .....	55
5.10	COMPARACIÓN DE LA FRACCIÓN MÁSCICA DE TEG REGENERADO EN EL PROCESO STRIPPING Y DRIZO .....	56
5.11	STRIPPING GAS Y DOS DIFERENTES PROCESOS DRIZO EN LA EMISIÓN DE BTEX .....	57
5.12	EFFECTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO COLDFINGER EN LA CONCENTRACIÓN DE TEG REGENERADO .....	57
6.	CONCLUSIONES .....	59
7.	RECOMENDACIONES .....	60
	BIBLIOGRAFIA .....	61
	ANEXOS .....	63

## TABLA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
<b>Ilustración 1</b> Procesamiento del gas natural.....	19
<b>Ilustración 2.</b> Gráfica contenido de agua .....	22
<b>Ilustración 3.</b> Contenido de agua por CO <sub>2</sub> .....	24
<b>Ilustración 4.</b> Contenido de agua por H <sub>2</sub> S.....	25
<b>Ilustración 5.</b> Torre contactora.....	26
<b>Ilustración 6.</b> Columna Still.....	26
<b>Ilustración 7.</b> Columna Still, vista 3D.....	27
<b>Ilustración 8.</b> Inyección Gas stripping.....	37
<b>Ilustración 9.</b> Montaje Drizo.....	38
<b>Ilustración 10.</b> Diagrama del proceso Drizo.....	39
<b>Ilustración 11.</b> Coldfinger.....	40
<b>Ilustración 12.</b> Representación esquemática Equipo Coldfinger .....	41

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Temperatura en el gas de entrada.....	34
<b>Tabla 2.</b> Composición del gas húmedo a la entrada.....	44
<b>Tabla 3.</b> Condiciones del gas de entrada .....	45
<b>Tabla 4.</b> Condiciones del TEG pobre a la entrada.....	45
<b>Tabla 5.</b> Especificaciones del contactor .....	45
<b>Tabla 6.</b> Especificaciones del regenerador.....	46

## LISTA DE GRÁFICAS

Pág.

<b>Gráfica 1.</b> Efecto de la temperatura del rehervidor en la concentración de teg regenerado.....	47
<b>Gráfica 2.</b> Efecto de la temperatura del rehervidor en la emisión de gases BTEX .....	48
<b>Gráfica 3.</b> Efecto de la temperatura del rehervidor a diversos flujos de gas stripping en la concentración.....	49
<b>Gráfica 4.</b> Efecto del flujo de gas stripping a diversas temperaturas del rehervidor en la concentración de teg .....	50
<b>Gráfica 5.</b> Efecto del flujo de gas stripping en la disminución de la presión parcial del vapor de agua .....	51
<b>Gráfica 6.</b> Efecto del flujo de gas stripping en la emisión de BTEX.....	52
<b>Gráfica 7.</b> Efecto de la implementación del proceso drizo en la concentración de teg regenerado.....	52
<b>Gráfica 8.</b> Efecto de la implementación del proceso drizo en la disminución de la presión parcial del vapor de agua .....	53
<b>Gráfica 9.</b> Efecto de la implementación del proceso drizo en la emisión de BTEX .....	54
<b>Gráfica 10.</b> Efecto de la temperatura del rehervidor a diversos flujos de iso-octano en la concentración de teg pobre.....	55
<b>Gráfica 11.</b> Efecto de la implementación de dos diferentes procesos drizo en la concentración de teg regenerado .....	56
<b>Gráfica 12.</b> Comparación de la fracción másica de teg regenerado en el proceso Stripping y Drizo.....	56
<b>Gráfica 13.</b> Stripping gas y dos diferentes procesos drizo en la emisión de BTEX .....	57
<b>Gráfica 14.</b> Efecto de la implementación del proceso Coldfinger en la concentración de Teg regenerado .....	58

## TABLA DE ECUACIONES

	<b>Pág.</b>
<b>Ecuación 1.</b> Contenido de agua Modelo ideal.....	21
<b>Ecuación 2.</b> Contenido de agua Modelo Bucacek's.....	23
<b>Ecuación 3.</b> Contenido de agua Correlación de Maddox.....	23
<b>Ecuación 4.</b> Ecuación de SRK.....	43
<b>Ecuación 5.</b> Ecuación de Peng-Robinson.....	43
<b>Ecuación 6.</b> Eficiencia de remoción de agua .....	63
<b>Ecuación 7.</b> Temperatura de rocío del agua en el equilibrio.....	63
<b>Ecuación 8.</b> Tasa de recirculación de TEG.....	66
<b>Ecuación 9.</b> Concentración de TEG rico.....	68
<b>Ecuación 10.</b> Temperatura de entrada del TEG .....	69
<b>Ecuación 11.</b> Temperatura del gas de salida.....	69
<b>Ecuación 12.</b> Duty total del rehervidor .....	70

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
<b>ANEXO A.</b> Cálculo Concentración de teg pobre.....	63
<b>ANEXO B.</b> Contenido de agua en el gas pobre.....	64
<b>ANEXO C.</b> Equilibrio punto de rocío de agua a varias Vs temperatura, a varias concentraciones de Teg.....	65
<b>ANEXO D.</b> Cálculo Relación de circulación - número de etapas teóricas .....	65
<b>ANEXO E.</b> Gráficas de agua removida Vs tasa de circulación de TEG a diferentes concentraciones.....	66
<b>ANEXO F.</b> Cálculo Tasa de recirculación de teg .....	66
<b>ANEXO G.</b> Cálculo concentración de teg rico.....	68
<b>ANEXO H.</b> Cálculo temperaturas en el contactor .....	69
<b>ANEXO I.</b> Cálculo duty del rehervidor.....	70
<b>ANEXO J.</b> Carga térmica rehervidor.....	71

## RESUMEN

**TÍTULO:** EVALUACIÓN TÉCNICA DE LOS PROCESOS DRIZO, COLD FINGER E INYECCIÓN DE GAS STRIPPING PARA LA REGENERACIÓN DEL TRIETILENGLICOL (TEG) EN PLANTAS DE DESHIDRATACIÓN DEL GAS NATURAL.\*

**AUTORES:** Jean Nicolay Alvarez Chica, Jairo Brayan Porras Rodríguez.\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Gas natural, deshidratación, trietilenglicol, gas stripping, Drizo, Coldfinger.

El gas extraído del yacimiento generalmente se encuentra asociado con vapor de agua, por lo cual debe ser sometido a un proceso de deshidratación para ser llevado a un contenido de agua que se encuentre entre 4-7 lbH<sub>2</sub>O/MMscf. La deshidratación del gas natural es el proceso mediante el cual se extrae el vapor de agua presente en el gas, dicha eliminación se realiza para cumplir las especificaciones del registro único de transporte (RUT), evitando la formación de hidratos que generan taponamientos de válvulas, de equipos y de líneas de flujo de gas. Principalmente la deshidratación es realizada por medio de la adsorción con desecantes sólidos y mediante la absorción con desecantes líquidos como el glicol. Existen diversos tipos de glicoles tales como el dietilenglicol (DEG), el trietilenglicol (TEG) y el tetraetilenglicol (TREG). En este caso particular el glicol utilizado es el trietilenglicol (TEG), ya que es el más utilizado en la industria debido a su relación costo/beneficio.

Se emplearon métodos alternativos para la regeneración de TEG, tales como gas Stripping, DRIZO y Coldfinger los cuales generan un aumento en la concentración de TEG regenerado comparado con la regeneración obtenida en el proceso de deshidratación convencional. Por medio del software Aspen Hysys se simula una planta convencional de deshidratación de gas natural, donde posteriormente se implementan de forma individual los tres procesos de regeneración ya mencionados y se evalúa la influencia de cada uno de ellos en la etapa de regeneración de TEG.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías fisicoquímicas, Escuela de Ingeniería de Petróleos, Director M.Sc.Manuel Enrique Cabarcas Simancas

## ABSTRACT

**TITLE:** TECHNICAL EVALUATION PROCESS DRIZO COLD FINGER AND GAS INJECTION FOR STRIPPING REGENERATION TRIETHYLENEGLYCOL (TEG) PLANTS IN NATURAL GAS DEHYDRATION.\*

**AUTHORS:** Jean Nicolay Alvarez Chica, Jairo Porras Brayan Rodríguez.\*\*

**KEYWORDS:** Natural gas, dehydration, triethyleneglycol, gas stripping, Drizo, Coldfinger.

The gas extracted from the reservoir is generally associated with water vapor. This is why the gas must be subjected to a dehydration process to be brought to a water content between 4-7 lb-H<sub>2</sub>O/MMscf. Natural gas dehydration is a process in which water vapor is extracted from the gas. The water is removed to perform the specifications of the Unitary Transport Registry (RUT), avoiding hydrates formation that generate valves, equipment and gas streams tapping. Mainly, gas dehydration is done by solid desiccants adsorption and through liquid desiccants adsorption such as glycol. There are several kinds of glycols such as Diethylene glycol (DEG), Triethylene glycol (TEG) and tetraethylene glycol (TREG). In this particular case the glycol used is Triethylene glycol (TEG); this is because it is the most commonly used in the industry due to its cost/benefit relationship.

Alternative methods were used for the regeneration of TEG such as gas Stripping, Drizo and coldfinger, which generate an increase in regenerated TEG concentration as compared to regeneration obtained by conventional dehydration process. By using the Aspen Hysys Software a conventional natural gas dehydration plant is simulated, where they subsequently implement individually the three regeneration processes that were previously mentioned and evaluate the influence of every one of these process in the TEG regeneration stage.

---

\* Thesis

\*\* Faculty of Physical-chemical Engineering, Petroleum Engineering School, Director M.Sc.Manuel Enrique Cabarcas Simancas

## INTRODUCCIÓN

El aumento en la demanda de energía a nivel mundial ha ocasionado un incremento en el uso del gas natural como fuente de energía, con el cual es posible obtener energía más económica que el petróleo y es considerada como la menos contaminante al ser comparada con otros combustibles hidrocarburos. Adicionalmente, se hace necesaria la implementación de nuevos procesos que complementen a los convencionales para así lograr un aumento en la eficiencia del tratamiento que a su vez garantice la calidad y seguridad en su transporte.

Cumplir con la calidad exigida para su transporte en tuberías y comercialización es una de las principales razones por la cual se remueve el vapor de agua asociado al gas natural, es por eso que el proceso de deshidratación del gas natural es de suma importancia para llegar a cumplir con las normas de ley impuestas dependiendo cada país o región, en las cuales se exige un contenido máximo de agua en los gases que se transporta por gasoductos, en Colombia dicho contenido máximo es estipulado por el reglamento único de transporte (RUT).

El proceso de deshidratación más utilizado en la industria petrolera, por su eficiencia, es la absorción utilizando glicol, siendo el trietilenglicol o TEG el más usado, esto debido a su relación costo-beneficio. Para lograr cumplir las especificaciones que se requieren, sin implementar un consumo excesivo de TEG, la etapa de regeneración de glicol juega un papel muy importante, ya que entre mayor sea la eficiencia en la regeneración menor será el consumo adicional de TEG pobre.

Debido a que en el proceso de deshidratación convencional la regeneración se opera a presiones cercanas a la atmosférica y a temperaturas en el rehervidor no superiores a los 400°F, las concentraciones obtenidas de TEG regenerado no son superiores a 98.5% - 98.9% másico. Por tal razón, si se desea resultados con porcentajes mayores de regeneración es necesario recurrir a procesos adicionales al convencional, algunos de dichos procesos son la inyección de gas stripping, DRIZO y Coldfinger. Debido a esta necesidad, este trabajo de grado se realiza una evaluación de dichos procesos abordando principalmente el comportamiento en el incremento de la regeneración del TEG y la variación en la emisión de BTEX.

## 1. GAS NATURAL

Es una mezcla de hidrocarburos la cual está compuesta principalmente por gas metano y en proporciones menores de otros hidrocarburos, como etano, propano, butanos, pentanos, etc.; también contiene impurezas como vapor de agua, azufre, dióxido de carbono, nitrógeno e inclusive helio.

### 1.1 CLASIFICACIÓN DEL GAS NATURAL

La composición del gas presenta un papel fundamental en cuanto a la viabilidad económica del procesamiento del gas, ya que a mayor cantidad de componentes más pesados que el metano o también denominados  $C_2^+$ , se pueden extraer mayor cantidad de líquidos de este gas, los cuales representan un valor más alto de ventas comparado con el propio gas. Un gas que presente estas características es denominado gas “Rico”.

“Para cuantificar el contenido de líquidos de una mezcla gas natural, en la industria se usa el término GPM, o galones de líquidos recuperables por 1000 pies cúbicos estándar (Mscf) de gas. La determinación del GPM requiere conocimiento de la composición molar del gas y de los galones de líquido por lb-mol”.<sup>1</sup>

**1.1.1 Contenido de Sulfuro** De acuerdo al contenido de sulfuro (generalmente  $H_2S$ ) presente en la corriente de gas, este se puede clasificar en “dulce” y “ácido”. Se habla de un gas “dulce” cuando su contenido de  $H_2S$  es insignificante o para ser más precisos, cantidades menores que 4 PPM de  $H_2S$ . Se habla de un gas “ácido” cuando el contenido de  $H_2S$  supera las 4 PPM.

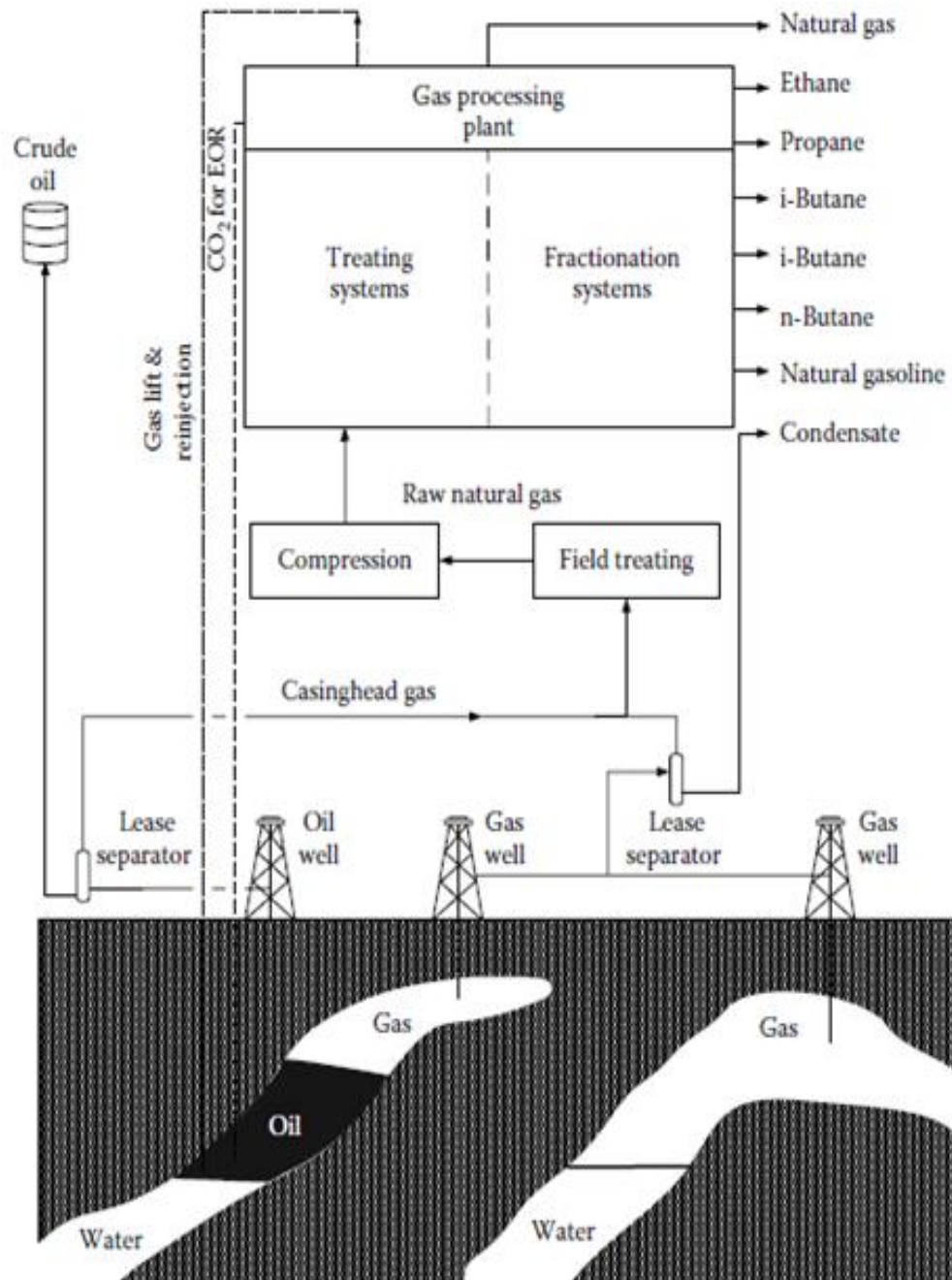
El procesamiento del gas natural principalmente consiste en acondicionar dicho gas para su venta o extraer líquidos económicamente rentables de dicho gas. Dicho acondicionamiento es básicamente la eliminación de los componentes ácidos presentes o proceso de endulzamiento, la remoción del agua existente en el gas o deshidratación, la extracción de líquidos del gas natural mediante procesos criogénicos, estabilización y separación de productos específicos de dichos líquidos como lo son el etano, propanos, butanos entre otros, y por último su almacenamiento.

