

**DIAGNÓSTICO Y CONDICIONES OPERATIVAS ÓPTIMAS DE
UNIDADES DESHIDRATADORAS CON GLICOL DE UN GAS DE PROCESO
EN UN CAMPO DE PRODUCCIÓN DEL PIEDEMONTE LLANERO DE
COLOMBIA**

**JOSÉ ANTONIO PADILLA PEREIRA
JORGE DE JESÚS PIÑA MORÓN**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACION EN INGENIERIA DE GAS
BUCARAMANGA
2011**

**DIAGNÓSTICO Y CONDICIONES OPERATIVAS ÓPTIMAS DE UNIDADES
DESHIDRATADORAS CON GLICOL DE UN GAS DE PROCESO EN UN
CAMPO DE PRODUCCIÓN DEL PIEDEMONTE LLANERO DE COLOMBIA**

**JOSÉ ANTONIO PADILLA PEREIRA
JORGE DE JESÚS PIÑA MORÓN**

**Monografía presentada como requisito parcial para optar al título de:
Especialista en Ingeniería del Gas**

**Director:
Ing. MAURICIO ANTONIO GOYENECHÉ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE GAS
BUCARAMANGA
2011**

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de monografía a Dios, quien me da vida y ciencia, y es mi motor al despertar cada mañana. A la memoria de mis padres José María Padilla Ramírez y Ramonita Pereira de Padilla.

Jose A Padilla

Dedico este trabajo de monografía a mi familia, en especial mis hijos, quienes me apoyaron con su paciencia y por compartir nuestro tiempo para la consecución de este logro.

Jorge de Jesús Pina Morón

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen por todo el apoyo brindado de parte de:

Ecopetrol, la empresa para la cual laboramos.

Mauricio Goyeneche, nuestro director de monografía por sus observaciones.

Ulises Franco, por sus aportes técnicos.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	13
1. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	14
2. ANTECEDENTES Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DESHIDRATACIÓN DEL GAS.....	20
3.1 DESHIDRATACIÓN DEL GAS NATURAL.....	20
3.2 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA.....	21
3.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DE GAS.....	24
3.4 CARACTERÍSTICAS DEL GLICOL.....	27
3.4.1 Tipos de Glicol.....	27
4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO EN ESTUDIO.....	29
4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL.....	29
4.2 DESCRIPCIÓN SISTEMA DE DESHIDRATACIÓN.....	30
4.2.1 Balance de Materia a Condiciones de Diseño.....	30
4.2.2 Deshidratación del Gas.....	31
4.2.3 Descripción del Sistema de Regeneración de Glicol Cold Finger.....	33
4.2.4 Descripción del Proceso de Regeneración de Glicol a las Condiciones de Diseño.....	34
4.2.5 Modos Alternativos de Operación.....	36
4.2.6 Criterios de Diseño del Proceso.....	37
5. DESARROLLO Y ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN.....	39
5.1 CONTENIDO DE AGUA EN EL GAS DE ENTRADA.....	39

5.2 CANTIDAD DE AGUA REMOVIDA EN EL SISTEMA DE DESHIDRATACIÓN	41
5.3 GLICOL TEÓRICO REQUERIDO PARA DESHIDRATACIÓN	41
5.4 CANTIDAD DE AGUA REMOVIDA EN EL SISTEMA DE REGENERACIÓN DE GLICOL.....	42
6. VERIFICACIÓN DEL CASO MEDIANTE SIMULACIÓN DE PROCESO.....	44
6.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO UNIDAD DE REGENERACIÓN DE GLICOL.....	44
6.2 DESCRIPCIÓN PROCESO DE SIMULACIÓN	45
6.3 CARACTERÍSTICAS CORRIENTES DE ENTRADA.....	47
6.4 PARÁMETROS COLUMNA REGENERADORA TEG	47
7. VERIFICACIÓN DE VARIABLES Y SU IMPACTO EN EL PROCESO.....	48
7.1 DIAGNÓSTICO MECÁNICO DE UNIDADES DESHIDRATADORAS	48
7.2 EFECTO DE INCLUIR GAS DE DESPOJO SECO SOBRE LA CONCENTRACIÓN DEL GLICOL POBRE.....	50
7.3 EFECTO DE AUMENTO DE TEMPERATURA EN EL REHERVIDOR DE UNIDAD DE REGENERACIÓN	51
7.4 EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DEL GLICOL POBRE EN EL CONTENIDO DE AGUA EN EL GAS DE SALIDA.....	52
7.5 EFECTO DE AUMENTO DE LA RATA DE RECIRCULACIÓN DE TEG.....	53
7.6 EFECTO DE VARIABLES DE PROCESO COMO TEMPERATURA O PRESIÓN EN CONTACTORAS	53
8. ANÁLISIS ECONÓMICO DE COSTO.....	55
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	56
BIBLIOGRAFÍA.....	57

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Datos humedad gas y uso de glicol.....	16
Figura 2. Caudal de gas húmedo de entrada vs Contenido de agua a la salida....	17
Figura 3. Correlación de Presión y Temperatura de McKetta-Wehe.....	22
Figura 4. Contenido efectivo de agua en el H ₂ S.....	23
Figura 5. Torre contactora gas húmedo-glicol de lecho empacado	32
Figura 6. Diagrama de flujo de sistema de regeneración de glicol.....	34
Figura 7. Contenido de agua de carta McKetta and Wehe (1958)	40
Figura 8. Dew Point de gas natural de McKetta and Wehe (1958)	40
Figura 9. Sistema de regeneración con glicol	42
Figura 10. Sistema de regeneración con glicol (variables de proceso).....	43
Figura 11. Diagrama de flujo de proceso sistema deshidratación con glicol.....	45
Figura 12. Scrubber gas entrada.	45
Figura 13. Torre contactora de gas.....	46
Figura 14. Sistema de regeneración de glicol.....	46
Figura 15. Tubos del intercambiador HE1301	49
Figura 16. Tubos del Intercambiador H1302 de Lado Cabezal.....	49
Figura 17. Limpieza surge drum URG 1	50
Figura 18. Efecto de gas de despojo en regeneradora de glicol.....	51

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Datos humedad gas y uso de glicol	17
Tabla 2. Propiedades Físicas del trietilenglicol	27
Tabla 3. Balance de materia de la corriente de gas a través de la torre contactora a condiciones de diseño	31
Tabla 4. Resumen parámetros torre regeneradora TEG	47
Tabla 5. Datos de relación de temperatura de rehervidor y concentración de glicol.....	52
Tabla 6. Efecto de la concentración de glicol en contenido de humedad del gas de salida	52
Tabla 7. Efecto de la concentración de glicol en contenido de humedad del gas de salida	53

RESUMEN

TÍTULO: DIAGNÓSTICO Y CONDICIONES OPERATIVAS ÓPTIMAS DE UNIDADES DESHIDRATADORAS CON GLICOL DE UN GAS DE PROCESO EN UN CAMPO DE PRODUCCIÓN DEL PIEDEMONTE LLANERO DE COLOMBIA*

AUTOR: JORGE DE JESUS PIÑA MORON & JOSE ANTONIO PADILLA PEREIRA**

PALABRAS CLAVE: Deshidratación, simulación de procesos, Hysys, Trietilenglicol (TEG), regeneración de glicol.

Mediante el presente trabajo de monografía se aplican los conceptos de deshidratación de gas con Glicol con el fin de diagnosticar las condiciones operativas y proponer mejoras de unidades deshidratadoras con glicol de un gas de proceso en un campo de producción del piedemonte llanero de Colombia.

Se realiza levantamiento de información de las condiciones de diseño de las unidades, informes de mantenimiento y mediante simulación asistida por computador se evalúa el efecto de las diferentes variables en el proceso de regeneración de Trietilenglicol.

Se concluye que los valores de humedad en la salida del gas de proceso de 2 libras por cada millón de pie cubico (lbs H₂O / mmscfd) se puede obtener al colocarlo en un proceso de absorción en una torre contactora con TEG de concentración superior a 99,8 % w/w. Para obtener ese grado de concentración en el TEG se requiere al proceso actual incluirle gas de despojo en la unidad de regeneración de glicol en el rehervidor.

Por otro lado se analiza el efecto de otras variables sobre el contenido de humedad del gas de salida. Para una concentración de TEG de 98%, siendo esta la condición actual de la operación, no se logra conseguir la condición de humedad de salida de diseño cuando se incrementa la tasa de recirculación de TEG, se aumenta la presión de la torre de contacto gas húmedo-glicol rico, se disminuye la temperatura, o se aumenta la temperatura del rehervidor para regenerar el TEG.

Finalmente se tiene que al incluir gas de despojo en el rehervidor de la unidad regeneradora permite disminuir la cantidad de TEG que actualmente se repone para compensar pérdidas y lograr conseguir TEG mayor a 99,8% w/w.

*Proyecto de grado

** Director: Ing Mauricio Antonio Goyeneche. Facultad de Ingenierías físicoquímicas; Escuela de Ingeniería de petróleos Especialización en Ingeniería de Gas.

SUMMARY

TITTLE: DIAGNOSE AND OPTIMUM OPERATIVE CONDITIONS OF GLYCOL DEHYDRATION UNITS OF A PROCESS GAS IN A GAS FIELD AT THE PIEDEMONTE PLAIN IN COLOMBIA*.

AUTHORS: JORGE DE JESUS PIÑA MORON & JOSE ANTONIO PADILLA PEREIRA**

KEY WORDS: Dehydration, hydrate, re boiler, process simulation, Hysys, Tri-ethylene glycol.

This monograph applies the gas dehydration concepts to diagnose the operating conditions and propose improvements to glycol dehydration units of a process gas in a production field at the Piedemonte plains in Colombia.

Much information was gathered as glycol units design conditions and maintenance reports. Furthermore, computer-aided simulation was run to evaluate the effect of different variables in the TEG regeneration process.

It was concluded that the design moisture values of two pounds per million cubic feet (pounds H₂O / mmscf) in the humid gas can be obtained in an absorption process in a contactor tower with TEG exceeding 99,8% w/w concentration. However, to obtain this degree of TEG concentration is required to include stripping gas in the glycol regeneration unit at the bottom of the re boiler.

On the other hand, it was analyzed the effect of other variables on the gas moisture content. For a TEG concentration of 98%, this being the current status of the operation, it is not possible to get the moisture design condition neither increasing TEG recirculation rate or increasing contact tower pressure or decreasing inlet gas temperature or increasing the temperature at the regeneration re boiler.

Finally, if stripping gas was included at the re boiler the amount of TEG currently replenished to offset losses will decrease and it might be achieved greater TEG concentration than 99.8% w/w

*Degree Project

** Director: Ing Mauricio Antonio Goyeneche. Faculty of Engineering physicochemical School of Specialization in petroleum engineering gas engineering.

INTRODUCCIÓN

Esta monografía tiene como objeto la aplicación de los conceptos de deshidratación de gas aprendidos durante la especialización de ingeniería de gas de la Universidad Industrial de Santander en el análisis de un caso operacional de un campo productor de hidrocarburos, en el cual se tienen procesos de tratamiento y separación primarios así como el tratamiento requerido para la operación de una planta de gas.

Esta monografía se desarrolla en varios capítulos, donde se desagrega de manera secuencial y de acuerdo con la metodología utilizada de la siguiente manera:

1. Recolección de Información,
2. Antecedentes y planteamiento del problema,
3. Resumen de los conceptos teóricos de la deshidratación de gas empleando glicol,
4. Descripción del proceso caso de análisis,
5. Resultados de la simulación del proceso en análisis con el fin de utilizar una herramienta de modelación de disponible en el mercado para determinar desviaciones con respecto a las condiciones de diseño iniciales, resultados y detalles más importantes del análisis de integridad mecánica y mantenimiento de unidades deshidratadoras con glicol de la planta de gas en estudio.
6. Presentación del análisis compilado de los resultados de la simulación de proceso y el diagnóstico de integridad mecánica de las unidades deshidratadoras.
7. Conclusiones y recomendaciones producto del desarrollo de este trabajo.

1. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

La información recolectada consistió en diagramas de flujo de proceso, diagramas de tubería en instrumentación e informes de integridad y mantenimiento de los equipos.

Se realizó visita de campo para conocer las instalaciones y los equipos de proceso del campo en estudio.

2. ANTECEDENTES Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El campo productor usado como caso de análisis inició su explotación en Colombia en la década de los ochenta y continúa en producción a la fecha de ejecución de esta monografía.

Los activos se componen de tres estructuras petrolíferas de yacimientos, las instalaciones de procesamiento donde se realiza el proceso de deshidratación del gas de producción objeto de esta monografía, los pozos y otra infraestructura de superficie (vías, locaciones, redes, etc.).

Los yacimientos presentes son de gas condensado y Aceite volátil con gravedad API entre 40 y 49 grados, con método de recobro por Flujo Natural y reinyección de gas para soporte de presión a yacimiento.

Las instalaciones de procesamiento permiten el recibo, separación, tratamiento y recompresión de hasta 1300 MMPCED. Una porción de este gas es utilizado para la producción de gas en condición de venta según el Reglamento Único de Transporte (RUT) hasta 210 MMPCED y futura producción de productos blancos. El resto del gas, es comprimido y reinyectado al yacimiento.

El campo analizado cuenta con un sistema de deshidratación de gas de producción con el cual se reduce el contenido de humedad en el gas antes de ser reinyectado al yacimiento como soporte de presión del mismo. Parte de ese gas producido se usará como alimentación a la planta de procesamiento de gas (en fase de construcción), la cual no incluye la instalación de ningún método adicional de deshidratación y por lo tanto, demandará gas en condiciones apropiadas respecto a su contenido de humedad.

Se dispone de un sistema de deshidratación de gas de producción con el cual se reduce el contenido de humedad en el gas antes de ser reinyectado al yacimiento para soporte de presión del mismo y de ser utilizado como alimento de la planta de Ventas de Gas. Lo anterior demandará el gas en condiciones apropiadas respecto a su contenido de humedad.

Este proceso es necesario para prevenir la formación de hidratos, la corrosión en equipos y tuberías, así como la acumulación de líquidos.

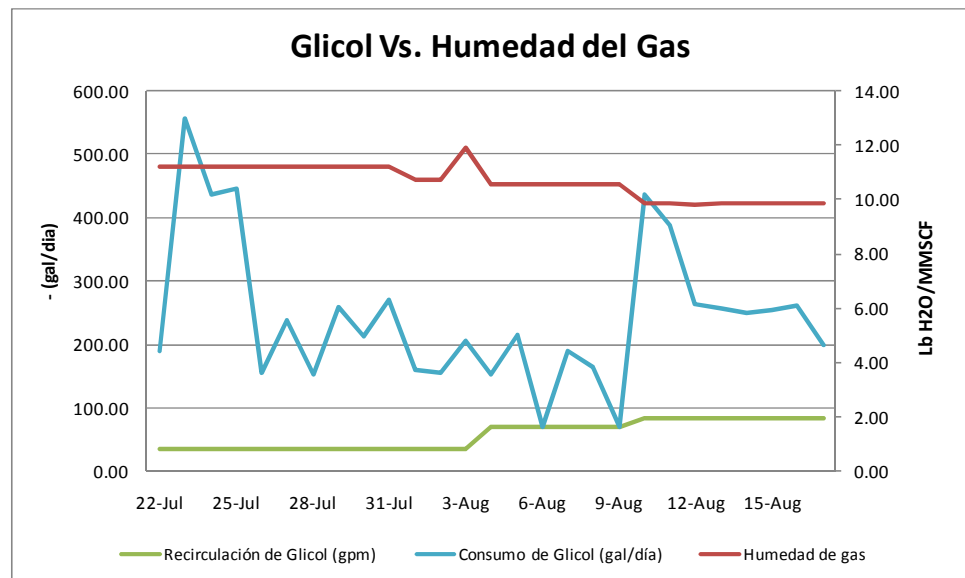
La deshidratación del gas producido se realiza mediante la absorción de agua con Glicol (Trietilenglicol-TEG) y posterior regeneración del mismo. Se cuenta con tres trenes de deshidratación compuesto por torres de lechos empacados en donde se ponen en contacto gas húmedo con glicol concentrado para absorber la humedad en el gas. El glicol saturado con agua se envía a un sistema de regeneración en

donde se concentra mediante la evaporación de agua. El glicol regenerado se recircula hacia la torre contactora. Actualmente, se presentan altos consumos de TEG desviación en la especificación prevista en el diseño del contenido máximo de agua (en libras de agua por millón de pie cúbico) esperado en el gas a la salida de las unidades.