---

<sup>1</sup> Arthur J. Kidnay, William R. Parrish. Fundamentals of natural Gas Processing. Taylor & Francis Group. Broken sound parkway NW

## 1.1.2 Procesamiento del Gas Natural

Ilustración 1 Procesamiento del gas natural



Fuente: Arthur J. Kidnay; William R. Parrish, FUNDAMENTALS OF NATURAL GAS PROCESSING, Taylor & Francis Group, New York, 2006, p 8

## 2. DESHIDRATACIÓN

La deshidratación es el proceso donde es extraída el agua en forma de vapor y/o en forma libre contenida en el gas natural, dicha agua o vapor de agua se puede considerar como la impureza con más frecuencia en una corriente de gas.

Es usual que el gas natural lleve asociada agua en estado líquido y/o vapor, por esta razón es necesario realizar un proceso de deshidratación que remueva el agua presente en el gas natural producido y así evitar corrosión en plantas de tratamiento del gas, acumulación de agua en los sistemas de transmisión, formación de hidratos ya que estos podrían causar diferentes problemas operacionales.

El gas natural es deshidratado para su comercialización mediante los siguientes procesos:

- Absorción, la deshidratación por absorción utiliza un líquido que presenta propiedades higroscópicas para ponerlo en contacto con el gas húmedo y así eliminar el vapor de agua. En las unidades de deshidratación por absorción el líquido usado más común es el trietilenglicol (TEG). El proceso de absorción es el más utilizado en la deshidratación del gas natural. Adsorción, la deshidratación por adsorción utiliza un sólido que adsorbe el agua, algunos de los sólidos son el tamiz molecular, gel de sílice y aluminatos.
- “La adsorción es un fenómeno físico que se produce cuando las moléculas de un gas se ponen en contacto con una superficie sólida y algunas de ellas se condensan en la superficie”<sup>2</sup>. En la adsorción se presenta una adhesión del vapor de agua contenido en el gas con la superficie del desecante sólido.
- Condensación, Comúnmente el proceso de deshidratación por condensación es utilizado en el transporte por tuberías o cuando se emplean bajos niveles de refrigeración. En el mecanismo de deshidratación por condensación, adicionalmente a este proceso es de gran importancia el uso de inhibidores como lo son el etilenglicol (EG) o metanol con el fin de prevenir la formación de hidratos.

### 2.1 CONTENIDO DE AGUA

Uno de los primeros pasos o etapas en el diseño de un sistema de deshidratación es determinar el contenido de agua existente en el gas y así poder determinar las variables operacionales para llevar dicho gas a las especificaciones de ventas, estas se encuentran estipuladas por la Comisión Reguladora de Energía y Gas (CREG), donde es normal que se manejen cantidades de 4 a 6 Lb de agua/MMSCF de gas.

---

<sup>2</sup> Stewart Maurice, ken E. Arnold. Gas Sweetening and Processing field manual. Gulf Professional Publishing GPG. P56

**2.1.1 Correlación Mc Ketta** Es una de las formas de más empleadas para determinar el contenido de agua en un gas “dulce”. Este contenido de agua presente en el gas, se puede determinar por medio de la Presión y Temperatura de operación de dicho gas, con la ilustración 2 se puede establecer el contenido de agua a diferentes presiones y temperaturas.

**2.1.2 Modelo ideal** Es un modelo empleado para determinar el contenido de agua en un gas “dulce”, esto con una prudente exactitud a presiones bajas, que se encuentran cerca a los 200 psi.

**Ecuación 1.** Contenido de agua Modelo ideal

$$W = 47484 \frac{P_v}{P}$$

Donde,

W= contenido de agua, MMSCF

Pv= presión de vapor de agua, psi

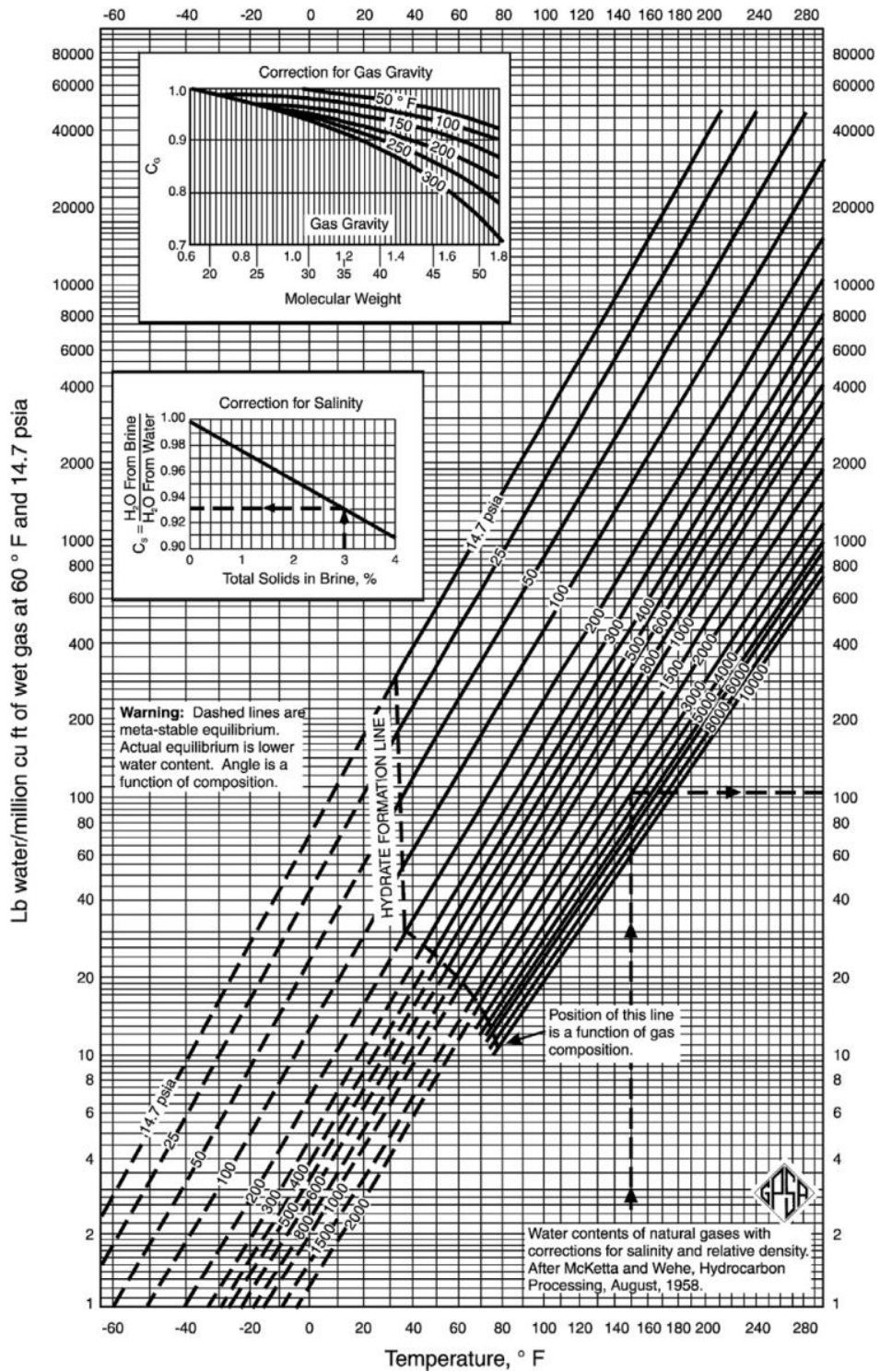
P= presión total del sistema, psi

“En este modelo, el contenido de agua de un gas se asume igual a la relación entre la presión de vapor del agua pura, dividido por la presión total del sistema”<sup>3</sup>, dando como resultado la fracción molar de agua en el gas, que al multiplicarse por la constante 47484, da como resultado el contenido de agua en millones de pies cúbicos estándar (MMSCF).

---

<sup>3</sup> Alireza, Bahadori, Ph.D. Natural Gas Processing, Technology and Engineering Design, Gulf professional publishing GPG, p54.

Ilustración 2. Gráfica contenida de agua



Fuente: Saied Mokhatab, William A. Poe, AND John Y. Mak, "HANBOOK OF NATURAL GAS TRANSMISSION AND PROCESSING, 3<sup>rd</sup> edition, Gulf Professional Publishing, p 236

**2.1.3 Modelo Bucacek's** Este modelo se emplea para el cálculo del contenido de agua en un gas “dulce”, hasta presiones de 10000 psi y temperaturas en un rango comprendido de 60 a 460 °F.

**Ecuación 2.** Contenido de agua Modelo Bucacek's

$$W = 47484 \frac{P_{Agua}^{Sat}}{P} + B$$

$$\text{Log } B = \frac{-3083.87}{459.6 + T} + 6.69449$$

Donde,

W= contenido de agua, MMSCF

$P_{Agua}^{Sat}$  = presión de vapor de agua, psi

P= presión total del sistema, psi

B= constante

**2.1.4 Correlación de Maddox** Esta correlación diseñada por Maddox, es usada para determinar el contenido de agua en un gas “ácido”. El cálculo se basa en las sumas de tres términos, el contenido de agua por el gas dulce, el contenido de agua debido al CO<sub>2</sub> y el contenido de agua debido al H<sub>2</sub>S.

**Ecuación 3.** Contenido de agua Correlación de Maddox

$$W = y_{HC} W_{HC} + y_{CO_2} W_{CO_2} + y_{H_2S} W_{H_2S}$$

Donde,

W=contenido de agua

$W_{HC}$ =contenido de agua de la parte hidrocarburo

$W_{CO_2}$ =contenido de agua de la parte CO<sub>2</sub>

$W_{H_2S}$ =contenido de agua de la parte H<sub>2</sub>S

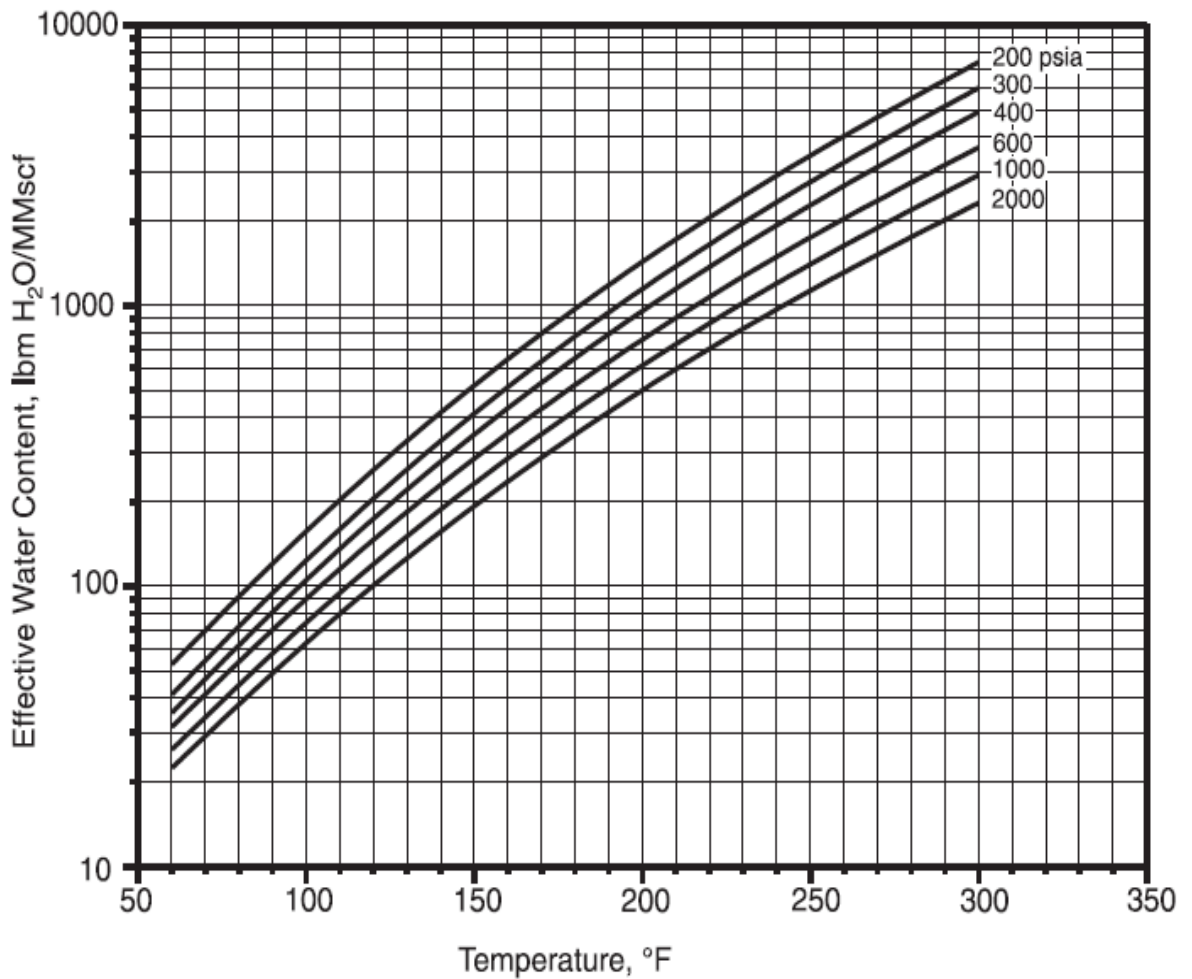
$y_{HC}$  = fracción molar de hidrocarburos

$y_{CO_2}$  = fracción molar de  $CO_2$

$y_{H_2S}$  = fracción molar de  $H_2S$

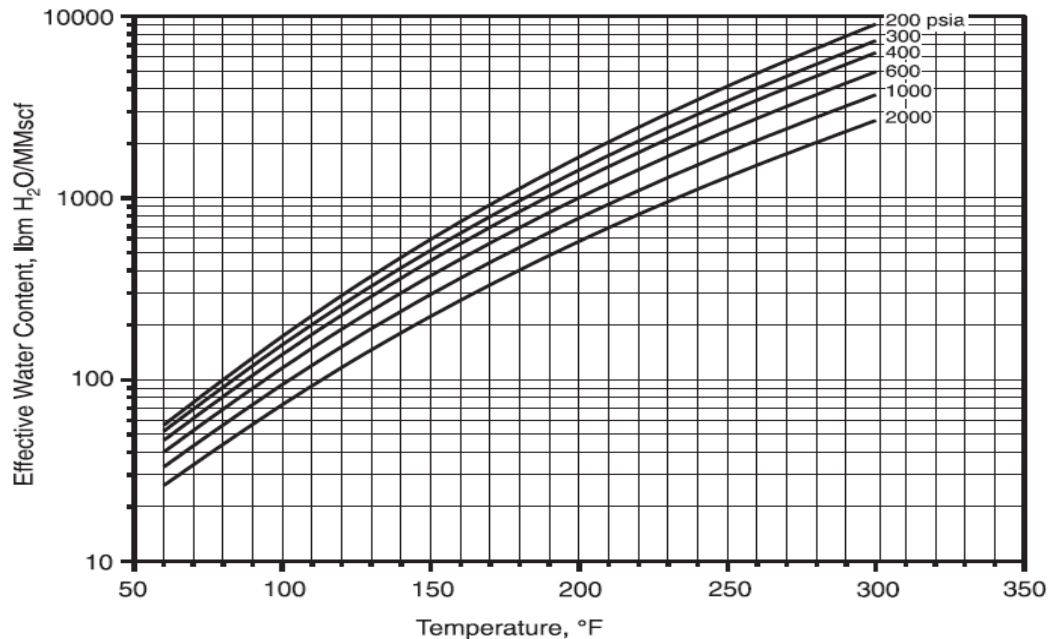
El contenido de agua de la parte hidrocarburo es leído de la ilustración 2, el contenido de agua de la parte  $CO_2$  y  $H_2S$ , son leídos de las ilustración 3 y 4 respectivamente.

**Ilustración 3.** Contenido de agua por  $CO_2$



Fuente: Gas Processors Association, GPSA ENGINEERING DATA BOOK, Tenth Edition-FPS 2004, p 20-8

#### Ilustración 4. Contenido de agua por H<sub>2</sub>S



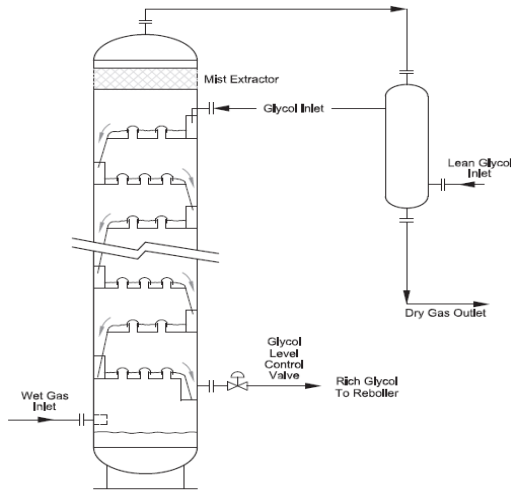
Fuente: Gas Processors Association, GPSA ENGINEERING DATA BOOK, Tenth Edition-FPS 2004, p 20-8

## 2.2 DESHIDRATACIÓN CON GLICOL

**2.2.1 Etapas del proceso de deshidratación con teg** Al inicio del proceso de deshidratación por absorción con glicol, se emplea un equipo de separación, donde se lleva a cabo la remoción del agua libre presente en la corriente de gas en la entrada, luego de dicha separación se mantendrán presentes de 25 a 120 libras de agua por MMSCF de gas, las cuales deben ser removidas antes de llegar al cumplimiento de contenido de agua establecido en el gas. En el proceso de absorción las moléculas de vapor de agua presentes en el gas se adhieren al desecante líquido con características higroscópicas. Dicho desecante líquido es el glicol, el cual se pone en contacto con el gas húmedo dentro de una torre contactora.