Para este estudio se utilizó, como soporte del método de investigación, la recopilación de información en campo incluyendo el dimensionamiento de equipos, datos de históricos de funcionamiento del proceso, variables operativas actuales, manuales de diseño, composición de las diferentes corrientes, recomendaciones de los técnicos y operadores, rutinas de mantenimiento, Integridad y calibración de equipos y sistemas actualmente instalados y que interactúan con el sistema de deshidratación.

A continuación se muestran datos de un mes comprendido entre julio y agosto de 2010 de la humedad final del gas actual deshidratado (lb/mmscf), el consumo de glicol fresco (gpd) y la recirculación de glicol (gpm).

Figura 1. Datos humedad gas y uso de glicol.



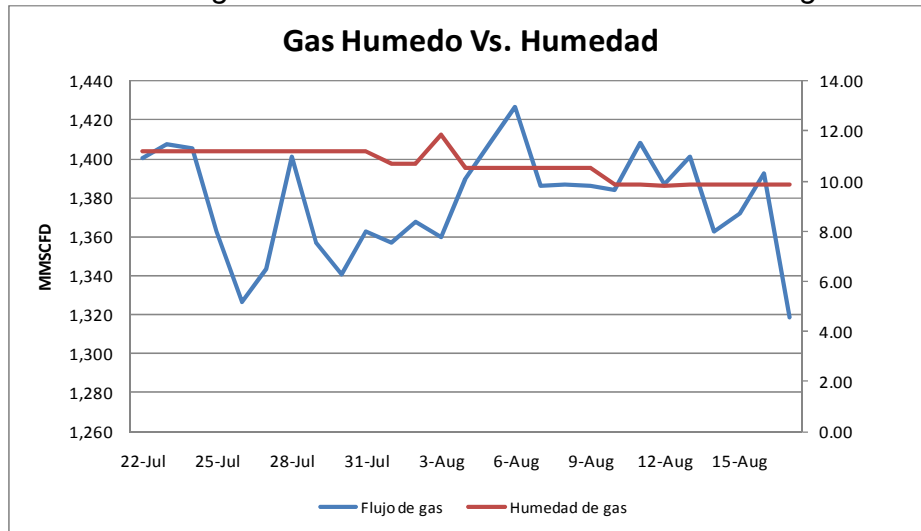
FUENTE: LOS AUTORES

La figura 1, muestra altos consumos de glicol de reposición. Además, los valores de contenido de agua son superiores (cerca de 10 lb H₂O / MMPCED) a la condición de diseño inicial de 2 lb H₂O / MMPCED.

La figura 2 muestra la tendencia de humedad del gas a la salida del sistema de deshidratación con respecto al caudal de gas procesado durante un mes

comprendido entre julio y agosto del año 2010. Se aprecia que a pesar de lo fluctuante del caudal de entrada de gas húmedo se mantiene la tendencia de valores de humedad por encima de las 10 Lb H₂O/mmscfd.

Figura 2. Caudal de gas húmedo de entrada vs Contenido de agua a la salida.



FUENTE: LOS AUTORES

En la tabla 1, se muestran resultados de consumos acumulados de glicol para un mes entre julio y agosto de 2010. Así como el contenido de humedad.

Tabla 1. Datos humedad gas y uso de glicol.

Comparación						
Fecha	Flujo de Gas (MMSCFD)	Humedad Gas (Lb/MMSCF)	Recirculación de Glicol (gpm)	Consumo de Glicol (gal/día)	Consumo mes (gal/mes)	Consumo promedio (gal/mes)
22-Jul-10	1,400	11.21	35.00	154.63	4,639	7,873
23-Jul-10	1,407	11.19	35.00	521.59	15,648	
24-Jul-10	1,405	11.19	35.00	402.40	12,072	
25-Jul-10	1,363	11.19	35.00	410.76	12,323	
26-Jul-10	1,327	11.19	35.00	119.94	3,598	
27-Jul-10	1,344	11.19	35.00	208.93	6,118	
28-Jul-10	1,401	11.19	35.00	118.67	3,560	
29-Jul-10	1,367	11.19	35.00	224.11	6,723	
30-Jul-10	1,341	11.19	35.00	178.47	5,354	
31-Jul-10	1,363	11.19	35.00	234.55	7,037	
1-Aug-10	1,357	10.72	35.00	124.47	3,734	
2-Aug-10	1,368	10.72	35.00	119.68	3,588	
3-Aug-10	1,360	11.89	36.03	170.81	5,124	

4-Aug-10	1,390	10.54	70.88	81.95	2,459	4,457
5-Aug-10	1,409	10.54	70.88	145.41	4,362	
6-Aug-10	1,427	10.54	70.88	0.00	0	
7-Aug-10	1,386	10.54	70.88	118.96	3,569	
8-Aug-10	1,387	10.54	70.88	94.25	2,828	
9-Aug-10	1,387	10.54	70.88	0.00	0	
10-Aug-10	1,384	9.84	83.47	352.29	10,569	
11-Aug-10	1,408	9.84	83.47	306.54	9,166	
12-Aug-10	1,387	9.83	83.47	178.99	5,368	
13-Aug-10	1,401	9.85	83.47	172.61	5,178	
14-Aug-10	1,363	9.84	83.47	166.92	5,008	
15-Aug-10	1,372	9.84	83.47	171.16	5,135	
16-Aug-10	1,383	9.84	83.47	177.02	5,310	
17-Aug-10	1,319	9.85	83.47	114.78	3,443	
18-Aug-10						

FUENTE: LOS AUTORES

Como se aprecia existe un consumo de glicol por encima de condiciones normales y no se están consiguiendo las especificaciones del gas en la salida en cuanto al contenido de humedad de 2 lb de H₂O/mmscf.

Entre las causas probables se han identificado entre otras las propuestas en referencias bibliográficas existentes¹:

- Aquellas relacionadas a los cambios en las condiciones operativas actuales como presión y temperatura con respecto a las bases de diseño. El diseño original contemplaba la operación del sistema de contacto gas húmedo-glicol concentrado a una presión de 885 psig y 115°F. En la actualidad el contacto gas-glicol se realiza a 665 psig y a 110°F. La disminución de presión permite que el gas tenga la capacidad de absorber más contenido de agua.
- Otra probable causa es la pérdida de eficiencia en los equipos de transferencia de calor por ensuciamiento.
- Problemas de eficiencia en torres que hacen parte de las unidades deshidratadoras.
- Problemas de integridad mecánica de las unidades.

¹ LIEBERMAN, Norman Troubleshooting Natural Gas Processing. PennWells Books. Tulsa, Oklahoma. Capitulo: Glycol Dehydration., p. 59-79.

- Contaminación de glicol regenerado por rotura de equipos de transferencia ocasionando mezcla entre glicol pobre y rico.
- Fugas en drenajes y equipos.

De no corregirse las desviaciones en la operación del sistema, se mantendrán los altos consumos de TEG y se generarán problemas operativos en los sistemas localizados aguas abajo del mismo incluyendo la Planta de Gas y los sistemas de compresión para reinyección de gas.

Con el fin de evitar las desviaciones expuestas se plantea hacer el diagnóstico de la operación actual y definir las condiciones óptimas para la operación requerida.

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DESHIDRATACIÓN DEL GAS²³

3.1 DESHIDRATACIÓN DEL GAS NATURAL

La deshidratación del gas es el proceso mediante el que se remueve vapor de agua de una corriente de gas para disminuir la temperatura a la que el agua se condensará. Esta temperatura es llamada punto de rocío del gas. La mayoría de contratos de compra de gas establecen un máximo valor para la cantidad de agua permisible en el gas. Los valores límite más comunes en América del Norte son 7lb/MMscf en el sur de los Estados Unidos, 4lb/MMscf en el Norte y 2 a 4lb/MMscf en Canadá. Estos valores corresponden a temperaturas de punto de rocío de 32° F para 7lb/MMscf, 20°F para 4 lb/MMscf y 0°F para 2lb/MMscf. Para el caso de estudio se estableció un requerimiento de diseño de 2 lb/MMscf.