El gas húmedo ingresa por la parte inferior de la torre contactora y en contracorriente el glicol, que es introducido por la parte superior de la torre, la cual es operada a bajas temperaturas y altas presiones. En la interacción que ocurre al momento que el glicol y el gas húmedo entran en contacto, se presenta una transferencia de masa entre ellos, a medida que el gas húmedo va ascendiendo se va haciendo más pobre en vapor de agua hasta llegar al contenido de agua requerido según el diseño de la torre; por otro lado, el glicol va descendiendo a través de la torre, aumentando su contenido de agua.

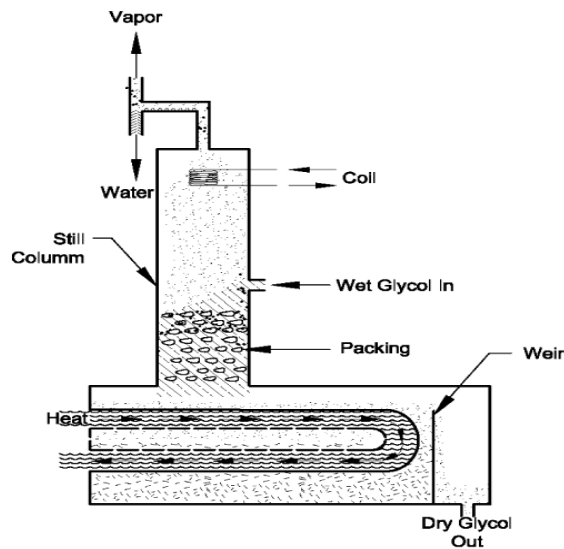
### Ilustración 5. Torre contactora



Fuente: Stewart Maurice, ken E. Arnold, Gas Dehydration Field Manual, Gulf Professional Publishing, GPG P98

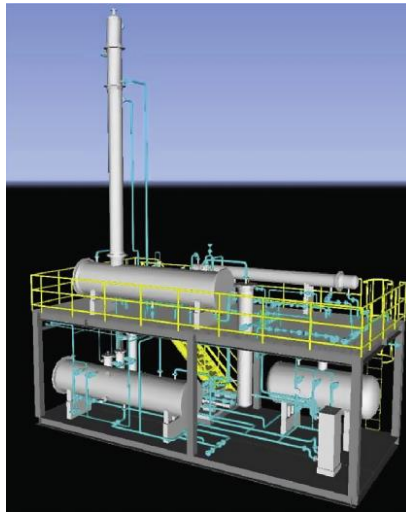
El glicol rico en agua que sale por la base de la torre contactora, lleva consigo el agua removida al gas, por esta razón es necesario realizarle una regeneración. El equipo de regeneración opera a condiciones de baja presión y alta temperatura; se constituye básicamente por un rehervidor, un condensador y una columna Still. En éste se retira el agua del glicol rico, para así poder recircularlo a la torre contactora.

### Ilustración 6. Columna Still



Fuente: Stewart Maurice, ken E. Arnold, Gas Dehydration Field Manual, Gulf Professional Publishing, GPG P106

### Ilustración 7. Columna Still, vista 3D



Fuente: Saeid Mokhatab, William A. Poe, AND John Y. Mak, "HANBOOK OF NATURAL GAS TRANSMISSION AND PROCESSING, 3<sup>rd</sup> edition, Gulf Professional Publishing, p 229

#### 2.2.2 Descripción del proceso de deshidratación con trietilenglicol (teg)

Recorrido del gas en la planta deshidratadora El gas húmedo entra al separador normalmente vertical (scrubber) donde es removido de la corriente los condensados, agua líquida y contaminantes presentes en el gas húmedo. Posteriormente al salir el gas por la parte superior del scrubber, ingresa por la base a la torre contactora donde se va a presentar la deshidratación por absorción con el trietilenglicol (TEG), el gas rico (gas húmedo) tiene un recorrido en la torre de abajo hacia arriba donde tiene contacto con el TEG pobre (TEG sin agua), que entra a la torre en contracorriente al gas rico desde el tope de la misma. A medida que el gas rico va ascendiendo plato a plato hasta el tope de la torre, va perdiendo agua, es decir, se va convirtiendo cada vez más en gas pobre en vapor de agua, debido a que el TEG, por ser higroscópico, absorbe el vapor de agua asociado al gas. Antes de abandonar la torre contactora el gas pasa por un extractor de niebla para remover el glicol que fue arrastrado por dicha corriente. En algunas ocasiones se adiciona un separador centrífugo de glicol para quitar las pequeñas cantidades de TEG que no pudieron ser removidas por el extractor de niebla.

Finalmente, el gas pobre que migra de la parte superior de la torre contactora, entra a un intercambiador de calor gas-glicol ubicado a un lado de la torre, donde refrigera la corriente de glicol regenerado (glicol pobre) para aumentar su eficiencia de absorción. El gas seco que sale de la unidad ya deshidratado, es utilizado para la venta, para reinyectar al yacimiento o como gas lift.

**Recorrido del trietilenglicol (TEG) en la planta deshidratadora** El glicol pobre entra por la parte superior de la torre contactora y a medida que va descendiendo en contracorriente al gas húmedo, éste se va haciendo cada vez más rico en agua. Dicho TEG rico sale por la parte inferior de la torre contactora por medio de una válvula disminuyendo su presión, por lo cual facilita la liberación de hidrocarburos que haya alcanzado a llevar consigo de la torre contactora. Posteriormente avanza a través de la columna Still hasta la parte superior, actuando como condensador de glicol de reflujo. Además, a medida de su ascenso por la columna, va aumentando su temperatura y su viscosidad se va haciendo menor.

Al momento de entrar al flash tank, los componentes volátiles que fueron arrastrados por la corriente de TEG rico son vaporizados, y los condensados hidrocarburos son removidos, lo que beneficia en la disminución de emisiones presentes en la columna still. Para la prevención de formación de espumas en el rehervidor y la acumulación de sólidos, el TEG rico pasa por un filtro de partículas y luego por un filtro de carbón activado, donde son removidos los sólidos que han sido arrastrados, los hidrocarburos disueltos en el TEG rico y gran parte de los productos generados por la degradación del mismo.

Luego que el TEG rico pasa por los filtros, de partículas y de carbón activado respectivamente, ingresa a un intercambiador de calor glicol rico-glicol pobre, donde el TEG rico gana calor para luego llegar al rehervidor, dicho calor es transferido por el TEG pobre proveniente del tanque de estabilización. El TEG rico entra al proceso de regeneración por la parte inferior de la columna still, ubicada sobre el rehervidor. En el rehervidor se evidencia la separación por evaporación del TEG con el agua y los compuestos orgánicos volátiles que no fueron removidos en el flash tank, esto debido a la diferencia de puntos de ebullición que presentan, donde el del agua es de 212°F y el del glicol es de 564°F. Si alguna cantidad de TEG es evaporada y empieza a ascender, esta se condensa en la zona superior de la columna still y retornará al rehervidor.

El TEG pobre que sale del rehervidor llega al tanque de estabilización, para posteriormente alimentar la bomba de glicol y así enviarlo al intercambiador de calor glicol rico-glicol pobre y seguidamente al intercambiador de calor glicol pobre-gas, al salir el TEG pobre de dicho intercambiador ingresa al plato superior de la torre contactora y así iniciar de nuevo su ciclo.

### **2.2.3 Equipos del Sistema de Deshidratación con Glicol**

En la unidad de deshidratación se presentan parámetros fijos y variables.

### **Parámetros fijos**

- tamaño de la torre contactora
- capacidades máxima y mínima a una presión y temperatura dada
- calor máximo y mínimo de entrega al generador
- área superficial del tubo de fuego
- capacidad de vapor de la destiladora
- capacidad del scrubber

### **Parámetros variables**

- flujo de gas a través de la unidad
- contenido de agua del gas
- concentración del glicol

**2.2.3.1 Scrubber** Equipo encargado de remover contaminantes tales como, agua libre, aditivos provenientes de fondo de pozo, sales, hidrocarburos condensados y sólidos, ya que de no retirar dichos componentes, estos ingresarán a la torre contactora y contaminaran el glicol, produciendo la degradación del mismo, formación de espumas y baja eficiencia de remoción de agua.

Puede ubicarse antes de la torre contactora o en algunos casos, en el interior de ella, siendo parte integral de dicha torre.

**2.2.3.2 Torre contactora** Es un equipo a manera de torre, el cual se opera a bajas Temperaturas y altas presiones, en ella ocurre la interacción entre el gas húmedo proveniente del scrubber y el glicol; los platos de burbujeo ubicados en su interior generan las superficies de contacto en las cuales se presentarán las zonas de transferencia de masa; estos platos permiten bajas tasas de líquido Vs tasas de gas. El gas húmedo ingresa por la parte inferior de la torre, asciendo por los platos de burbujeo pasando por los diferentes platos, al mismo tiempo el glicol fluye en contracorriente desde la parte superior de la torre, a medida que el gas asciende, este se va tornando más seco, ya que el glicol va absorbiendo cierta cantidad de agua que se encontraba en dicho gas.

**2.2.3.3 Válvula de expansión** Tiene como objetivo controlar el nivel de glicol presente en el contactor y a su vez generar la caída de presión del glicol rico que se dirige a la sección de regeneración. Es importante resaltar que la válvula de expansión no es un equipo sino una parte de la instrumentación de la planta de deshidratación, pero su ubicación en el proceso hace parte del diseño del proceso

**2.2.3.4 Separador flash** Es un separador horizontal de tres fases, en el cual se busca separar el glicol rico de cualquier hidrocarburo que se haya podido condensar después de la expansión y así mismo de los hidrocarburos gaseosos que hayan sido disueltos por el glicol, esto con el fin de evitar mayor carga en el rehervidor y la posible formación de espumas.

**2.2.3.5 Filtros** Son utilizados con el fin de remover impurezas, y de esta manera mantener la etapa de regeneración libre de contaminantes, los más usados son el filtro de sólidos y el filtro de carbón activado.

**2.2.3.6 Filtro de sólidos** Su función es remover los sólidos contaminantes provenientes de la degradación del glicol, de tamaños que se encuentran desde las 5 micras en adelante, esto con el fin de evitar mayor desgaste y obstrucciones en las bombas, y que dichos contaminantes lleguen al rehervidor, donde podrían llegar a formar costras o incrustaciones sobre los tubos de fuego.

**2.2.3.7 Filtro de carbón activado** Su función es la de remover condensados, surfactantes, químicos de tratamiento, productos de la degradación del glicol e impurezas químicas, operan al 100% del flujo de glicol rico.

**2.2.3.8 Intercambiador glicol/glicol** Se usa un intercambiador de tubos y coraza para que el glicol rico que se dirige hacia la regeneración sea precalentado, y a su vez, como una etapa para que el glicol pobre que sale de la etapa de regeneración sea enfriado en su camino hacia la torre contactora, ya que este se encuentra a altas temperaturas, el acondicionamiento de la temperatura antes de ingresar a la torre contactora a la cual debe ingresar 10 o 20° por encima de la temperatura de entrada del gas.

**2.2.3.9 Intercambiador gas/glicol** Aquí ocurre la segunda etapa del acondicionamiento del glicol para su ingreso a la contactora, el gas proveniente de la torre contactora se usa para refrigerar el glicol regenerado a la temperatura que se especifique; esto para evitar un aumento en la presión parcial del vapor de agua en la torre y así que disminuya la eficiencia en la deshidratación.

**2.2.3.10 Regenerador** Su función es la de eliminar el agua que fue absorbida por el glicol en la torre contactora, y a su vez minimizar la degradación del glicol, para así obtener la máxima concentración posible, esto con el fin de que dicho glicol pueda ser recirculado. Opera a bajas presiones y altas temperaturas; está conformado por tres componentes, un rehervidor siendo este el principal, una torre still y un condensador. “el diseño del regenerador debe asegurar la evaporación del agua hasta alcanzar la concentración deseada”.<sup>4</sup>

**2.2.3.11 Rehervidor** Permite elevar la temperatura del glicol rico para así poder lograr su regeneración, la regeneración se da por medio de un proceso de destilación, donde la separación se da debido a la diferencia entre los puntos de ebullición del glicol y el agua. El calor puede ser suministrado a través de un tubo de fuego, el cual se encuentra sumergido en el glicol, a través de aceite caliente o electricidad; con el fin de mantener el nivel de glicol por encima del tubo de fuego, evitar sobrecalentamiento y así la degradación del glicol por exceso de calor, se ubica un vertedero en el interior de la coraza.

**2.2.3.12 Columna still** Es la sección vertical del regenerador, en la cual ingresa el glicol rico por la parte baja de la columna, para luego poder descender al rehervidor donde los vapores que serán producidos ascienden y pasan por la configuración interna de la torre, que puede ser de platos o empaques, es aquí donde se da la separación del agua y el glicol.

**2.2.3.13 Condensador** Su finalidad es la de condensar el glicol sin llegar a condensar el vapor de agua, por medio de sus diferentes puntos de condensación; esto con el fin de generar una corriente de reflujo, la cual ayuda a minimizar las pérdidas del glicol.

**2.2.3.14 Bomba de glicol** “son componentes claves en una planta de deshidratación del gas natural, porque se encargan de garantizar la circulación de glicol por toda la planta”<sup>5</sup>, generalmente son de desplazamiento positivo de tipo recíprocante, se aconseja el tener dos bombas en paralelo, la segunda dado el caso la primera bomba falle.

---

<sup>4</sup> Martínez Marcías J. Deshidratación del Gas Natural. p113

<sup>5</sup> Martínez Marcías J. Deshidratación del Gas Natural. p118

Algunas de las condiciones de operación, son las siguientes:

1. velocidades de trabajo entre 300 y 350 RPM
2. Rango de Temperaturas entre -20° a 650°f

**2.2.4 Variables de Operación del Proceso de Deshidratación** La eficiencia en la remoción de vapor de agua presente en el gas natural o la depresión del punto de rocío en una planta de deshidratación depende de variables que pueden incidir en el proceso, tales como

- Temperatura del gas de entrada
- Presión del gas de entrada
- Flujo del gas de entrada
- Número de etapas en la torre contactora
- Concentración de glicol
- Presión en el rehervidor
- Tasa de circulación de TEG
- Temperatura en el condensador de reflujo
- Temperatura en el rehervidor

**2.2.4.1 Temperatura del gas de entrada** El rango de operación oscila entre 50°F y 130°F. Es muy importante tener presente que la temperatura nunca esté por debajo de la temperatura de formación de hidratos. La temperatura del gas de entrada determina el contenido de agua que se dirige a la torre contactora, al aumentar la temperatura a una presión constante el contenido de agua presente en el gas saturado aumenta de forma exponencial, bajas temperaturas del gas de entrada ocasiona que la cantidad de agua a remover por el glicol (TEG) en la torre contactora sea menor. Cuando hay un incremento en la temperatura del gas de entrada su volumen aumenta y por lo tanto también aumenta el diámetro de la torre contactora.

Al tener una baja temperatura va ocasionar un aumento en la viscosidad del glicol (TEG), por esta razón la eficiencia de absorción va a disminuir y se va a generar mayor tendencia a la formación de espumas, al estar a una temperatura mayor a los 120°F el gas va a tener mayor contenido de agua y la potencia de absorción del glicol (TEG) va a verse afectada debido a las pérdidas por vaporización. Una alta

temperatura disminuye la densidad del gas dando lugar a un alto flujo volumétrico de gas.

Una alta temperatura del gas de entrada requiere una mayor tasa de circulación de TEG, además si la temperatura del mismo es mucho mayor con respecto a la temperatura ambiente, existe la posibilidad que los hidrocarburos pesados se condensen en las paredes de la torre contactora. En la tabla 1 se definen estos efectos

**2.2.4.2 Presión del gas de entrada** En la práctica, la presión óptima con la cual debe operar la torre contactora se encuentra entre 500 psig y 1500 psig, teóricamente la deshidratación es posible a presiones inferiores de 3000 psig. Con el incremento de la presión a temperatura constante el contenido de agua disminuye en el gas de entrada. El efecto de la presión es de gran importancia en presiones por debajo de 500 psig, además a presiones inferiores a esta, el gas de entrada presenta más vapor de agua.

**2.2.4.3 Flujo del gas de entrada** Generalmente los platos de la torre contactora trabajan con más flujo de gas con respecto a la cantidad de glicol, cuando el flujo de gas es muy grande ocasiona inundación en la torre ocasionando una disminución notoria en la eficiencia del glicol. Un aumento en la tasa de gas puede generar pérdidas significativas de glicol, además de la posibilidad de causar sobrecarga en otros equipos como las bombas y el rehervidor. La cantidad en lb/h de agua a remover es directamente proporcional a la tasa de flujo del gas de entrada.

**2.2.4.4 Número de etapas en la torre contactora** Para lograr un equilibrio en la torre contactora es necesario tener un número sin fin de platos, por ello se es necesario hablar de porcentaje de eficiencia en cada plato, es decir, que si un plato tiene un 25% de eficiencia, significa que solo el 25% de las moléculas que entran en contacto lograron el equilibrio. Al tener una tasa de glicol (TEG) constante, la depresión del punto de rocío es directamente proporcional al número de etapas, por esta razón la depresión del punto de rocío incrementa al momento de aumentar el número de etapas.

Al presenciar una tasa de circulación baja de trietilenglicol (TEG) pobre a una determinada concentración, es posible hacer un diseño de la torre contactora con varias etapas, si dicha tasa de circulación aumenta con la misma concentración de TEG pobre, el número de etapas en la contactora se puede disminuir. Es de gran importancia tener claridad que cuando se tiene una cantidad fija tanto de concentración de TEG pobre como de tasa de circulación del mismo, el contenido de agua en el gas de venta va a presentar un comportamiento asintótico con respecto al aumento en la cantidad de platos teóricos en la contactora.