La deshidratación del gas hasta obtener temperaturas de punto de rocío menores a las que se presentarán a lo largo de las líneas de flujo del gas, equipos y formaciones receptoras evitará la formación de hidratos y la aceleración de la corrosión debido a la condensación del agua. En los casos en los que se tiene gas con alto contenido de CO₂ ó H₂S requieren de especial cuidado teniendo en cuenta que al entrar en contacto con el agua condensada producirán ácido carbónico y sulfhídrico respectivamente.

La capacidad del gas para retener vapor de agua es reducida a medida que el gas es comprimido o enfriado. Por lo tanto, el agua puede ser removida del gas por compresión o enfriamiento de la corriente. Sin embargo, el gas aún está saturado con agua por lo que cualquier reducción de la temperatura ó incremento de la presión puede resultar en condensación de agua.

Los sistemas más comunes para la deshidratación del gas son los de deshidratación con glicol y con lecho sólido. De los dos el más frecuentemente utilizado es el de deshidratación con glicol. Las unidades de lecho sólido son usadas cuando se requieren temperaturas de punto de rocío muy bajas.

² BOYUN, Guo; GHALAMBOR, Ali. Natural Gas Engineering Handbook. University of Lafayette. Gulf Publishing Company. Capítulo 8., p. 153 a 150.

³ GPSA (Gas Processors Suppliers Association) Engineering Data Book. 12 th Edition (electronic). Volumen II: Dehydration. Tulsa, Oklahoma.

3.2 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA

El primer paso en la evaluación ó diseño de un sistema de deshidratación de gas es la determinación del contenido de agua del gas. La determinación del contenido de agua del gas depende de la composición del gas, temperatura y presión de operación. Para gas natural con bajo contenido de CO₂ y H₂S y con un contenido del 70% de metano ó más y pequeñas cantidades de fondos pesados, la correlación presión-temperatura de McKetta-Wehe puede ser usada (Véase la Figura 3).

Para determinar el contenido de agua en un gas puede utilizarse el siguiente procedimiento:

- En la correlación de McKetta-Wehe se ubica en el eje horizontal la temperatura del gas.
- Después de ubicar el punto correspondiente a la temperatura del gas se sube hasta cortar la línea de presión establecida.
- Finalmente desde este punto de corte se desplaza la vista en forma horizontal y se lee el contenido de agua en lb/MMscf en el eje vertical.

El contenido de agua determinado requiere ser corregido por salinidad y por peso molecular, para corregir por salinidad es necesario ubicar la gráfica de corrección por salinidad y ubicar en el eje horizontal el porcentaje de contenido de sal en el gas, subir hasta encontrar la línea transversal, desplazarse horizontalmente hacia la izquierda y leer el factor de corrección por salinidad, y multiplicar el contenido de agua obtenido en el punto anterior por este factor.

Para corregir por peso molecular se utiliza la gráfica ubicada en la esquina superior izquierda de la figura 3, se ubica en el eje horizontal el peso molecular del gas, se sube hasta cortar la línea correspondiente a la temperatura y desplazándose horizontalmente hacia la izquierda se lee el factor de corrección por peso molecular en el eje vertical. El valor obtenido en el punto anterior se multiplica por este factor de corrección.

El contenido efectivo de agua en la corriente de gas se calcula de la siguiente forma:

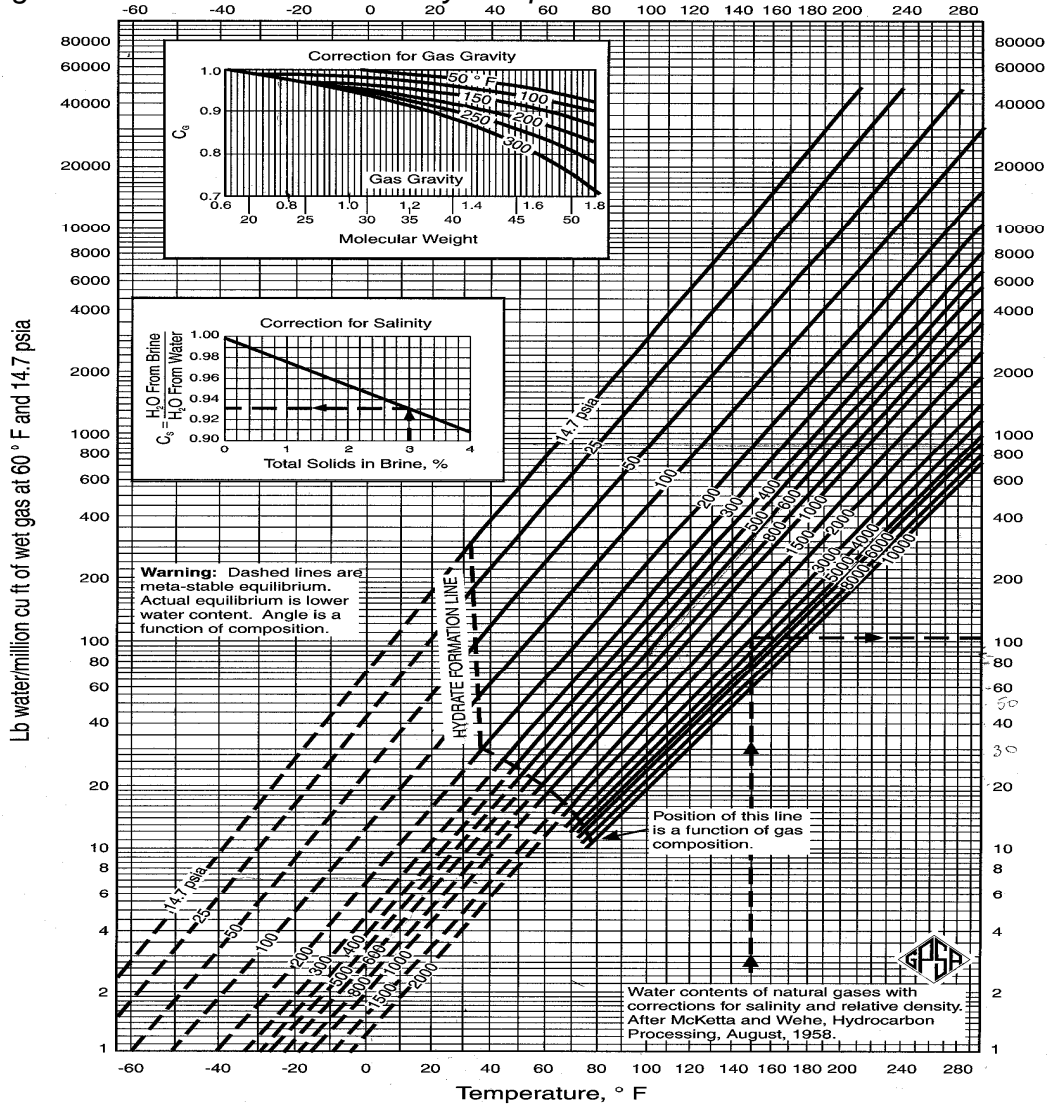
El gas natural es capaz de retener una cantidad de agua diferente a la que es capaz de retener el gas ácido (gas con alto contenido de CO₂ y H₂S), por lo tanto, se debe calcular el contenido de agua en la fracción ocupada por el gas natural y sumarlo al contenido de agua en la fracción ocupada por el gas ácido.

Para hallar el contenido de agua que es capaz de retener el H₂S es posible utilizar una de las gráficas que han sido desarrolladas en forma experimental para facilitar

este cálculo (Véase la Figura 3), en el eje horizontal se ubica la presión de operación, se sube hasta cortar la curva de temperatura correspondiente, y desplazando la vista horizontalmente hacia la izquierda se lee el contenido de agua del H₂S. Este valor se multiplica por la fracción que ocupa el H₂S en la mezcla y se obtiene el contenido de agua en la mezcla que se encuentra en la fracción de H₂S.

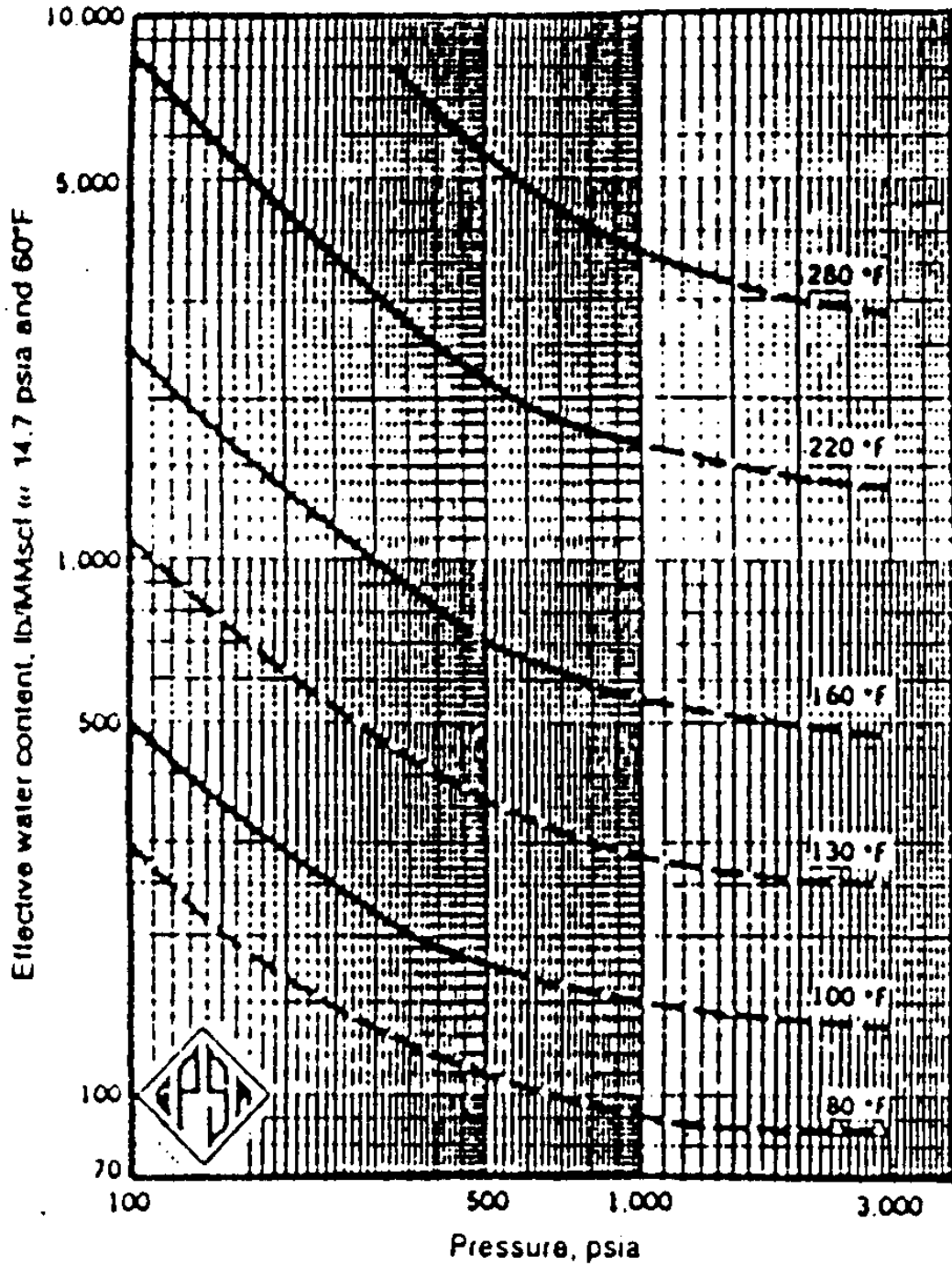
Para obtener el contenido de agua total de la mezcla basta con sumar los dos valores obtenidos.

Figura 3. Correlación de Presión y Temperatura de McKetta-Wehe.



Fuente: Gas Processors Suppliers Association 11th Edition, 1998.

Figura 4. Contenido efectivo de agua en el H₂S.



Fuente: Gas Processors Suppliers Association, Engineering Data Book, 10th Edition

3.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DE GAS

El proceso más comúnmente usado para la deshidratación del gas natural es hacerlo entrar en contacto con un fluido higroscópico como cualquiera de los glicoles. Este es un proceso de absorción, en el que el vapor de agua en la corriente de gas es disuelto en glicol relativamente puro. La deshidratación con glicol es relativamente económica dado que el agua puede ser fácilmente evaporada del glicol mediante la adición de calor. Este paso es llamado "regeneración" y permite que el glicol sea re-utilizado en la absorción de agua adicional con un mínimo de pérdidas de glicol. La mayoría de los procesos de deshidratación son continuos, es decir, tanto el gas como el glicol fluyen continuamente a través de una vasija (la "torre contactora" ó "absorbedor") en donde entran en contacto y el glicol absorbe el agua contenida en el gas para después ir al "rehervidor" (algunas veces llamado "reconcentrador" ó "regenerador") en donde el agua es removida y el glicol enviado nuevamente a la contactora.

Típicamente el glicol y el gas se encuentran en contracorriente en la contactora. El gas húmedo entra en el fondo de la contactora y hace contacto con el glicol "rico" (glicol que contiene agua en solución) justo antes de que el glicol salga de la contactora. El gas encuentra glicol cada vez más pobre (glicol que contiene menos y menos agua en solución) a medida que asciende a través del empaque de la contactora. Cada vez más arriba el glicol es capaz de absorber cantidades adicionales de vapor de agua. El flujo en contracorriente hace posible que el gas transfiera una cantidad significativa de agua al glicol y mantenga el equilibrio con el glicol más pobre.

La contactora trabaja en la misma forma que una torre estabilizadora de condensados. A medida que el glicol cae a través del empaque se vuelve más rico en agua. A medida que el gas asciende se vuelve más pobre en vapor de agua. Las torres contactoras típicamente tienen entre 10 y 12 platos o el equivalente en empaque, dependiendo del punto de rocío requerido.

Como con el estabilizador de condensados, las torres contactoras pueden tener tapas tipo burbuja ó bubbles cap, platos de válvula, platos perforados, y empaques regulares o empaques estructurados. Las contactoras que tienen 12 $\frac{3}{4}$ " o menos pulgadas de diámetro usualmente utilizan empaque regular, mientras que las contactoras de mayor diámetro utilizan platos de tapas tipo burbuja para suministrar un contacto adecuado a tasas de flujo de gas menores a las de diseño. Los empaques estructurados están llegando a ser más comunes en contactoras de gran diámetro.

El glicol puede absorber hidrocarburos pesados líquidos presentes en la corriente de gas. Por lo tanto, antes de que el gas entre a la contactora debe pasar a través de un separador de condensados para remover líquidos e impurezas sólidas que pueden ser arrastrados desde las vasijas que se encuentran aguas arriba o los condensados depositados en las líneas hacia la contactora. El separador de condensados debe estar localizado tan cerca de la contactora como sea posible.

En flujos más grandes se usan separadores de filtro a modo de separador de condensados de entrada para reducir la contaminación del glicol y por lo tanto incrementar su vida útil. Debido a su costo, los separadores de filtro no son de uso común en corrientes menores a 50MMscfd. En unidades pequeñas una sección en el fondo de la contactora es usada como un separador vertical de condensados.

El gas seco que sale de la contactora fluye a través de un intercambiador de calor gas/glicol. En este intercambiador el glicol de entrada es enfriado para aumentar su capacidad de absorción y disminuir su tendencia a vaporizarse y perderse en la corriente de gas seco. En algunos sistemas el gas pasa a través de un intercambiador de calor interno en la contactora en lugar del intercambiador gas/glicol externo o no utiliza ninguno de los anteriores.