Enfocarse en la mejora de otras variables de diseño, como lo son la tasa de circulación y la concentración de TEG pobre, resulta más importante en cuanto al aspecto económico, ya que, el número de etapas en la torre contactora resulta ser una variable del proceso que no tiene gran relevancia en lo económico comparándolo con las demás variables como las mencionadas anteriormente.

**Tabla 1.** Temperatura en el gas de entrada

TEMPERATURA DEL GAS DE ENTRADA	EFFECTOS
<b>T&lt;50°F</b>	Incremento en la viscosidad del TEG
<b>60°F &lt;T&lt;70°F</b>	Emulsión estable con Hidratos líquidos en el gas, causa formación de espumas en la torre contactora
<b>T&lt;70°F</b>	Formación de Hidratos
<b>80°F&lt;T100°F</b>	Rango de Operación Optimo
<b>&gt;100°F</b>	Cantidad de agua en el gas aumenta, ya la eficiencia de remoción de TEG es baja

**2.2.4.5 Concentración de glicol** La concentración de TEG pobre se considera una de las variables con gran importancia en los procesos de deshidratación del gas natural. Para lograr altas concentraciones de TEG pobre existen diversos métodos, algunos de ellos son el incremento de la temperatura del rehervidor, reducir la presión de operación del rehervidor o utilizando alternativas de regeneración, ya sea con Stripping Gas, Drizo o Coldfinger.

La máxima concentración de TEG pobre que se puede alcanzar está entre 98,5% y 98,9% másico (a presión atmosférica y a la máxima temperatura en el rehervidor que es de 400°F). La concentración de TEG pobre es directamente proporcional a la depresión del punto de rocío, es decir, que al tener una alta concentración de TEG pobre se tendrá una alta depresión del punto de rocío. Es necesario recurrir a

alguna alternativa en la etapa de regeneración del TEG cuando la concentración de TEG pobre está por debajo de la mínima concentración requerida en la contactora para llegar a las especificaciones de temperatura del punto de rocío del agua presente en el gas.

Para lograr una condición de equilibrio entre el TEG pobre y el vapor de agua asociado al gas, es necesario que el TEG pobre que ingresa a la torre contactora por la parte superior se encuentre a una temperatura de 10°F a 20°F por encima de la temperatura de entrada del gas rico, el cual ingresa por la parte inferior de la contactora. Si la temperatura de entrada del TEG pobre se encuentra a más de 20°F por encima de la temperatura del gas rico que entra a la contactora, genera la posibilidad de pérdidas del glicol por vaporización, por otra parte, si dicha temperatura es menor a la del gas rico, esto hace que sea grande la probabilidad de formación de espuma ocasionada por la condensación de hidrocarburos.

**2.2.4.6 Presión en el rehervidor** Una presión en el rehervidor mayor a la presión atmosférica (1 atmósfera) con una temperatura constante, proporciona un exceso de agua presente en el glicol. Caso contrario sucede cuando la presión es menor a la presión atmosférica a temperatura constante, lo que genera un aumento en la concentración de TEG pobre, esto se debe a que la temperatura de la solución (agua-glicol) presenta una disminución.

**2.2.4.7 Tasa de circulación de TEG** La tasa de circulación de TEG pobre<sup>6</sup> es directamente proporcional a la cantidad de agua removida al gas, es decir, entre mayor sea la tasa de circulación, mayor es la depresión del punto de rocío del gas y mayor será la cantidad de agua removida, pero llega un momento, donde la cantidad de agua removida se hace constante y es ahí donde se empieza a brindar una sobrecarga al rehervidor.

No es correcto decir que el aumento en la tasa de circulación de teg pobre compensara la falta de concentración de teg pobre para así llegar a la remoción esperada de agua al gas, por lo contrario aumentar la concentración de teg o la cantidad de platos en la torre contactora lograra un mayor desempeño en la depresión del punto de rocío y por ende se obtendrá mejores resultados en la reducción de agua en el gas.

---

<sup>6</sup> De 2 a 5 gal de TEG / Lb de H<sub>2</sub>O removida, son valores de operación en la tasa de circulación que normalmente utilizados

**2.2.4.8 Temperatura en el condensador de reflujo** Al emplear temperaturas inferiores a 220°F en la parte superior de la columna still provoca que gran cantidad del vapor de agua se condense y retorna al rehervidor generando un incremento en la cantidad de energía requerida en el rehervidor. Es necesario monitorear constantemente que la temperatura en el condensador de reflujo no disminuya a valores inferiores a la temperatura de ebullición del agua, ya que si llega a suceder, la concentración obtenida en la regeneración de glicol en el proceso convencional sería inferior al 98.7% másico. Por otra parte, temperaturas muy altas en la parte superior de la columna still implica pérdidas de glicol por vaporización, por esta razón la temperatura óptima a la cual opera el condensador de reflujo varía entre 215°F y 225°F.

**2.2.4.9 Temperatura en el rehervidor** La temperatura en el rehervidor tiene una influencia directa en la concentración de glicol regenerado, cuando se presenta un aumento de temperatura en el rehervidor a presión constante se obtiene un incremento en la concentración de TEG regenerado. La temperatura a la que debe operar el rehervidor está entre 370°F y un poco menos de los 400°F, ya que esta última es la temperatura a la cual empieza a descomponerse el TEG debido a que su molécula se rompe.

**2.2.5 Sistemas alternos para mejorar la regeneración de TEG** Cuando son requeridas grandes depresiones del punto de rocío, es necesario usar glicol con alta concentración implementando sistemas especiales de deshidratación. Los sistemas normales de deshidratación con glicol TEG de pureza de 98,5% son capaces de lograr depresiones del punto de rocío hasta 70° F. El gas de arrastre o gas stripping, puede ser usado para obtener depresiones de punto de rocío más altas.

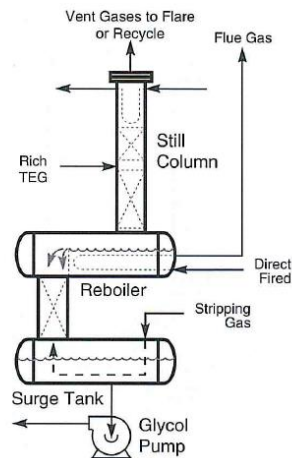
Existen unidades de glicol que operan al vacío, las cuales pueden lograr purezas de glicol de hasta del 99,9%, pero rara vez se utilizan debido a los altos costos de operación y los problemas asociados con el logro de los vacíos necesarios.

Además del gas stripping, otros métodos también son utilizados para obtener los puntos de rocío bajos, como lo son el Drizo y el proceso de coldfinger o condensador de dedo frío.

**2.2.5.1 Inyección de Gas Stripping** En la industria, el gas stripping es uno de los métodos usados comúnmente para mejorar la eficiencia del glicol regenerado en los procesos de deshidratación del gas natural. Para la aplicación de este sistema de regeneración, no se necesitan grandes cantidades de inversión económica para la adecuación de la planta deshidratadora. Sin embargo, la aplicación de este método tiene un factor negativo, ya que aumenta la cantidad de BTEX y VOC que son emitidos a la atmósfera a través de la torre de despojo o de regeneración.

El gas stripping es inyectado ocasionando una disminución en la presión parcial del agua contenida en la solución de TEG (TEG rico), lo cual conlleva a que dicha agua de la solución sufra una vaporización dando como resultado que la concentración del TEG pobre tenga un aumento.

**Ilustración 8.** Inyección Gas stripping



Fuente: Campbell Jhon M. Gas Conditioning and Processing. Volume 2: the Equipment module Capítulo 17. P337

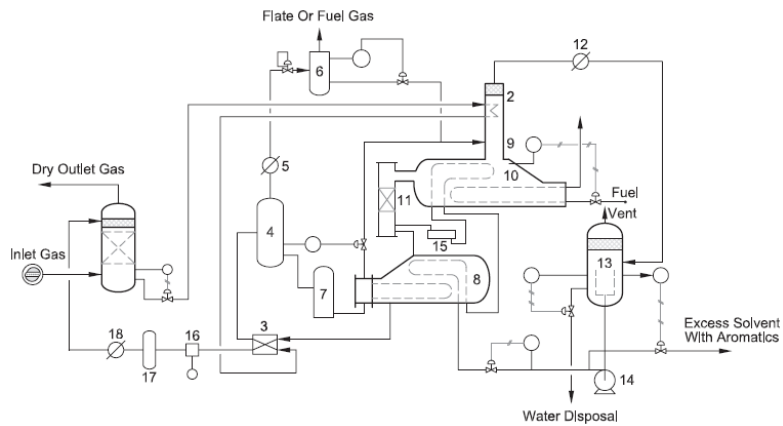
**2.2.5.2 Drizo** El proceso Drizo se utiliza para obtener concentraciones de glicol (pureza) de hasta 99,99%, y puntos de rocío bajos en un rango de -40°F a -80°F. Utiliza un peso molecular de 80-100 solvente (por lo general octano 150) en el reconcentrador para formar un azeótropo<sup>7</sup> con el agua, reduciendo así el punto de ebullición efectivo de la mezcla.

Teniendo en cuenta las consideraciones económicas, el Drizo puede resultar más favorable que el gas de arrastre o gas stripping, además las unidades existentes se

<sup>7</sup> Mezcla líquida de dos o más compuestos químicos que hierven a temperatura constante y que se comportan como si estuviesen formadas por un solo componente.



## Ilustración 10. Diagrama del proceso Drizo



Fuente: Stewart Maurice, ken E. Arnold, Gas Dehydration Field Manual, Gulf Professional Publishing, GPG P145

1. Contactador de glicol
2. Condensador de reflujo
3. Intercambiador de platos glicol-glicol
4. Flash Tank
5. Condensador de recuperación de solvente
6. Tambor de solvente recuperado
7. Filtro de glicol
8. Surge Tank / Intercambiador
9. Separador rico
10. Rehervidor de glicol
11. Separador pobre
12. Condensador solvente-agua
13. Separador solvente-agua
14. Bomba de solvente
15. Recalentador del solvente

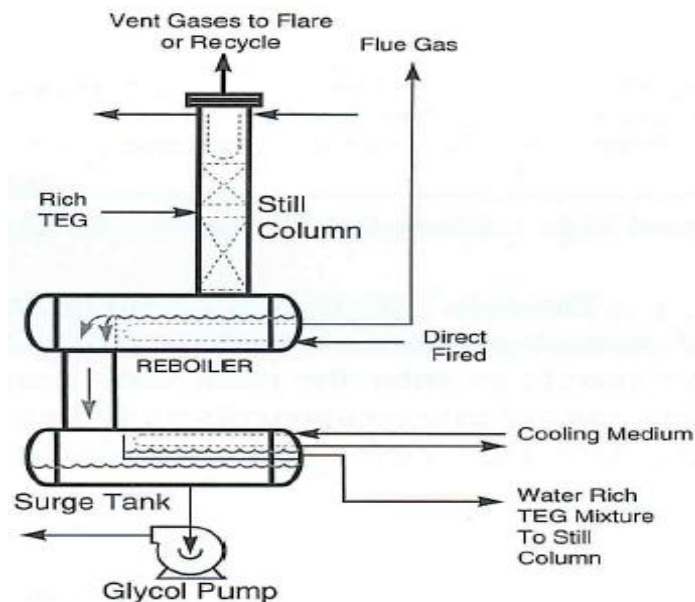
16. Bomba de glicol

17. Filtro

18. Enfriador de glicol

**2.2.5.3 Coldfinger** El proceso coldfinger que se muestra en la ilustración 11, es similar a un proceso de deshidratación convencional, con la excepción de que este presenta un “agotador de agua” donde el líquido que sale del rehervidor es aún más deshidratado; el principio se basa en condensar y extraer el agua de la fase vapor del glicol pobre, la presión parcial del agua en el espacio de vapor disminuye aumentando la concentración de TEG, “ el proceso Coldfinger es ventajoso porque no hay presencia de gas de arrastre, disolvente; un mayor consumo de energía es requerido y debido a la simplicidad del “agotador de agua”, que puede ser instalado fácilmente como una adición a una planta convencional”<sup>8</sup>.

**Ilustración 11. Coldfinger**

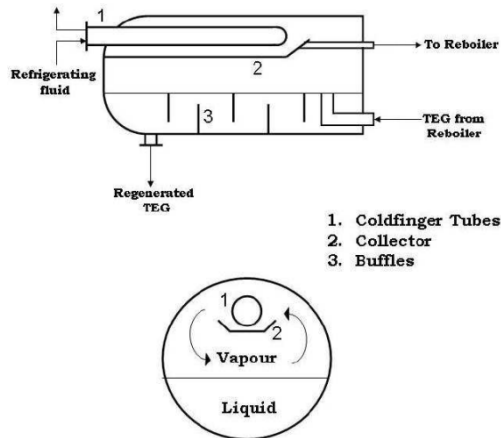


Fuente: Campbell Jhon M. Gas Conditioning and Processing. Volume 2: the Equipment module Capitulo 17. P337

<sup>8</sup> F. Gironi, M. Maschietti, V. Piemonte, D. Diba, S. Gallegati, S. Schiavo, the Offshore Mediterranean Conference and Exhibition in Ravenna, Italy, March 28-30, 2007. TRIETHYLENE GLYCOL REGENERATION IN NATURAL GAS DEHYDRATION PLANTS: A STUDY ON THE COLDFINGER PROCESS

En la ilustración 12, se puede observar el montaje del sistema coldfinger para la regeneración del trietilenglicol en la deshidratación del gas natural.

### Ilustración 12. Representación esquemática Equipo Coldfinger



Fuente: F. Gironi, M. Maschietti, V. Piemonte, D. Diba, S. Gallegati, S. Schiavo, TRIETHYLENE GLYCOL REGENERATION IN NATURAL GAS DEHYDRATION PLANTS: A STUDY ON THE COLDFINGER PROCESS, p3

## 3. COMPONENTES BTEX

El gas que ingresa a la planta de deshidratación posee por lo general componentes BTEX<sup>9</sup>, dichos componentes BTEX son solubles en TEG, lo cual presenta un problema de tipo ambiental, ya que el gas absorbido se libera a la atmósfera desde el regenerador de glicol.

El tipo y la cantidad de emisiones de compuestos BTEX que se presenten en la unidad de deshidratación, depende de diferentes tipos de variables, como lo son: el diseño actual de proceso, condiciones de operación, la composición y velocidad de flujo del gas natural.

Para evitar que los componentes BTEX sean enviados hacia la atmósfera, la unidad de deshidratación de glicol debe enviar el gas de escape a un incinerador para destruir los componentes BTEX. Otras formas de minimizar la absorción BTEX es que este se recupere como un líquido con la unidad Drizo.

“La presencia de pequeñas cantidades de BTEX en la corriente de gas natural puede dar lugar a concentraciones muy altas en la corriente de ventilación. La concentración molar de BTEX en la salida de la rejilla de ventilación puede ser

<sup>9</sup> compuestos principalmente por : Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xilenos

fácilmente varios cientos de veces mayor que en el gas natural crudo”<sup>10</sup>. A causa de los diferentes tipos de consideraciones ambientales, el disminuir la emisión de compuestos BTEX es un papel muy importante en el procesamiento de gas, debido a esto el desarrollo y selección de alternativas de procesos que ayuden a disminuir las emisiones de componentes BTEX necesitan la suficiente atención durante toda la fase de diseño

#### 4. SIMULACION DE PROCESOS

Los diferentes tipos de simuladores son herramientas que presentan una gran utilidad debido a que en ellos se pueden realizar evaluaciones tanto técnicas como económicas de los diferentes tipos de procesos, en estos simuladores se podrán observar el comportamiento que debe presentar una planta, las condiciones operacionales óptimas y la respuesta de los diferentes equipos al variar dichas condiciones, sea esta un prototipo o se esté evaluando una planta ya existente.

La esencia de todo simulador son los diferentes tipos de modelos matemáticos que este posea, ya que estos relacionan las diferentes variables que se emplean en el proceso, como los son: la presión, temperatura, caudales de alimentación, etc. En cuanto a un simulador de procesos los modelos matemáticos que este emplea son las ecuaciones de estado, con las cuales se determinan las propiedades termodinámicas de los fluidos, en la industria del procesamiento del gas las ecuaciones más usadas son: la ecuación de estado Peng-Robinson (PR) y la ecuación de estado Soave-Redlich-Kwong (SRK).

“El frecuente uso de las ecuaciones de estado antes mencionadas se debe a que son aplicables a componentes puros y mezclas multicomponentes, en fase gaseosa, líquida y/o sólida; además predicen con buena precisión cambios de entalpía, entropía y equilibrio de fases para sistemas gas-agua-hidrocarburos”<sup>11</sup>.

##### 4.1 METODO TERMODINAMICO PENG-ROBINSON (PR)

La ecuación de estado Peng-Robinson es una modificación de la ecuación de estado SRK. Sin embargo, en las regiones críticas SRK predice el equilibrio líquido-vapor con poca aproximación, mientras que PR da mejores resultados en estas regiones. Las densidades estimadas pueden alcanzar desviaciones del 10 al 20%. No se recomienda para sistemas alejados de la idealidad.

---

<sup>10</sup> Majid Saidi, Mahboubeh Parhoudeh, Mohammad Reza Rahimpour, Mitigation of BTEX emission from gas dehydration unit by application of Drizo process: A case study in Farashband gas processing plant; Iran. p34

<sup>11</sup> Benitez M. Carlos J. Evaluación de las variables operacionales de la planta de extracción de gas yusepín en función de la variación de la calidad del gas de alimentación. Caracas. Universidad Metropolitana. Facultad de ingeniería. Escuela de Ingeniería Química

Las aplicaciones típicas en las cuales este método reporta mejores resultados corresponden a desetanizadoras, desbutanizadoras, despropanizadoras, separadores etano-etileno y absorbedores de cola liviana.

La ecuación de SRK es la siguiente:

**Ecuación 4.** Ecuación de SRK

$$P = \frac{RT}{(V - b)} - \frac{a(T)}{V(V + b)}$$

La ecuación PR fue diseñada para mejorar las predicciones de la ecuación SRK con respecto a la densidad del líquido pobre, introduciendo un término dependiente de la temperatura más general, resultando la siguiente ecuación:

**Ecuación 5.** Ecuación de Peng-Robinson

$$P = \frac{RT}{(V - b)} - \frac{a(T)}{V(V + b)} + b(V - b)$$

Donde,

$$b = \sum_i X_i b_i$$

$$b_i = 0,07776 \frac{T_{ci}}{P_{ci}}$$

$T_{ci}$  y  $P_{ci}$ : temperatura y presión crítica del componente  $i$

$$a(T) = \sum_i \sum_j X_i X_j (a_i a_j)^{\frac{1}{2}} (1 - k_{ij}) (a_i a_j)$$

$$a_i = a_{ci} \alpha_i$$

$$a_{ci} = 0.457235 \frac{(RT_{ci})^2}{P_{ci}}$$

$$\alpha^{0.5} = 1 + m_i (1 - T_{ri}^{0.5})$$

$$m_i = 0.37646 + 1.54226 \omega_i - 0.26992 \omega_i^2$$

$\omega_i$  : Factor acéntrico para el componente i

$k_{ij}$ : Constante de interacción binaria para los componente i y j

## 4.2 CONDICIONES PARA LA SIMULACIÓN

La simulación fue realizada específicamente con un gas de la guajira, la composición de dicho gas y las variables de entrada en el proceso de simulación son presentadas en las siguientes tablas.

### 4.2.1 Bases de la simulación

**Tabla 2.** Composición del gas húmedo a la entrada

COMPOSICIÓN DEL GAS HÚMEDO DE ENTRADA	
COMPUESTO	FRACCIÓN MOLAR
N2	0.0015
H2S	0
CO2	0.0079
C1	0.7219
C2	0.13
C3	0.0799
i-C4	0.0105
n-C4	0.0263
i-C5	0.0064
n-C5	0.0067
n-C6	0.0046
n-C7	0.0016
n-C8	0.0007
H2O	0.002
TOTAL	1

#### 4.2.2 Condiciones del gas de entrada

**Tabla 3.** Condiciones del gas de entrada

<b>GAS DE ENTRADA</b>	<b>VALOR</b>
<b>Flujo de Gas</b>	150 MMscfd
<b>Temperatura</b>	100°F
<b>Presión</b>	1000 psi
<b>Contenido de Agua</b>	60 lbH <sub>2</sub> O/MMscfd

#### 4.2.3 Condiciones del teg de entrada

**Tabla 4.** Condiciones del TEG pobre a la entrada

<b>TEG (POBRE) DE ENTRADA</b>	<b>VALOR</b>
<b>Temperatura</b>	110°F
<b>Presión</b>	995 psi
<b>Concentración</b>	98,75% másico
<b>Caudal</b>	21,9375 GPM

#### 4.2.4 Especificaciones de la torre contactora

**Tabla 5.** Especificaciones del contactor

<b>ESPECIFICACIONES DEL CONTACTOR</b>	<b>VALOR</b>
<b>Presión</b>	1000 psi
<b>Temperatura Gas</b>	100°F
<b>Temperatura Glicol</b>	110°F
<b>Número De Platos</b>	6

#### 4.2.5 Especificaciones del regenerador

**Tabla 6.** Especificaciones del regenerador

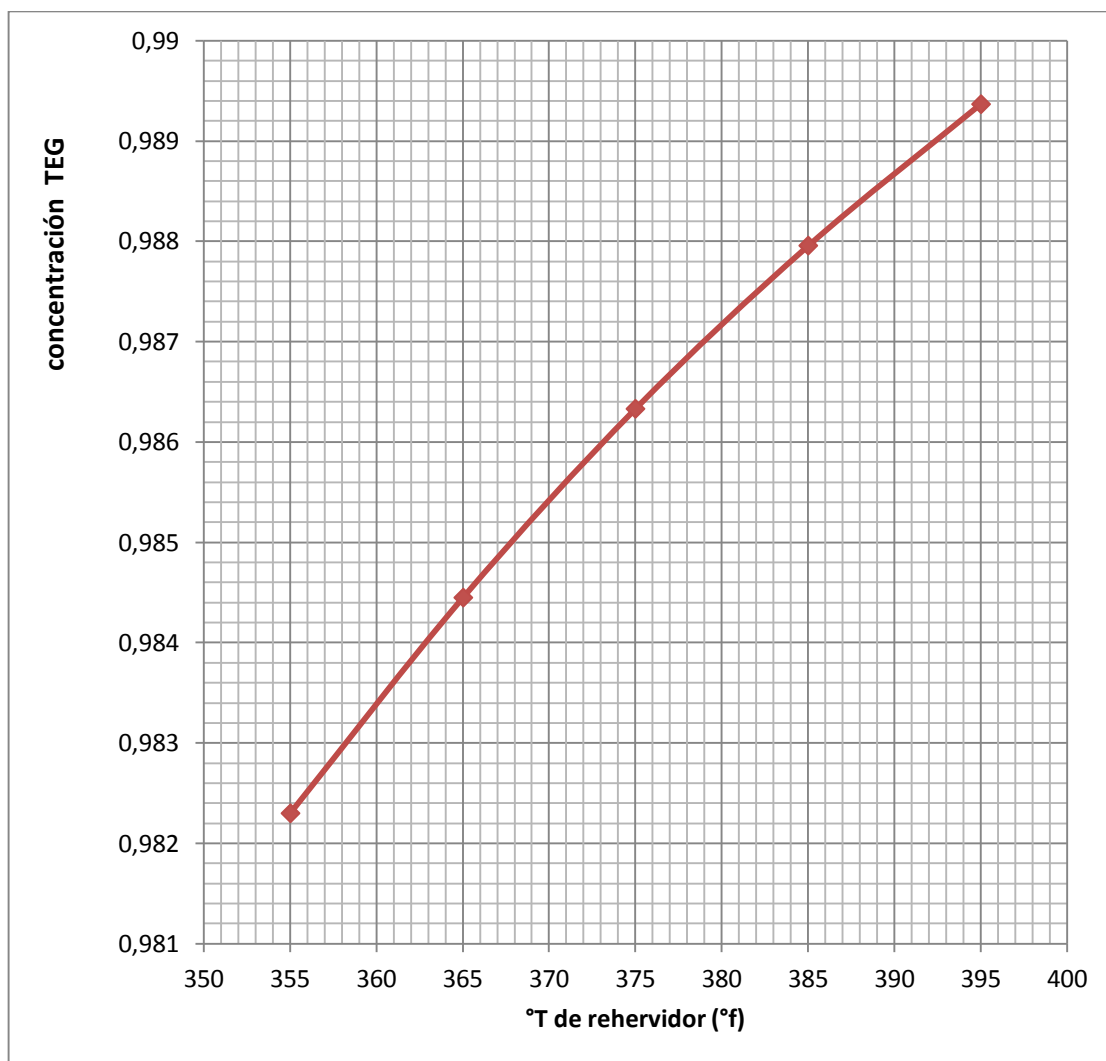
ESPECIFICACIONES DEL REGENERADOR	VALOR
<b>Presión del Rehervidor</b>	15
<b>Presión del Condensador</b>	14,5
<b>Temperatura del Rehervidor</b>	390
<b>Temperatura del Condensador</b>	212
<b>Número de Platos</b>	1

La temperatura del rehervidor es fundamental en el proceso de regeneración del trietilenglicol (TEG), ya que en este se suministra calor con el fin de remover el vapor de agua que fue absorbido por el TEG, esto mediante un proceso de destilación simple.

El grado de regeneración que se puede llegar a obtener en el rehervidor por medio de la variación de temperatura se encuentra limitado por el tipo de glicol que se use en el proceso de deshidratación del gas natural, en el caso particular de estudio, el trietilenglicol (TEG); la temperatura a la cual se empieza a degradar el TEG es de 400°f, por lo cual sería el límite de temperatura en el rehervidor.

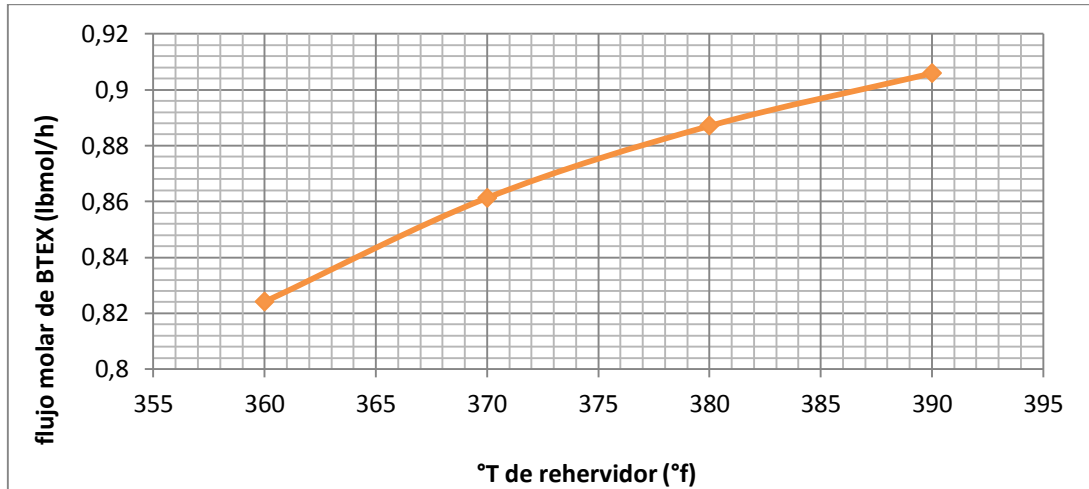
En la gráfica 1 se puede observar los porcentajes de pureza de TEG que se logran por medio de la variación de la temperatura del rehervidor a una presión atmosférica, dicho porcentaje se encuentra en un rango de 91.8% a 98.8% en porcentaje másico. Cuando se busca mayor grado de regeneración del glicol empleado, es necesario lograr una reducción de la presión parcial del agua en el espacio de vapor en el rehervidor, procesos como el stripping gas, Drizo y coldfinger pueden implementarse con tal propósito.

**Gráfica 1.** Efecto de la temperatura del rehervidor en la concentración de teg regenerado



El vapor procedente de la columna de regeneración contiene algunos gases hidrocarburos que fueron absorbidos por el glicol en el proceso de deshidratación, estos gases absorbidos son compuestos aromáticos y nafténicos, entre los componentes aromáticos se encuentran el Benceno, Etileno, Tolueno y Xileno (BTEX), dichos componentes son eliminados del glicol rico a medida que este se regenera. En la gráfica 2 se puede observar el comportamiento de dichos compuestos BTEX al variar la temperatura del rehervidor a presión constante, el flujo molar de compuestos BTEX que es expulsado de la torre regeneradora aumenta a medida que la temperatura del rehervidor aumenta.

**Gráfica 2.** Efecto de la temperatura del rehervidor en la emisión de gases BTEX



#### **4.3 SENSIBILIZACIÓN DE PARÁMETROS**

Una vez los diferentes procesos de regeneración de trietilenglicol en la deshidratación del gas natural son simulados, el paso a seguir es el de observar el comportamiento que se presenta en la regeneración del Teg al variar algunos parámetros.

### **5. ANALISIS DE RESULTADOS**

Basados en la etapa de regeneración en cada uno de los procesos de no convencionales de regeneración de trietilenglicol en la deshidratación del gas natural, se observó el comportamiento de las siguientes variables.

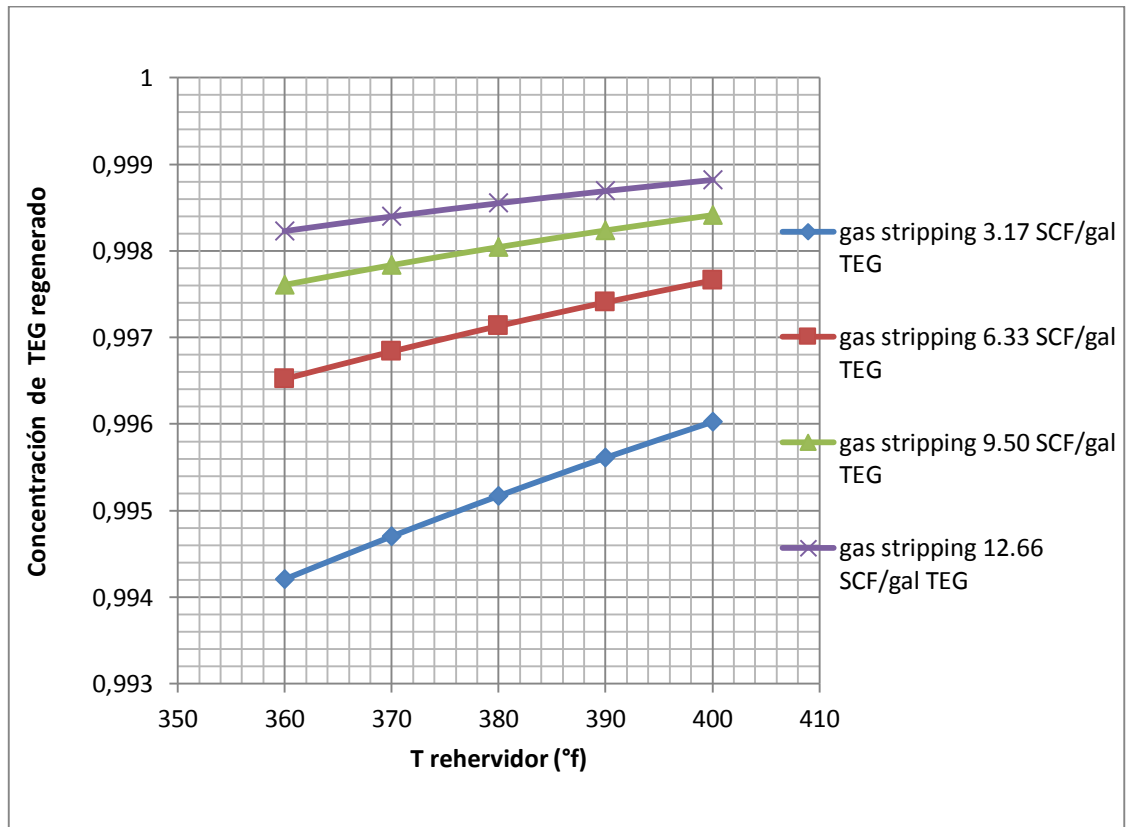
- Temperatura de operación del rehervidor
- Tasa de flujo de gas stripping
- Tasa de flujo de iso-octano
- Calor removido en el rehervidor

Adicionalmente se evaluó la emisión de componentes BTEX en dichos procesos, los resultados de la simulación se presentan a continuación.

## 5.1 EFECTO DE LA TEMPERATURA DEL REHERVIDOR A DIVERSOS FLUJOS DE GAS STRIPPING EN LA CONCENTRACIÓN

Al implementar gas stripping en el proceso de regeneración del TEG, se presencia un incremento en la concentración del trietilenglicol a medida en que se aumenta las tasas de inyección en el rehervidor. Dichas concentraciones presentan variaciones que dependen tanto de la tasa de inyección del gas stripping, como de la temperatura a la que se maneja el rehervidor, como resultado se pueden determinar ciertas condiciones para obtener el porcentaje de concentración esperado, en la gráfica 3 se puede apreciar una de las condiciones antes mencionadas, ya que se pueden obtener altas concentraciones de TEG cuando se emplea una tasa de gas stripping alta y una temperatura en el rehervidor baja, con lo que se puede afirmar que al implementar una tasa alta de gas stripping se puede bajar la temperatura del rehervidor para lograr concentraciones superiores al 98.8%.