El glicol rico "húmedo" que sale de la base de la contactora pasa a través de un condensador de flujo en la cima de la columna de destilación hacia un intercambiador de calor glicol/glicol donde el glicol rico es calentado por el glicol pobre a aproximadamente 170°F a 200°F. Después de este calentamiento, el glicol fluye a un separador (flash drum) que opera a una presión más baja, 35 a 50 psig, donde el gas que entra con el glicol y cualquier hidrocarburo líquido presentes son removidos. Este tanque de separación instantánea es una vasija de separación estándar de tres fases para un tiempo de retención de por lo menos 15 a 30 minutos y que bien puede ser horizontal ó vertical. Es importante calentar el glicol antes de que fluya a esta vasija para reducir su viscosidad y asegurar una separación más fácil de los condensados.

En unidades pequeñas el gas que sale del tanque de separación instantánea puede ser usado como gas combustible. En la mayoría de unidades pequeñas este gas es utilizado directamente para la combustión en los tubos de fuego del rehervidor, y suministra el calor necesario para reconcentrar el glicol.

El glicol húmedo que sale del separador fluye a través de un filtro de sólidos y un filtro de carbón para absorber pequeñas cantidades de hidrocarburos que pueden ser arrastradas en el glicol en circulación. Los filtros de sólidos son diseñados normalmente para la remoción de sólidos de 5 micrones o más.

En unidades grandes, con caudales mayores de 10 gpm es común que sólo una parte de la corriente 10% a 50% del flujo total sea pasada a través del lecho de carbón. Los filtros ayudan a disminuir la formación de espuma en el rehervidor.

Luego, el glicol fluye a través de un intercambiador de calor glicol/glicol a la columna de destilación montada en el rehervidor, la cual opera a presión esencialmente atmosférica. A medida que el glicol cae a través del empaque en la columna es calentado por los vapores que salen de los líquidos en ebullición en el rehervidor. La columna de destilación trabaja en la misma forma que un estabilizador de condensados. El líquido que cae está cada vez más y más caliente. El gas que se separa del líquido es cada vez más vapor de agua con una pequeña cantidad de glicol. Por lo tanto, a medida que el líquido cae a través de la empaquetadura se vuelve más pobre en agua. Antes de que los vapores abandonen la columna de destilación encuentran el condensador de flujo, donde el glicol rico proveniente de la contactora los enfría, condensando los vapores del glicol y aproximadamente un 25% a un 50% del agua que asciende. Esto produce una corriente de reflujo que minimiza las pérdidas de glicol a la atmósfera a casi cero. El vapor que sale de la columna de destilación contiene una pequeña cantidad de hidrocarburos volátiles y normalmente se ventea a la atmósfera en un lugar seguro. Si es necesario, el vapor de agua puede ser condensado en un aerofriador y enviado al sistema de tratamiento de agua producida para eliminar cualquier potencial emisión a la atmósfera.

Teniendo en cuenta que hay una gran diferencia entre los puntos de ebullición del tetirilenglicol (546°F) y el agua (212°F), la columna de destilación puede ser relativamente corta (10 a 12 pies de empaque). El glicol líquido en el rehervidor es calentado a una temperatura aproximada de 340°F a 400°F para suministrar el calor necesario para que la columna de destilación opere. Temperaturas muy altas pueden evaporar una mayor cantidad de agua, pero también pueden degradar el glicol.

Si se requiere una concentración del glicol pobre muy alta, puede ser necesario el uso de un sistema de gas de despojo. El sistema consiste en tomar una pequeña cantidad de gas húmedo bien sea de las líneas de gas combustible ó de la misma contactora e inyectarlo en el rehervidor. Aunque el gas usado como gas de despojo este saturado de agua a sus condiciones iniciales de temperatura y presión, a presión atmosférica y a la temperatura que existe en el rehervidor el gas está altamente insaturado y puede ser usado para atrapar el agua presente en el glicol. Si es necesario el gas puede ser recuperado condensando el agua y enviando el gas a una unidad de recobro de vapores (VRU).

El glicol pobre fluye desde el rehervidor a un tanque de balance ó surge tank que puede ser construido como parte integral del rehervidor. Este tanque de balance

debe ser lo suficientemente largo para permitir la expansión del glicol y tiempos razonables entre las adiciones de glicol.

Por último el glicol pobre es bombeado desde el tanque de balance hacia la torre contactora para completar el ciclo. Dependiendo del diseño del bombeo, el glicol pobre debe ser enfriado por los intercambiadores de calor a menos de 200 a 250° F antes de que llegue a las bombas.

3.4 CARACTERÍSTICAS DEL GLICOL

3.4.1 Tipos de Glicol. Los glicoles que se usan en forma más común son:

- **Etilenglicol:** Presenta alto equilibrio de vapor con el gas por lo que tiende a perderse en la fase gaseosa en la contactora. Se usa como un inhibidor de hidratos cuando puede ser recuperado del gas por separación a temperaturas inferiores a 50°F.
- **Dietilenglicol:** Tiene alta presión de vapor, lo que se traduce en grandes volúmenes de glicol perdidos en la contactora, tiene además gran susceptibilidad a descomponerse con la temperatura por lo que se requieren bajas temperaturas en el rehervidor (315°F a 340°F), por lo tanto no se logran las concentraciones de glicol pobre requeridas en la mayoría de las aplicaciones.
- **Trietilenglicol:** El más común de todos, se reconcentra a una temperatura de 340°F a 400°F para obtener una alta pureza. A temperaturas de la contactora superiores a 120°F tiende a tener grandes pérdidas de vapor en el gas. Es posible obtener depresiones en la temperatura del punto de rocío del gas de hasta 150°F si se utiliza gas de despojo en la regeneración del glicol.

Casi todas las unidades de deshidratación de gas emplean trietilenglicol por las razones ya indicadas. Normalmente cuando el personal de campo se refiere a glicol quiere decir trietilenglicol.

Tabla 2. Propiedades Físicas del trietilenglicol.

Propiedad Física	Magnitud
Peso molecular	150.18
Gravedad específica	1.1255

Propiedad Física	Magnitud
Temperatura de ebullición @ 14.7psia	550.4 °F
Viscosidad @68 °F	49cp
Calor de vaporización @14.7psia	298BTU/lb
Punto de chispa (a cielo abierto)	330 °F
Calor específico al 100% de pureza	0.53-0.72 en el rango de -6 °F - 310 °F

Fuente: WOODERSON, Robert. Glycols. New York: Union Carbide Corporation.

El calor específico de las soluciones acuosas de glicol aumenta a medida que aumenta la concentración de agua y en menor medida de la temperatura.

El agua y los glicoles muestran una solubilidad mutua en la fase líquida; la alta afinidad de los glicoles por el agua puede atribuirse a la afinidad de los grupos hidroxilo. La presión de vapor de agua en equilibrio con varias concentraciones de glicol se puede representar convenientemente.

Otra propiedad de los glicoles es su poca solubilidad en los hidrocarburos

- **Tetraetilenglicol:** Más costoso que el trietilenglicol, pero presenta menores pérdidas a altas temperaturas de la torre contactora. Se reconcentra a temperaturas entre 400°F y 430°F.

4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO EN ESTUDIO

4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

La facilidad de procesamiento de gas en estudio recibe los fluidos producidos en cada uno de los diferentes pozos productores del campo y permite realizar la separación y posterior tratamiento de cada una de las corrientes (Agua, aceite y gas). Actualmente el campo produce crudo y alrededor de 1,300 MMPCE diariamente.

El gas es re-inyectado para mantener la presión del yacimiento y se debe quemar el menor porcentaje posible. El gas proviene de separadores de baja y alta presión. El gas de baja presión se comprime previo a unirse al sistema de gas de alta presión antes de ser enviado a las unidades de deshidratación. En estas unidades deshidratadoras el gas es despojado de la mayor parte de su contenido de agua mediante el contacto con trietilenglicol (TEG). El sistema de deshidratación de gas está constituido por tres trenes de características similares.