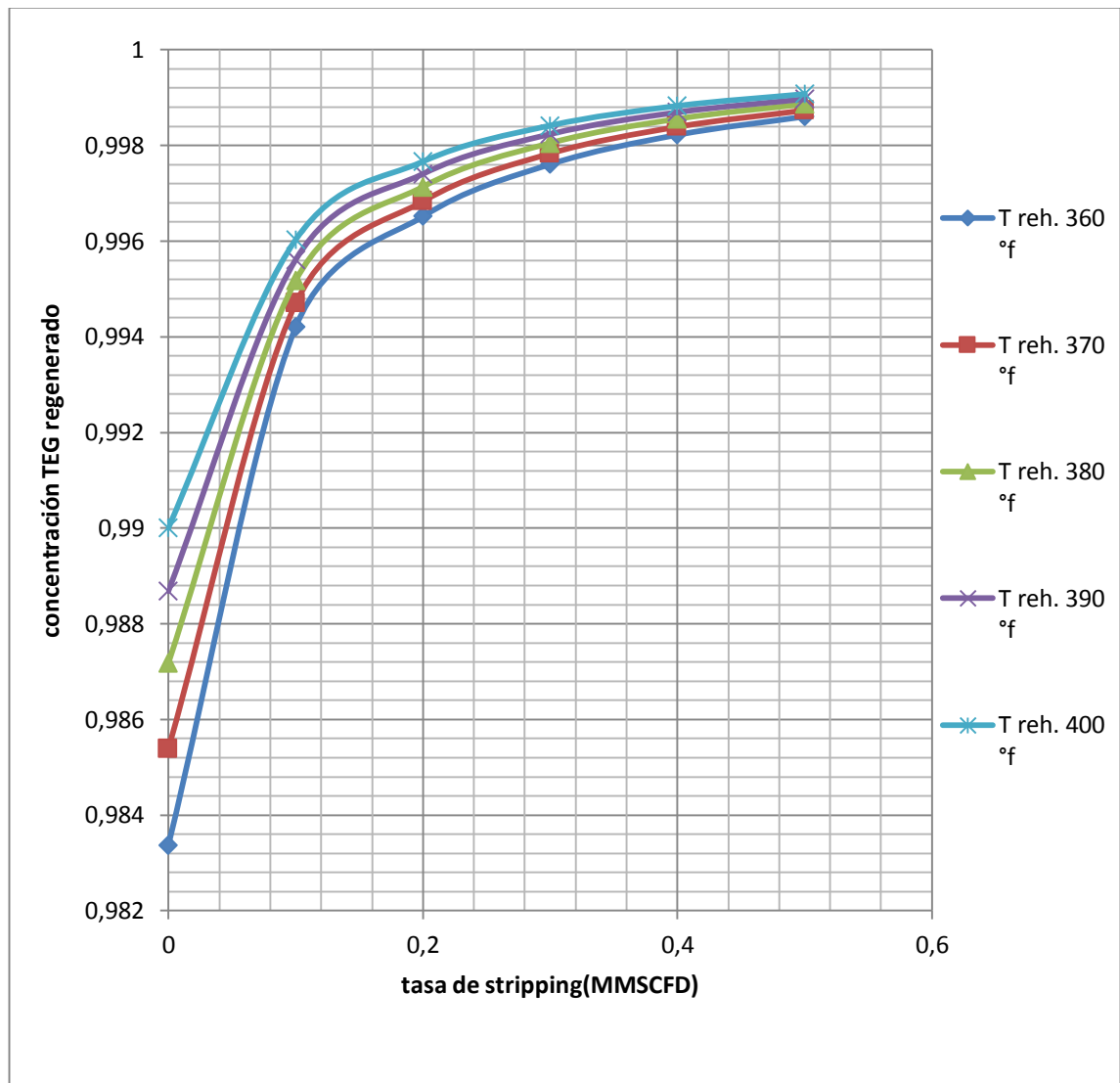
**Gráfica 3.** Efecto de la temperatura del rehervidor a diversos flujos de gas stripping en la concentración



## 5.2 EFECTO DEL FLUJO DE GAS STRIPPING A DIVERSAS TEMPERATURAS DEL REHERVIDOR EN LA CONCENTRACIÓN DE TEG

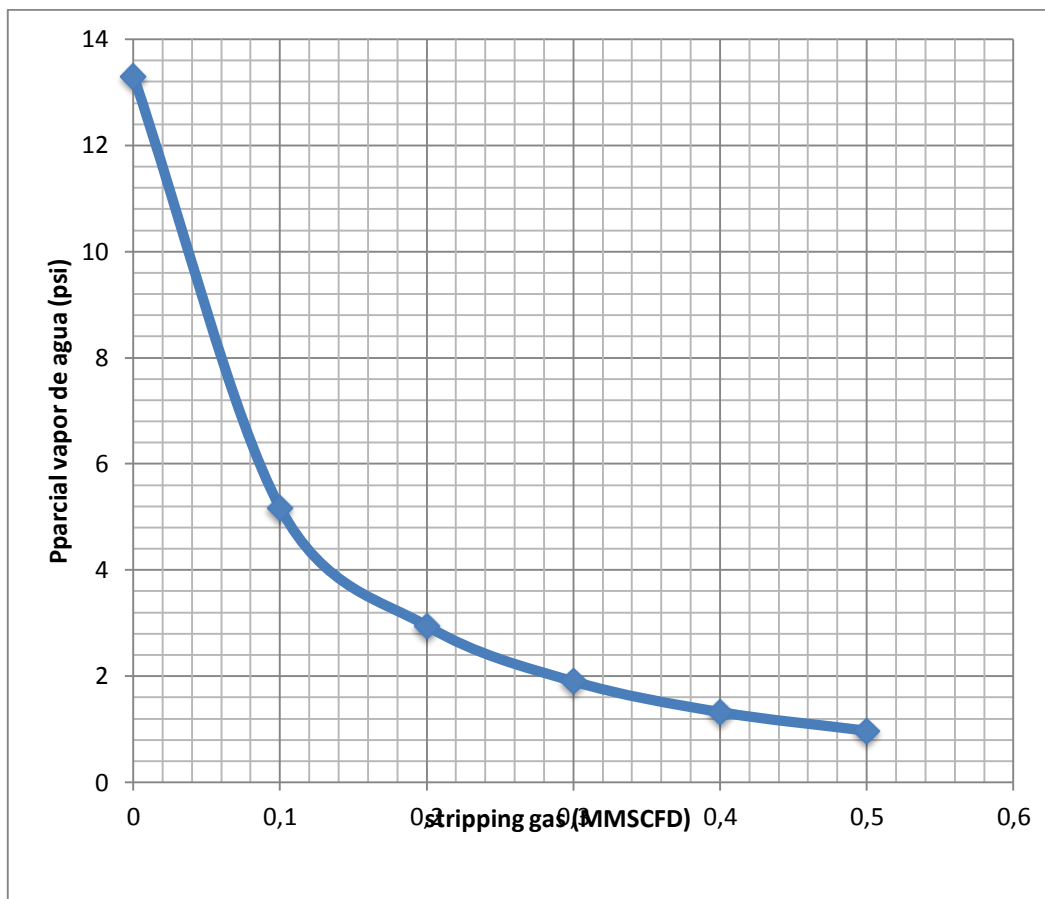
En la gráfica 4 se puede apreciar el otro comportamiento que se puede presentar en el proceso de regeneración del TEG, el cual consiste en que si las tasas de inyección de gas stripping son bajas, es necesario mantener temperaturas de rehervidor altas para lograr concentraciones de TEG de igual valor.

**Gráfica 4.** Efecto del flujo de gas stripping a diversas temperaturas del rehervidor en la concentración de teg



### 5.3 EFECTO DEL FLUJO DE GAS STRIPPING EN LA DISMINUCIÓN DE LA PRESIÓN PARCIAL DEL VAPOR DE AGUA

**Gráfica 5.** Efecto del flujo de gas stripping en la disminución de la presión parcial del vapor de agua

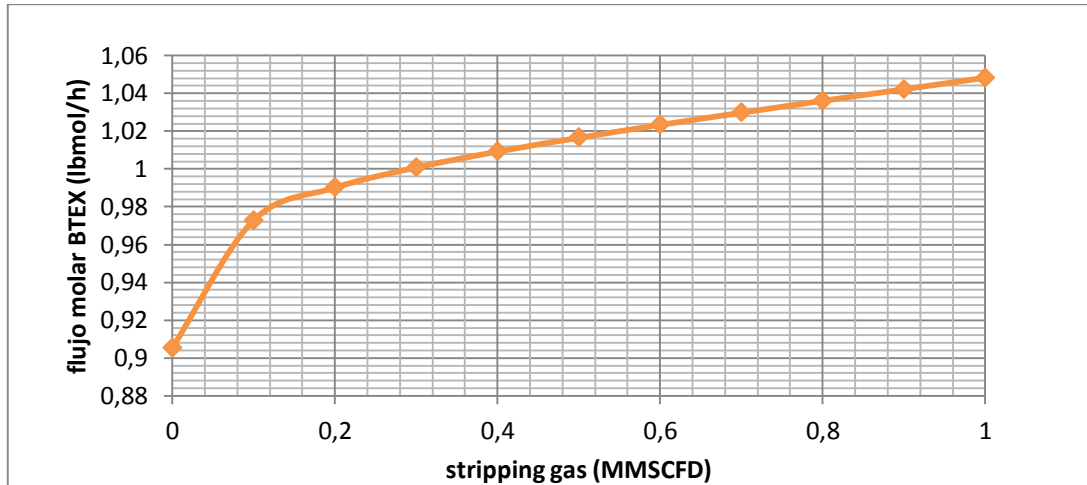


En la gráfica 5 se observa la disminución en la presión parcial de vapor de agua en el rehervidor, este comportamiento se presenta por el arrastre que genera el gas stripping.

### 5.4 EFECTO DEL FLUJO DE GAS STRIPPING EN LA EMISIÓN DE BTEX

En la gráfica 6 se puede observar el comportamiento del flujo de componentes BTEX como resultado directo de la tasa de flujo de stripping gas, se aprecia que a medida que la tasa de stripping aumenta se genera un aumento en la emisión de BTEX, esto debido al arrastre que es efectuado por el gas stripping.

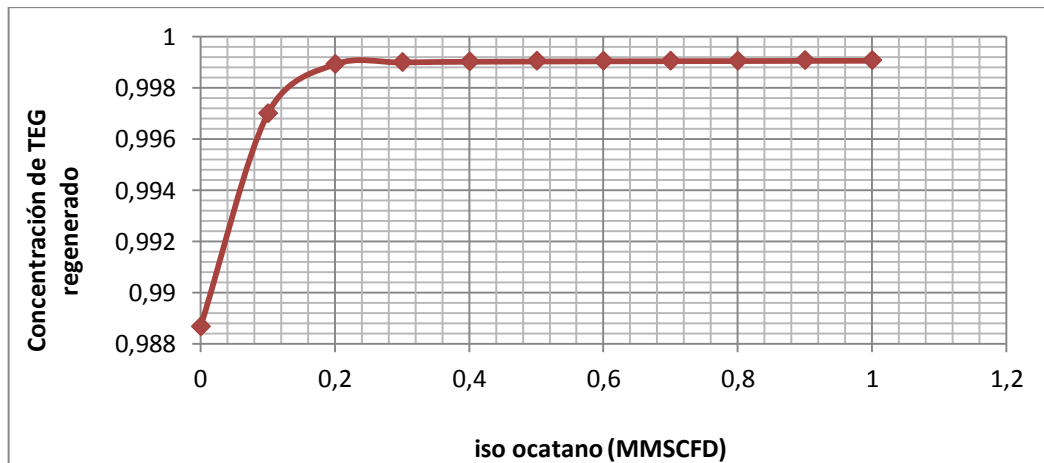
**Gráfica 6.** Efecto del flujo de gas stripping en la emisión de BTEX



### 5.5 EFECTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DRIZO EN LA CONCENTRACIÓN DE TEG REGENERADO

en la gráfica 7 se puede observar el comportamiento de la fracción másica de TEG regenerado a medida que se implementa el proceso Drizo, en el cual se usó como solvente el iso-octano, a medida que el flujo de solvente a una temperatura de rehervidor constante, aumenta, aumenta la fracción másica de TEG regenerado, esto debido a la disminución de la presión parcial del agua en el rehervidor como resultado directo del uso del solvente, obteniéndose así como consecuencia este aumento de TEG regenerado.

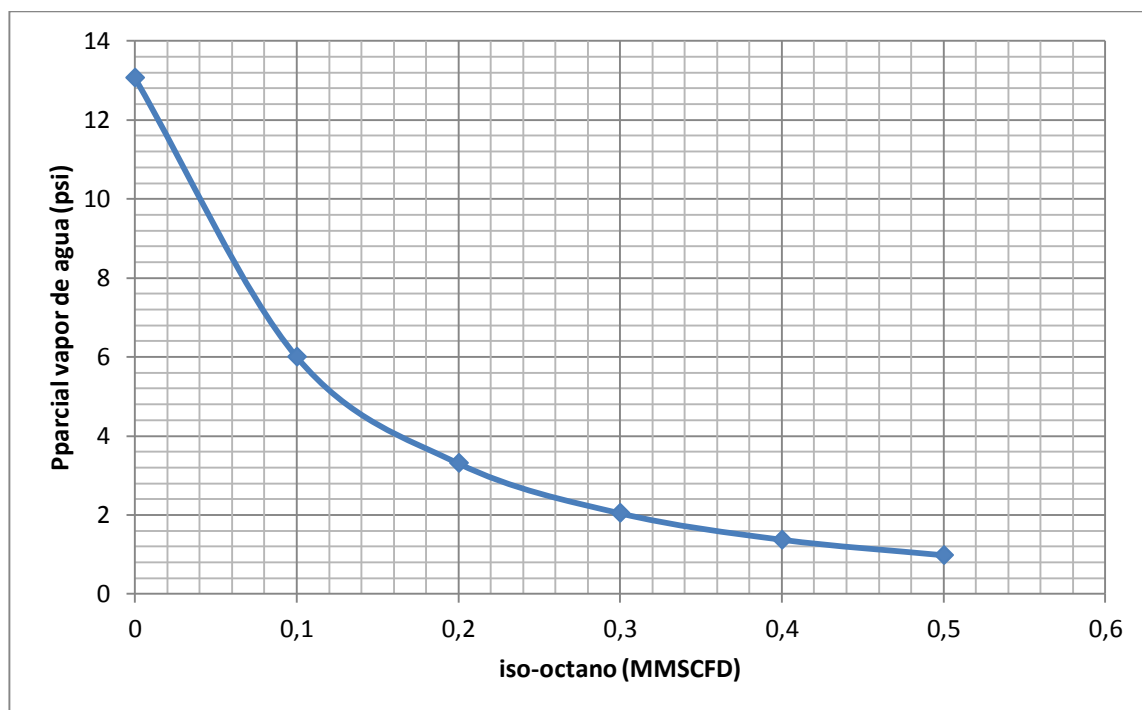
**Gráfica 7.** Efecto de la implementación del proceso drizo en la concentración de teg regenerado



## 5.6 EFECTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DRIZO EN LA DISMINUCIÓN DE LA PRESIÓN PARCIAL DEL VAPOR DE AGUA

En la gráfica 8 se observa la disminución en la presión parcial del vapor de agua a causa de la implementación del proceso Drizo, esto por la disminución de la fracción molar de agua.

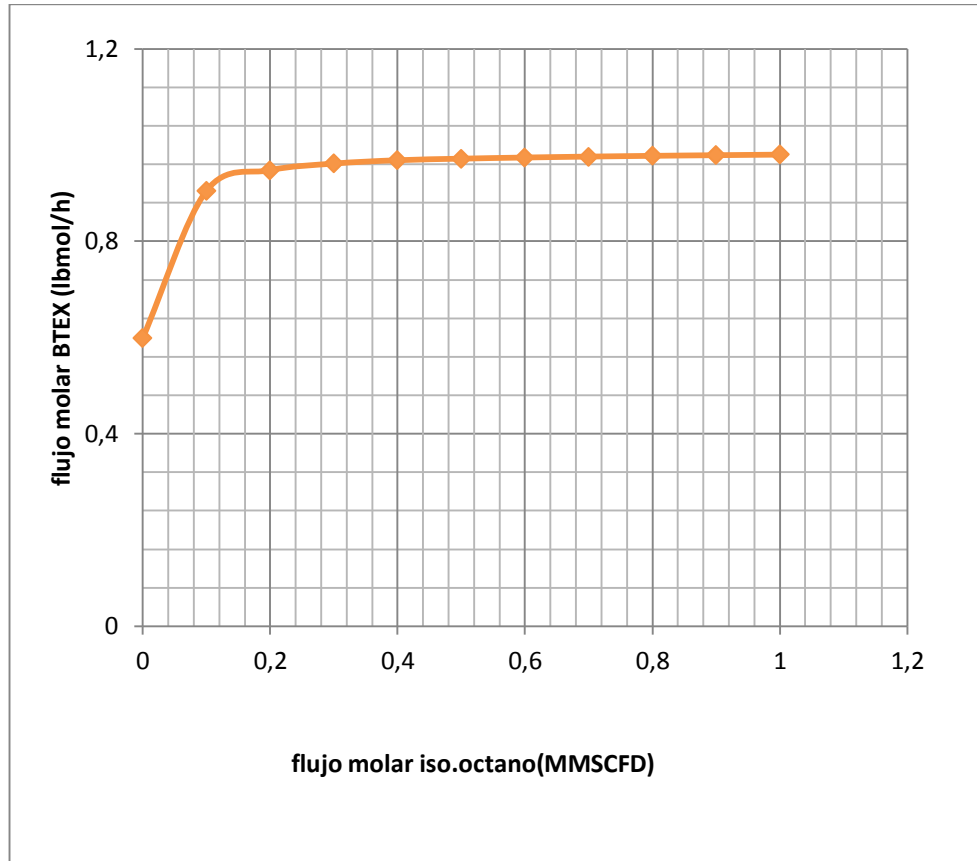
**Gráfica 8.** Efecto de la implementación del proceso drizo en la disminución de la presión parcial del vapor de agua



## 5.7 EFECTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DRIZO EN LA EMISIÓN DE BTEX

En la gráfica 9 se muestra el comportamiento del flujo molar de componentes BTEX que son enviados a la atmósfera, se observa una disminución significativa de dichas emisiones en comparación al proceso de deshidratación común, por otra parte las emisiones de componente BTEX en el proceso Drizo son menores en comparación a la implementación de Stripping gas, esto debido a que gran parte de los componentes BTEX son condensados y otra parte junto con el solvente usado, es recirculado a la torre de regeneración con el fin de regenerar un mayor porcentaje de TEG.

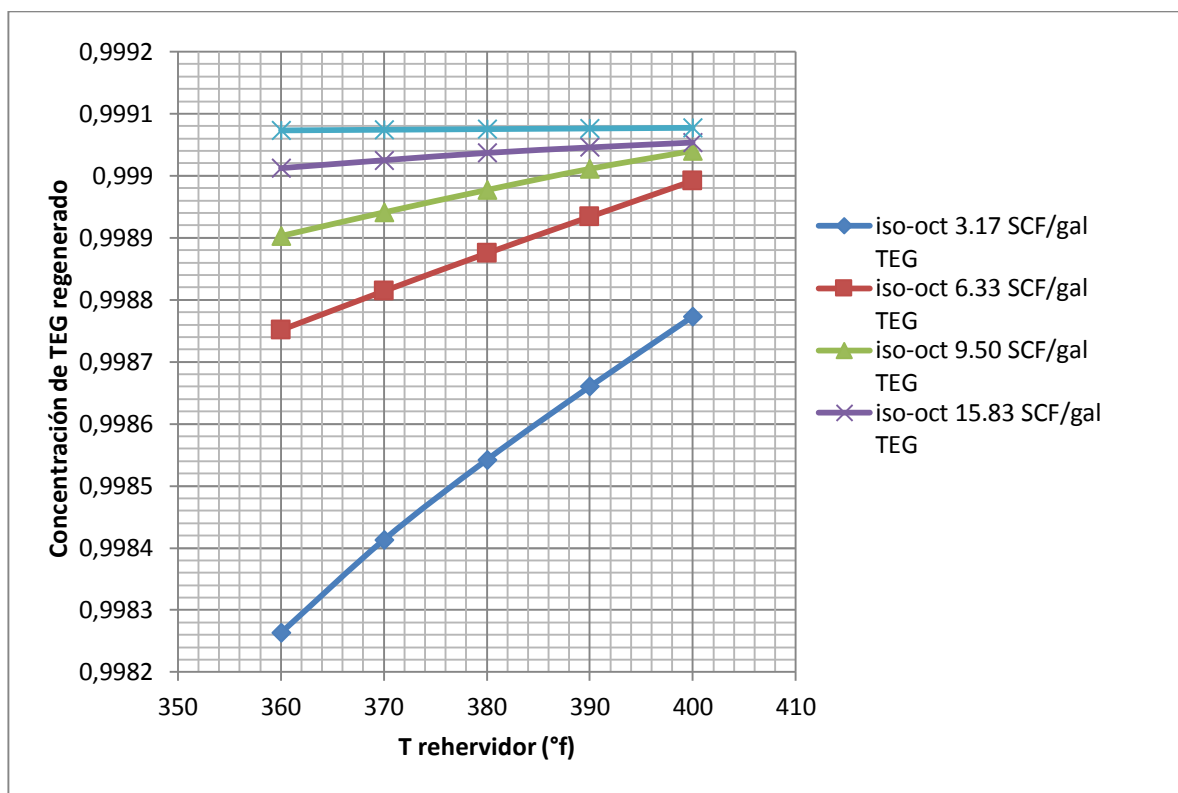
**Gráfica 9.** Efecto de la implementación del proceso drizo en la emisión de BTEX



### **5.8 EFECTO DE LA TEMPERATURA DEL REHERVIDOR A DIVERSOS FLUJOS DE ISO-OCTANO EN LA CONCENTRACIÓN DE TEG POBRE**

Al implementar el proceso Drizo para aumentar la regeneración del TEG, se presencia un incremento en la concentración del trietilenglicol a medida en que se aumenta las tasas de inyección en el rehervidor. Dichas concentraciones presentan variaciones que dependen tanto de la tasa de inyección del gas stripping, como de la temperatura a la que se maneja el rehervidor, como resultado se pueden determinar ciertas condiciones para obtener el porcentaje de concentración esperado, en la gráfica 10 se puede apreciar una de las condiciones antes mencionadas, ya que se pueden obtener altas concentraciones de TEG cuando se emplea una tasa de inyección alta y una temperatura en el rehervidor baja, con lo que se puede afirmar que al implementar una tasa alta de inyección se puede bajar la temperatura del rehervidor para lograr concentraciones superiores al 98.8%.

**Gráfica 10.** Efecto de la temperatura del rehervidor a diversos flujos de iso-octano en la concentración de teg pobre

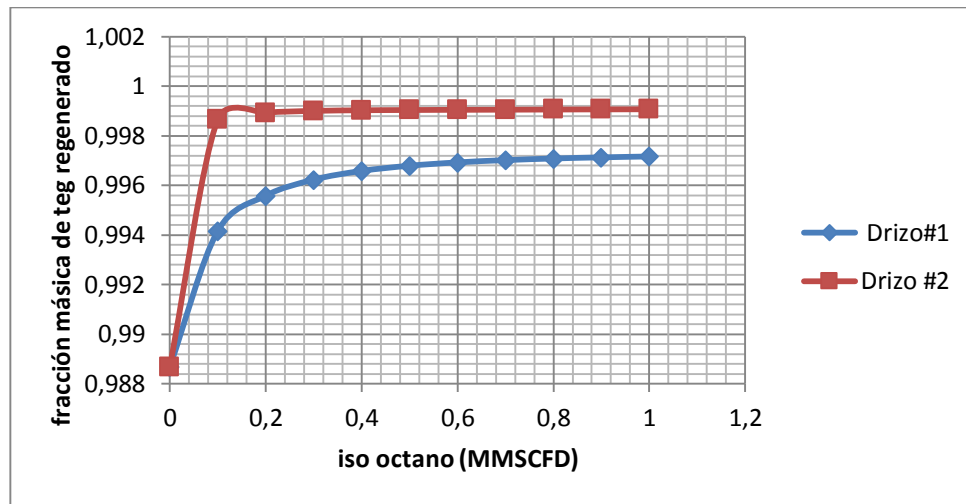


## 5.9 EFECTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE DOS DIFERENTES PROCESOS DRIZO EN LA CONCENTRACIÓN DE TEG REGENERADO

En la gráfica 11 se muestra el resultado de dos procesos Drizo en cuanto a la regeneración del TEG, esto debido a que el proceso Drizo es un proceso patentado, el cual puede presentar algunas variantes del mismo. En el proceso Drizo #1 se usa como solvente iso-octano, en la torre regeneradora, los productos del tope de la misma, son condensados, una parte se separa, se vaporiza y se recircula en la torre regeneradora. En el proceso Drizo #2, en el cual también se usa iso-octano como solvente, los productos de tope de la torre regeneradora se condensan, una parte se separa, la otra se vaporiza y entra en contacto con el TEG pobre, para después ser recirculado a la torre de regeneración con el fin de aumentar la fracción másica de TEG regenerada.

El proceso Drizo #2 presenta una mayor regeneración del trietilenglicol debido al contacto adicional que hay entre el solvente y el TEG pobre.

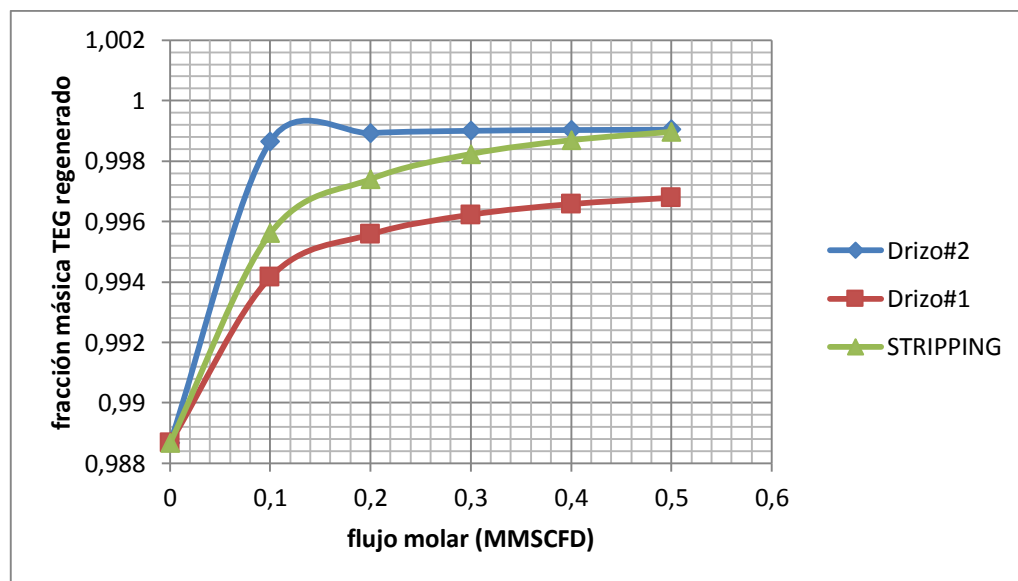
**Gráfica 11.** Efecto de la implementación de dos diferentes procesos drizo en la concentración de teg regenerado



### 5.10 COMPARACIÓN DE LA FRACCIÓN MÁSCA DE TEG REGENERADO EN EL PROCESO STRIPPING Y DRIZO

En la gráfica 12 se presenta la regeneración de TEG por parte de los diferentes procesos, donde se observa que el de mayor eficiencia es el Drizo #2, esto debido a lo mencionado anteriormente.

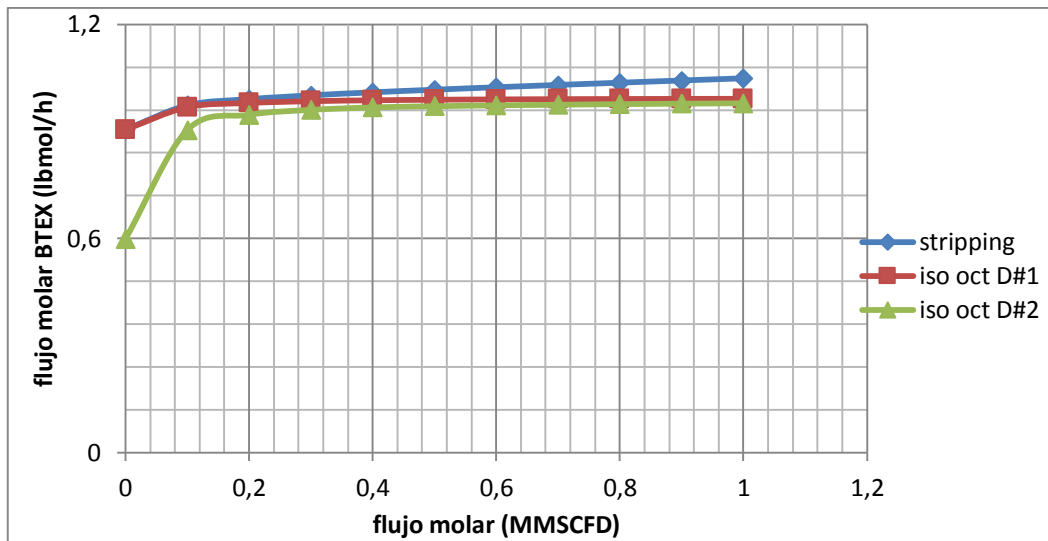
**Gráfica 12.** Comparación de la fracción másica de teg regenerado en el proceso Stripping y Drizo



### 5.11 STRIPPING GAS Y DOS DIFERENTES PROCESOS DRIZO EN LA EMISIÓN DE BTEX

En la gráfica 13 se puede observar el flujo molar de gases BTEX en los proceso Drizo y stripping gas, se observa que el proceso que presenta un aumento en la emisión de gases BTEX es el proceso de stripping, debido al arrastre que presenta el gas. Los procesos Drizo presentan una disminución en el arrastre de gases BTEX, ya que una parte es extraída en el porcentaje de líquido que se condensa, en el caso particular del proceso Drizo #2, por el contacto que hay entre el solvente vaporizado y el TEG pobre.

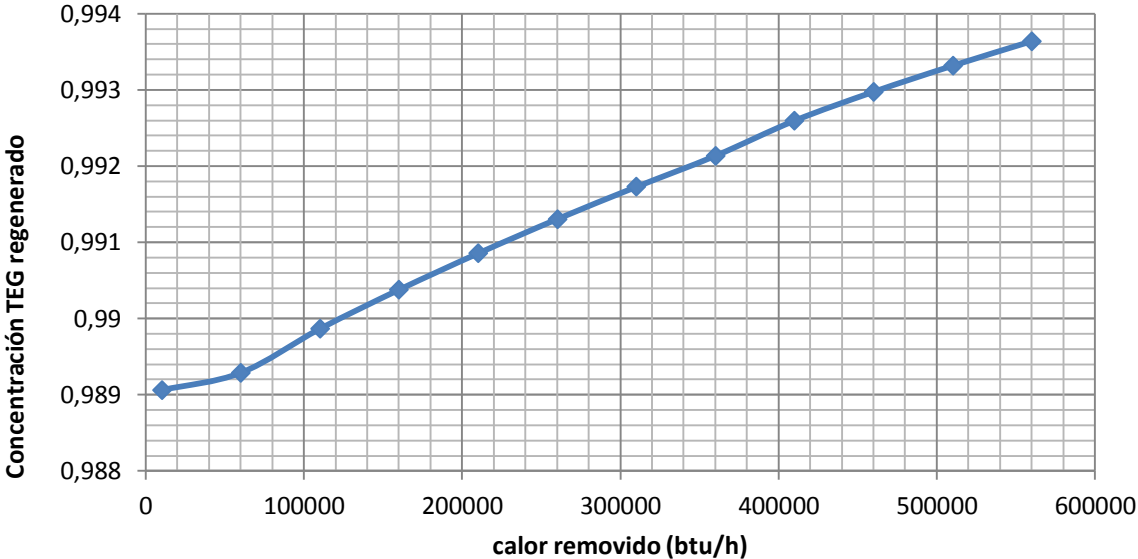
**Gráfica 13.** Stripping gas y dos diferentes procesos drizo en la emisión de BTEX



### 5.12 EFECTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO COLDFINGER EN LA CONCENTRACIÓN DE TEG REGENERADO

En la gráfica 14 se observa la fracción másica de TEG regenerado en función de la eliminación del calor implementando el equipo Coldfinger. En general, se observa que el incremento en la eliminación de calor conduce a un aumento en la remoción del agua, pero de forma más detallada, en la primera región de la curva, que es para pequeñas cantidades de eliminación de calor, se presencia que la pendiente es baja, es decir, la concentración de TEG regenerado no es alta. El aumento en la eliminación de calor genera un cambio incrementando la pendiente de la curva, lo cual indica que el grado de condensación del vapor de agua aumenta considerablemente ocasionando el incremento en la pureza del TEG.

**Gráfica 14.** Efecto de la implementación del proceso Coldfinger en la concentración de Teg regenerado



## 6. CONCLUSIONES

- La implementación de gas stripping da como resultado un incremento en la regeneración del trietilenglicol, obteniendo valores superiores a 98.9% másico.
- El uso de gas stripping genera un aumento en las emisiones de gases BTEX debido al arrastre que se produce.
- La implementación del proceso Drizo causa un aumento en el porcentaje másico de trietilenglicol regenerado, a valores de 99.9%.
- Emplear el proceso Drizo genera un incremento en la emisión de gases BTEX con respecto al proceso convencional, y a su vez dichas emisiones son menores a las obtenidas en procesos donde se emplea gas stripping, esto se debe al porcentaje que se extrae como líquido en el proceso Drizo.
- Los procesos Drizo y gas Stripping influyen en la temperatura a la cual puede ser operado el rehervidor, ya que el flujo de gas de arrastre o solvente es inversamente proporcional a la temperatura del rehervidor para lograr un porcentaje de regeneración determinado.
- El equipo coldfinger permite lograr porcentajes másicos de 99.5% de trietilenglicol regenerado.

## **7. RECOMENDACIONES**

- Elaborar un estudio económico donde se evalúe cada proceso, y así determinar la viabilidad en la implementación de los mismos.
- Realizar un análisis del comportamiento del proceso Drizo usando diferentes solventes.
- Realizar el mismo análisis de este trabajo de grado, pero implementando un simulador diferente, el cual cuente con el equipo integrado, esto para el caso del coldfinger.
- Determinar cómo influyen los procesos trabajados en las diferentes variables involucradas en el proceso de deshidratación del gas natural.

## BIBLIOGRAFIA

ALIREZA, Bahadori. Natural Gas Processing, Technology and Engineering Design, Gulf professional publishing GPG. Elsevier, Mayo, 2014. 875p.

BENITEZ M. Carlos J. Evaluación de las variables operacionales de la planta de extracción de gas jusepín en función de la variación de la calidad del gas de alimentación. Universidad Metropolitana. Facultad de ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Caracas. Julio, 2006

BRAEK M., ALMEHAIDEB R. A., DARWISH N., HUGHES R. Optimization Of Process Parameters For Glycol Unit To Mitigate The Emission Of Btex/Vocs. Institution of Chemical Engineers. United Arab Emirates. Julio, 2001. 15p.

BRATHEN Audun. Development of Processes for Natural Gas Drying. Norwegian University of Science and Technology Department of Energy and Process Engineering. Trondheim. Junio, 2008. 128p.

GAS PROCESSORS ASSOCIATION. GPSA Engineering Data Book. Terlfth Edition-FPS. Tulsa. 2004, 821p.

GIRONI F., MASCHIETTI M., PIEMONTE V. Triethylene glycol regeneration in natural gas dehydration plants: a study on the coldfinger process. Offshore Mediterranean Conference. Ravenna. Marzo, 2007. 8p.

KIDNAY, Arthur J., PARRISH, William R., MCCARTNEY, Daniel G. Fundamentals of natural Gas Processing. 2ed. Milton Park, Abingdon: CRC Press, Taylor & Francis Group, an Informa Group company. 418p.

MAJID Saidi, MAHBOUBEH Parhoudeh, MOHAMMAD Reza Rahimpour. Mitigation of BTEX emission from gas dehydration unit by application of Drizo process: A case study in Farashband gas processing plant. Iran. Julio, 2014. 14p.