Al llegar al sistema de deshidratación, el gas pasa a través de un aroenfriador y de un separador bifásico horizontal para condensar y separar una cantidad adicional de agua y de hidrocarburos pesados. Después de esto el gas entra por la parte inferior de una torre contactora, en la que entra en contacto con el glicol

El glicol sale por la parte inferior de la torre contactora, después de haber absorbido una determinada cantidad de agua de la corriente de gas, y es enviado hacia el sistema de regeneración de glicol en el cual es deshidratado y llevado a las condiciones necesarias para ser reutilizado en la deshidratación del gas.

El gas deshidratado fluye hacia un cabezal, en el que la corriente se divide en tres trenes de re-inyección. Cada uno de estos trenes cuenta con dos turbinas para la compresión del gas, dos vasijas para el despojo de hidrocarburos líquidos, una ubicada en la succión de cada una de las turbinas, y un aroenfriador ubicado en la descarga de cada una de ellas. Se incrementa la presión del gas hasta llevarlo a la presión de inyección.

Después de ser llevado a una presión superior a los 6000 psia el gas es distribuido en el manifold de reinyección y es enviado hacia los pozos inyectoros, en los que fluye nuevamente hacia las formaciones productoras para el mantenimiento de la presión.

La facilidad de producción cuenta con un sistema de teas, diseñadas para recibir el gas liberado durante el alivio de los diferentes sistemas. La Tea de Alta Presión recibe el gas liberado en los equipos con una presión de diseño de 210 psig ó

superior. La Tea de Baja Presión, recibe todos los alivios de más baja presión. La Tea de Baja Temperatura está dedicada al recibo de los disparos del sistema de compresión de gas de reinyección y las líneas de flujo de reinyección, donde las corrientes aliviadas pueden enfriarse a temperaturas tan bajas como -150°F debido al efecto de Joule Thomson que se produce por las elevadas caídas de presión que se generan.

4.2 DESCRIPCIÓN SISTEMA DE DESHIDRATACIÓN

En este capítulo se describen las condiciones de operación para las cuales fueron diseñados originalmente los equipos que conforman el sistema de deshidratación de gas de la planta en estudio. Es importante aclarar que estas condiciones difieren de las actuales y por tal razón se toman simplemente como parámetros para la descripción del sistema. La principal diferencia de las condiciones actuales con respecto a las condiciones de diseño mencionadas en este capítulo radica en la disminución de la presión de operación en las facilidades de recepción. Dicha reducción se realizó con el fin disminuir la presión en cabeza de pozo y por tanto aumentar la producción de crudo del campo. Este cambio en la presión de operación genera un cambio en la composición del gas tratado, un aumento en el contenido de agua y un aumento del flujo real de gas a través del sistema de deshidratación. Este sistema fue diseñado con el objetivo de producir un gas limpio y una carga de gas seco al área de compresores de gas de reinyección. La deshidratación del gas se realiza por tres razones fundamentales:

- Controlar la rata de corrosión en el sistema de gas de alta presión.
- Prevenir la formación de hidratos en las corrientes de proceso durante las etapas de compresión del gas, o cuando ocurra el desfogue del gas de proceso.
- Evitar daños en los compresores de reinyección debidos a la formación de hidratos y/o condensados.

4.2.1 Balance de Materia a Condiciones de Diseño. La presión de operación del sistema de recepción puede variar con el fin de aumentar la rata de producción del campo. Es importante tener en cuenta que la presión de operación del slug catcher tiene efectos inversos sobre la producción del campo y la capacidad y operación óptima del sistema de deshidratación de gas. Cuando se disminuye la presión de entrada a las facilidades de producción, se disminuye la presión en cabeza de pozo y por consiguiente se aumenta la rata de producción del mismo, al encontrar menor resistencia a fluir. Sin embargo, la disminución de presión aumenta la humedad del gas y obliga a retirar una cantidad adicional de agua en la torre contactora.

La condición de carga normal del enfriador de proceso se calculó cerca de 900 psig y 160°F y es una mezcla de gas que consiste principalmente de gas de

hidrocarburos livianos, saturado con agua de las vasijas de entrada de las facilidades de recepción y slug catcher y un gas comprimido más pesado proveniente de los separadores de producción aguas abajo. La capacidad de diseño de cada contactora es 430 MMSCFD cuando la carga de gas está a 885 psig y la temperatura es de 115 °F. La tabla 3 muestra los resultados del balance de materia realizado durante el diseño del sistema de deshidratación de gas.

Tabla 3. Balance de materia de la corriente de gas a través de la torre contactora a condiciones de diseño.

Características de la corriente	Entrada de la Contactora
Fracción de vapor	1.00
Presión (Psia)	885.00
Temperatura (°F)	105.00
Composición (% Molar)	
Dióxido de carbono	2,80
Nitrógeno	0,10
Metano	89,89
Etano	3,10
Propano	1,48
I-Butano	0,59
N-Butano	0,30
I-Pentano	0,10
N-Pentano	0,05

FUENTE: LOS AUTORES

La tasa de circulación de glicol pobre con una concentración de 99.99 %, concentración que nunca se ha alcanzado durante la operación del sistema de regeneración de glicol, es 80.8 gpm y su temperatura de entrada es 125 °F.

A temperatura ambiente de 80°F, la temperatura de entrada al contactor es supuesta a 93 °F y a esta condición la contactora debe ser capaz de manejar hasta 507 MMSCFD de gas.

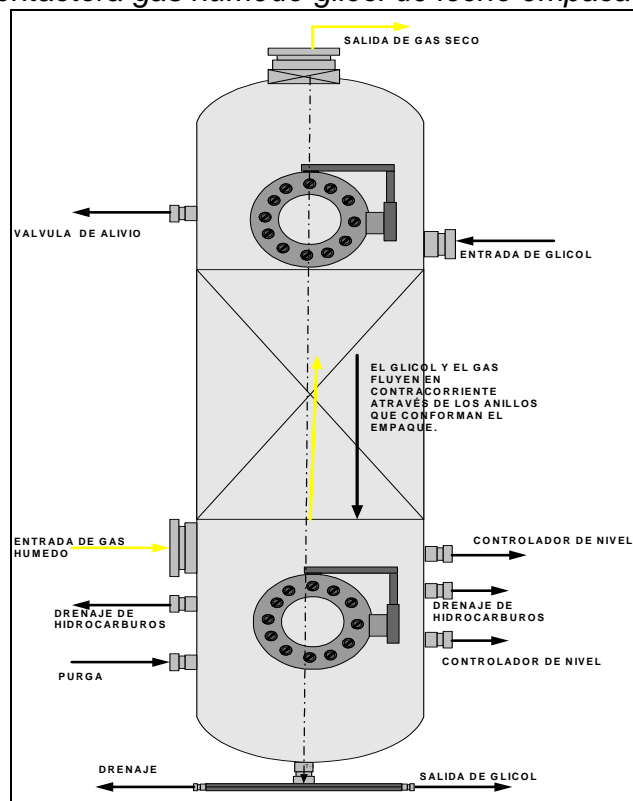
4.2.2 Deshidratación del Gas. El Sistema de deshidratación de gas con glicol está conformado por tres trenes paralelos e idénticos en los que se realiza el tratamiento del gas natural.

Este sistema consiste básicamente en procesos de enfriamiento de la corriente de gas, separación de condensados y secado del gas por absorción al ser puesto en contacto con trietilenglicol. Una temperatura fría del gas de proceso, ayuda al funcionamiento del contactor de glicol y a la carga térmica de la unidad de regeneración de glicol. Sin embargo, una temperatura por debajo de 70 °F,

puede ocasionar formación de hidratos y espuma en el contactor de glicol, debido a la mayor viscosidad de glicol. La temperatura del glicol entrando a la contactora debe estar mínimo 10°F por encima de la temperatura del gas de entrada a la torre contactora. Esto asegura que cuando la corriente de gas entre en contacto con el glicol, no se produzca condensación de hidrocarburos líquidos. En el sistema de deshidratación de gas de en estudio el control de la diferencia de temperaturas entre la entrada de gas y la entrada de glicol es más estricto.