MOHAMMAD Reza Rahimpour, SEYYED Mohammad Jokar, POUYAN Feyzi, RAHELEH Asgh. Journal of Natural Gas Science and Engineering. Investigating the performance of dehydration unit with Coldfinger technology in gas processing plant. Elsevier. Oxford. 2016. 12p.

MOKHATAB Saeid, POE William A., MAK John Y., Handbook Of Natural Gas Transmission And Processing, 3rd edition. Elsevier. Kidlington. Febrero, 2015. 599p.

NEMATI Rouzbahani, BAHMANI M., SHARIATI J., TOHIDIAN T. b, M.R. Rahimpour. Simulation, optimization, and sensitivity analysis of a natural gas dehydration unit. Journal of Natural Gas Science and Engineering. Elsevier. Oxford. Diciembre, 2014. 11p.

NETUSIL Michal, PAVEL Ditl. Comparison of three methods for natural gas dehydration. Department of Process Engineering. Czech Technical University, Prague. Czech Republic. Septiembre, 2011. 6p.

STEWART Maurice, KEN E. Arnold, Gas Dehydration Field Manual, Gulf Professional Publishing, GPG. Elsevier. Oxford. Agosto, 2011. 260p.

## ANEXOS

### ANEXO A. Cálculo Concentración de teg pobre

**Ecuación 6.** Eficiencia de remoción de agua

$$E = \frac{W_{entra} - W_{sale}}{W_{entra}}$$

**Ecuación 7.** Temperatura de rocío del agua en el equilibrio

$$T_{rocio-equilibrio} = T_{rocio-actual} - \Delta T_{approach}$$

$W_{entra}$ : Contenido de agua a la entrada del contactor (lbH<sub>2</sub>O/MMSCF), (leído anexo B)

$W_{sale}$ : Contenido de agua a la salida del contactor (RUT) (lbH<sub>2</sub>O/MMSCF)

$E$ : Eficiencia de remoción de agua

$T_{rocio-actual}$ : Temperatura de rocío del agua a la salida (°F), (leído anexo B)

$\Delta T_{approach}$ : Approach (°F)

$T_{rocio-equilibrio}$ : Temperatura de rocío del agua en el equilibrio (°F)

$\%W_{TEG_{pobre}}$ : Concentración de TEG pobre requerida (%), (leído anexo C)

Con el valor del contenido de agua a la entrada del contactor y el valor del contenido de agua a la salida del contactor se halla la eficiencia de remoción de agua

$$E = \frac{\left(60 \frac{lb H_2O}{MMscf}\right) - \left(6 \frac{lb H_2O}{MMscf}\right)}{\left(60 \frac{lb H_2O}{MMscf}\right)}$$

$$E = 0.9$$

Se calcula la temperatura de rocío del agua en el equilibrio restando el Approach a la temperatura de rocío del agua a la salida.

$$T_{rocio-actual} = 30^{\circ}\text{F}$$

$$\Delta T_{approach} = 14^{\circ}\text{F}$$

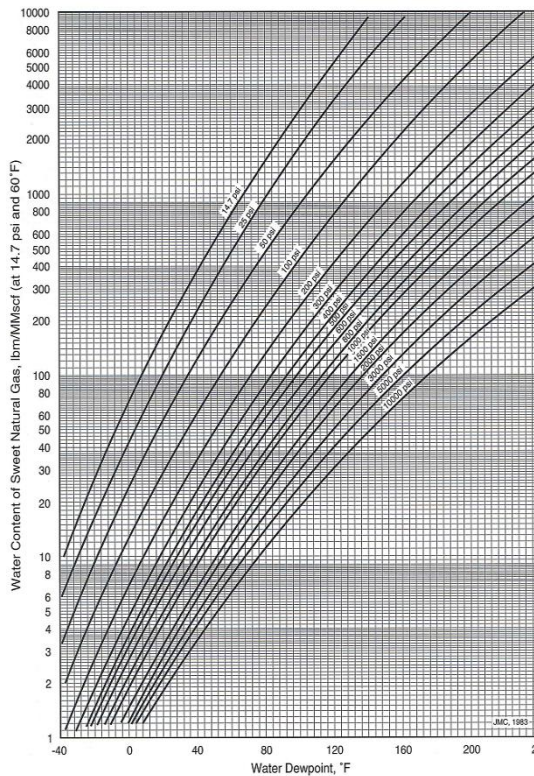
$$T_{rocio-equilibrio} = 30^{\circ}\text{F} - 14^{\circ}\text{F}$$

$$T_{rocio-equilibrio} = 16^{\circ}\text{F}$$

Teniendo el valor la temperatura de rocío del agua en el equilibrio y la temperatura del contactor se utiliza el anexo C para obtener la concentración de TEG pobre requerida

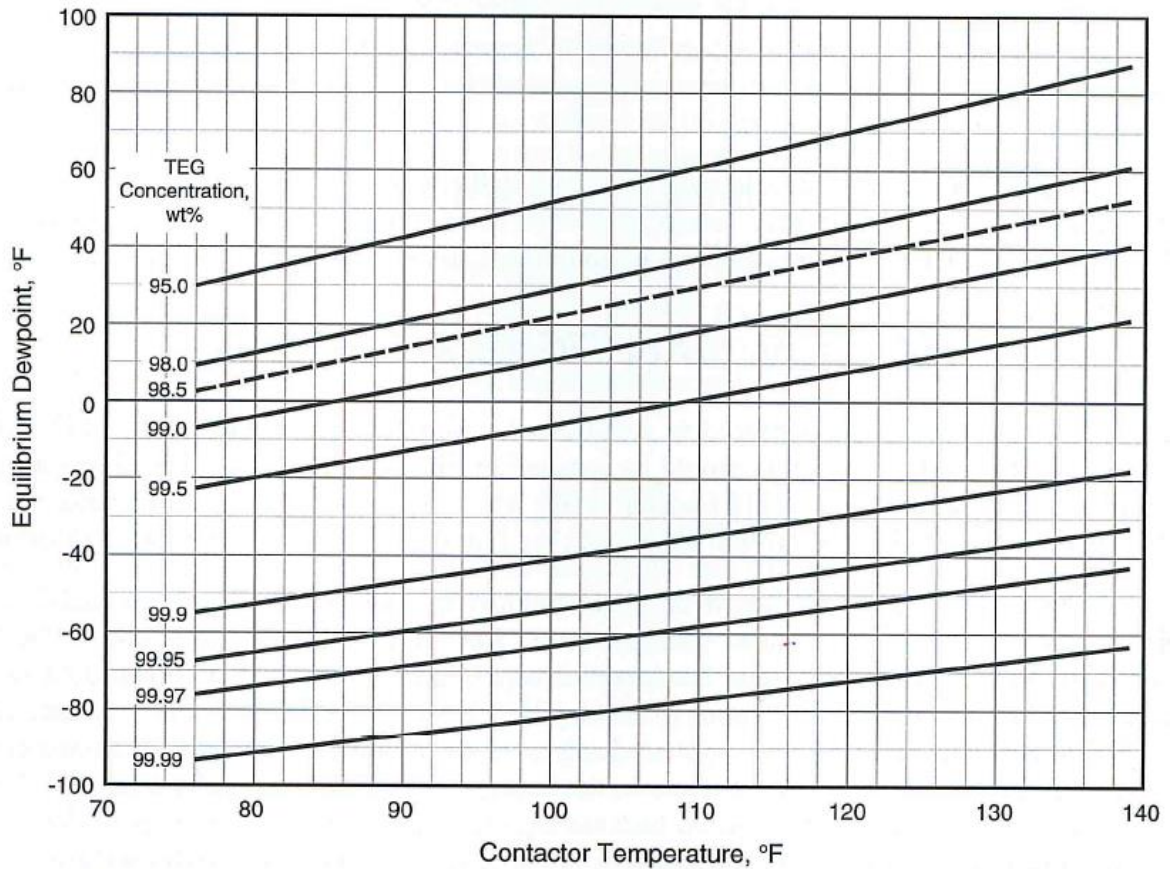
$$\%w\ TEG_{pobre} = 98.75\%$$

### ANEXO B. Contenido de agua en el gas pobre



Fuente: Campbell Jhon M. Gas Conditioning and Processing. Volume 2: the Equipment module Capitulo 17. P393

**ANEXO C. Equilibrio punto de rocío de agua a varias Vs temperatura, a varias concentraciones de Teg**



Fuente: Campbell Jhon M. Gas Conditioning and Processing. Volume 2: the Equipment module Capitulo 17. P340

**ANEXO D. Cálculo Relación de circulación - número de etapas teóricas**

*RC*: Relación de recirculación (Gal TEG/lb H<sub>2</sub>O), (leído anexo E)

*N*: Número de etapas teóricas (Etapas), (leído anexo E)

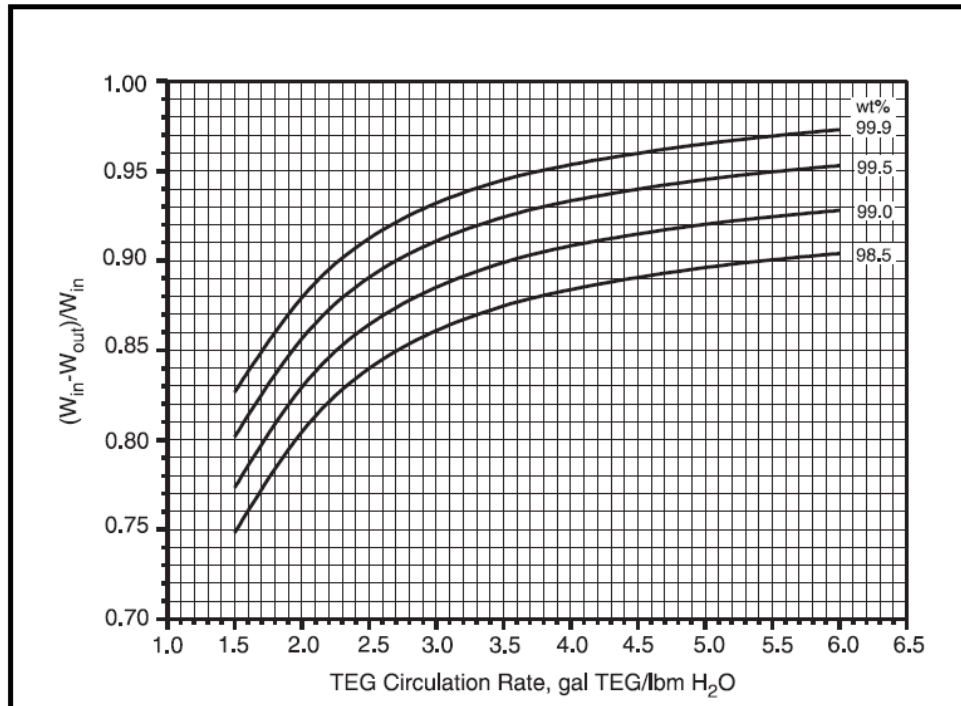
La relación de recirculación y el número de etapas teóricas se hallan por medio del anexo E implementando la eficiencia de remoción de agua y el % de concentración de TEG pobre requerido

$$RC = 3.9 \frac{Gal\ TEG}{lb\ H_2O}$$

$$N = 1.5\ \text{Etapas}$$

**ANEXO E. Gráficas de agua removida Vs tasa de circulación de TEG a diferentes concentraciones**

**Water Removal vs. TEG Circulation Rate at Various TEG Concentrations (N = 1.5)**



Fuente: Gas Processors Association, GPSA ENGINEERING DATA BOOK, Terlfth Edition-FPS 2004, p 597

**ANEXO F. Cálculo Tasa de recirculación de teg**

**Ecuación 8. Tasa de recirculación de TEG**

$$L = \frac{(RC) * (W_{removida}) * (Q_g)}{1440}$$

$$W_{removida} = W_{entra} - W_{sale}$$

$W_{entra}$ : Contenido de agua a la entrada del contactor (lbH<sub>2</sub>O/MMSCF), (leído anexo C)

$W_{sale}$ : Contenido de agua a la salida del contactor (RUT) (lbH<sub>2</sub>O/MMSCF)

$W_{removida}$ : Cantidad de agua removida en la planta (lbH<sub>2</sub>O/MMSCF)

$Q_g$ : Flujo de gas (MMSCF)

$N$ : Número de etapas teóricas (Etapas), (leído anexo E)

$RC$ : Relación de recirculación (Gal TEG/lb H<sub>2</sub>O), (leído anexo E)

$L$ : Tasa de recirculación de TEG (GPM)

El contenido de agua a la entrada del contactor menos el contenido de agua a la salida del contactor da como resultado la cantidad de agua removida en la planta

$$W_{entra} = 60 \frac{lb H_2O}{MMscf}$$

$$W_{sale} = 6 \frac{lb H_2O}{MMscf}$$

$$W_{removida} = \left(60 \frac{lb H_2O}{MMscf}\right) - \left(6 \frac{lb H_2O}{MMscf}\right)$$

$$W_{removida} = 54 \frac{lb H_2O}{MMscf}$$

Luego, se procede a calcular la tasa de recirculación de TEG usando la tasa de recirculación de TEG, cantidad de agua removida en la planta y el flujo de gas

$$L = \frac{\left(3.9 \frac{Gal TEG}{lb H_2O}\right) * \left(54 \frac{lb H_2O}{MMscf}\right) * (150 MMscf)}{1440}$$

$$L = 21.94 GPM$$

## ANEXO G. Cálculo concentración de teg rico

### Ecuación 9. Concentración de TEG rico

$$\%w TEG_{rico} = \frac{(\rho) * (\%w TEG_{pobre})}{\rho + \frac{1}{RC}}$$

$\rho$ : Densidad del TEG pobre (lb/gal)

$RC$ : Relación de recirculación (Gal TEG/lb H<sub>2</sub>O), (leído anexo E)

$\%w TEG_{pobre}$ : Concentración de TEG pobre requerida (%), (leído anexo C)

$\%w TEG_{rico}$ : Concentración de TEG rico (%)

$$\rho = 9.3 \frac{lb}{gal}$$

Conociendo la densidad del TEG pobre, concentración de TEG pobre requerida y la relación de recirculación se calcula el porcentaje de concentración de TEG rico

$$\%w TEG_{rico} = \frac{\left(9.3 \frac{lb}{gal}\right) * (98.75\%)}{\left(9.3 \frac{lb}{gal}\right) + \left(\frac{1}{3.9 \frac{Gal TEG}{lb H_2O}}\right)}$$

$$\%w TEG_{rico} = 96.1 \%$$

## ANEXO H. Cálculo temperaturas en el contactor

**Ecuación 10.** Temperatura de entrada del TEG

$$T_{ENTRADA DE TEG} = T_{g1} + 10^{\circ}\text{F}$$

**Ecuación 11.** Temperatura del gas de salida

$$T_{g2} = T_{ENTRADA DE TEG} + 5^{\circ}\text{F}$$

$T_{g1}$ : Temperatura del gas de entrada ( $^{\circ}\text{F}$ )

$T_{ENTRADA DE TEG}$ : Temperatura entrada TEG ( $^{\circ}\text{F}$ )

$T_{g2}$ : Temperatura del gas de salida ( $^{\circ}\text{F}$ )

$$T_{g1} = 100^{\circ}\text{F}$$

$$T_{ENTRADA DE TEG} = 100^{\circ}\text{F} + 10^{\circ}\text{F}$$

Adicionando  $10^{\circ}\text{F}$  a la temperatura del gas de entrada se obtiene la temperatura de entrada de TEG.

$$T_{ENTRADA DE TEG} = 110^{\circ}\text{F}$$

Para calcular la temperatura del gas de salida se suma  $5^{\circ}\text{F}$  a la temperatura de entrada de TEG.

$$T_{g2} = 110^{\circ}\text{F} + 5^{\circ}\text{F}$$

$$T_{g2} = 115^{\circ}\text{F}$$

## ANEXO I. Cálculo duty del rehervidor

### Ecuación 12. Duty total del rehervidor

$$q_R = 60 * L * Q_L$$

$L$ : Tasa de circulación de Glicol (GPM)

$Q_L$ : Carga térmica del rehervidor (BTU/Gal TEG) (leído en Anexo J)

$q_R$ : Duty total del rehervidor (BTU/h)

$RC$ : Relación de recirculación (Gal TEG/lb H<sub>2</sub>O)

$$RC = 3.9 \frac{\text{Gal TEG}}{\text{lb H}_2\text{O}}$$

Con este valor de RC se dirige a la Anexo J y se lee directamente al frente el valor de la carga térmica del rehervidor ( $Q_L$ ), como el RC no se encuentra se procede a interpolar para hallar el  $Q_L$  respectivo.

$$Q_L = 770.6 \frac{\text{BTU}}{\text{Gal TEG}}$$

Teniendo todas las variables se procede a reemplazarlas en la fórmula de  $q_R$

$$q_R = (60) * (21.94 \text{ GPM}) * \left( 770.6 \frac{\text{BTU}}{\text{Gal TEG}} \right)$$

$$q_R = 1014302,25 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

El  $q_R$  obtenido se multiplica por  $10^6$  para convertirlo en MMscf/h

$$q_R = 1.0143 \frac{\text{MMBTU}}{\text{h}}$$

## ANEXO J. Carga térmica rehervidor

<b>Design (gal TEG/lb H<sub>2</sub>O)</b>	<b>Reconcentrator Heat Load (Btu/gal TEG circulated)</b>
2.0	1066
2.5	943
3.0	862
3.5	805
4.0	762
4.5	729
5.0	701
5.5	680
6.0	659

Fuente: Stewart Maurice, ken E. Arnold, Gas Dehydration Field Manual, Gulf Professional Publishing, GPG P135