La diferencia de temperaturas se controla mediante un controlador lógico programable, que compara las señales enviadas por un medidor-transmisor de temperatura ubicado en la salida de gas de la contactora y otro ubicado en la entrada de glicol. La temperatura del gas a la entrada de la contactora es de 3 a 5°F superior a la temperatura de salida, por lo cual se asegura que manteniendo la diferencia entre la salida de gas y la entrada de glicol en un valor mínimo del 10%, la diferencia de temperatura entre entrada de gas y entrada de glicol será de 13 a 15°F. Se cuenta con torres contactoras con glicol que reciben el gas de un separador de proceso. En las torres contactoras se produce el contacto directo entre el gas húmedo y el glicol pobre. Véase Figura 5.

Figura 5. Torre contactora gas húmedo-glicol de lecho empacado.



FUENTE: LOS AUTORES

La contactora es una vasija vertical de 108" de diámetro interno y 587" de longitud total, incluyendo la boquilla de salida de gas y la salida de glicol. El empaque,

conformado de anillos metálicos, tiene una longitud de 192". La función de este empaque es asegurar que el contacto entre el glicol y el gas sea efectivo y la cantidad de agua absorbida por el glicol sea la máxima posible. Este tipo de empaques presenta mayor eficiencia que los platos internos.

El gas húmedo entra por el fondo de la columna a un distribuidor de gas interno. Pasa a través de una empaquetadura estructurada de anillos, en donde entra contracorriente y contacta al glicol que fluye a través de la empaquetadura. Con el fin de alcanzar el contenido de agua requerido en el gas seco, son necesarios 16 pies de altura real de empaquetadura estructurada. La tasa de circulación de glicol es 85.0 gpm de glicol pobre en operación normal a las condiciones de diseño. A medida que el gas cae a través del empaque estructurado, la concentración de agua en el glicol aumenta. El efecto contrario ocurre en el gas, que a medida que sube a través de los empaques de la torre contactora tiene un contenido menor de agua, y encuentra glicol cada vez más pobre con mayor capacidad de absorción.

El gas seco sale por la parte superior de la torre contactora y fluye a la succión de los compresores de reinyección de media presión. El glicol rico (saturado de agua) sale por el fondo de la torre al sistema de regeneración de glicol para ser despojado de la mayor cantidad de agua y recirculado al sistema de deshidratación de gas.

4.2.3 Descripción del Sistema de Regeneración de Glicol Cold Finger. El sistema de regeneración de glicol del campo en estudio utiliza la tecnología de Coldfinger. Este sistema se basa en la ley de Raoult para disminuir la concentración de agua en el glicol pobre a niveles inferiores a los obtenidos en las unidades de regeneración de glicol convencionales. El dispositivo de Coldfinger se encarga de disminuir la concentración de agua en la fase de vapor y crear una descompensación con la fase líquida, que hace que parte del agua que aún se encuentra en el glicol se vaporice para lograr nuevamente las condiciones iniciales de equilibrio. De acuerdo con el diseño este sistema debe regenerar el trietilenglicol hasta una pureza de 99.8% en peso o más, y bombear una corriente estable de glicol pobre de regreso a las torres contactoras, basado en una temperatura de operación de 115°F, una presión de 885 psig (actualmente 610 psig) a la tasa de flujo de gas de 455 MMSCFD.

El sistema de regeneración fue diseñado para que cada una de las unidades sea capaz de recibir aproximadamente 90 gpm de TEG rico a 117 °F, de las torres contactoras de glicol. El trietilenglicol es contaminado por agua, dióxido de carbono (CO₂), e hidrocarburos durante el proceso de deshidratación del gas.

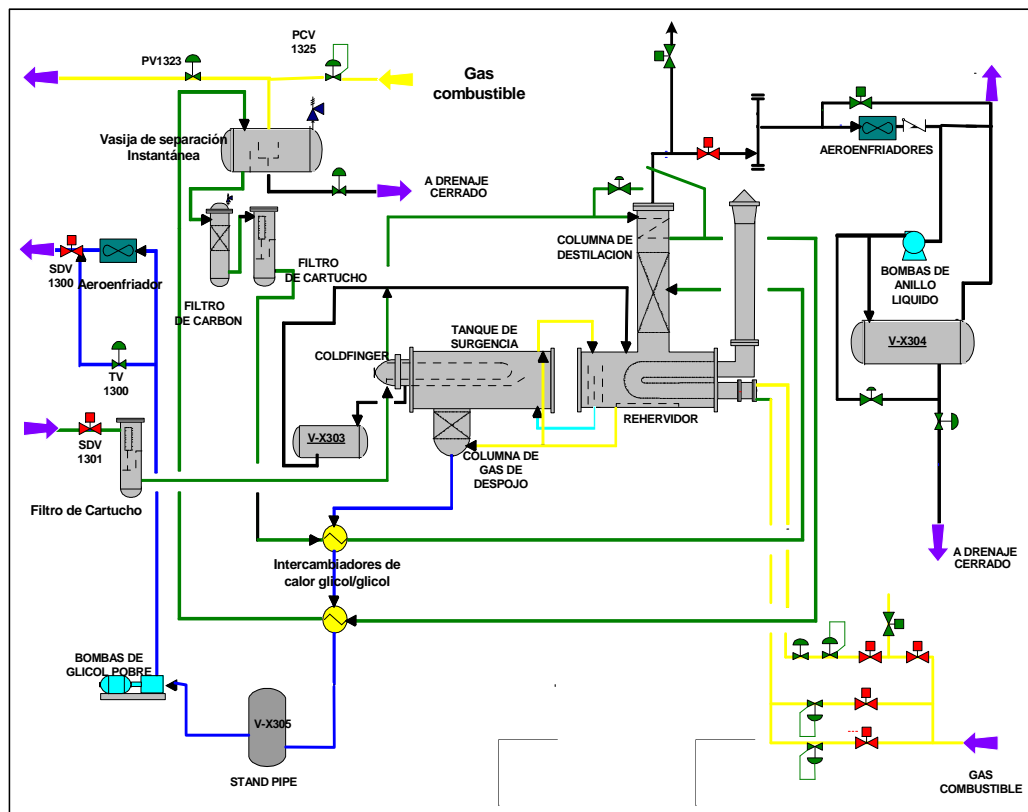
Parte de las impurezas volátiles en el glicol rico, deben ser removidas por vaporización a 65 psia, luego calentadas hasta una temperatura de 400°F para vaporizar el agua y conseguir la concentración de glicol deseada. El sistema cuenta con las facilidades para la inyección de gas de despojo en caso de que se requiera subir la concentración del glicol pobre a niveles iguales ó superiores a 99.5%. Este último paso es opcional y en la actualidad no se aplica debido al alto

volumen de gas quemado que representa su utilización (aproximadamente 0.5MMscf por cada unidad de regeneración de glicol).

4.2.4 Descripción del Proceso de Regeneración de Glicol a las Condiciones de Diseño. El Glicol rico sale de la torre contactora a aproximadamente 115° F y 885 psia (actualmente 610 psig) y pasa a través de la válvula de control de nivel que reduce su presión operativa a aproximadamente 75 psig. Véase figura 6.

Al entrar en el sistema de regeneración, el TEG rico pasa a través del filtro de cartucho de entrada de glicol y luego fluye a través del intercambiador de calor de dedos fríos (Coldfinger), en donde es calentado ligeramente y a través del Condensador de Reflujo de glicol donde enfría y condensa los vapores en la parte superior de la columna de fraccionamiento de TEG. Posteriormente, la solución de TEG se calienta a aproximadamente 180° F en el precalentador de glicol y luego ingresa en la vasija de separación instantánea. El gas separado es enviado al compresor de gas de proceso (que no es parte del sistema de regeneración).

Figura 6. Diagrama de flujo de sistema de regeneración de glicol.



FUENTE: LOS AUTORES

Los hidrocarburos líquidos presentes son separados en forma gaseosa principalmente y una pequeña fracción líquida es recolectada y enviada hacia el

drenaje cerrado. La fase de glicol/agua fluye bajo control de nivel, a través de los filtros de carbón y de cartucho y un intercambiador de calor glicol/glicol, en donde se precalienta antes de entrar a la columna de destilación de glicol.

La columna de destilación de glicol se conecta a la parte superior del rehervidor. La temperatura operativa en el Rehervidor es de 395° F a 400° F y un controlador de temperatura monitorea la temperatura de baño del Rehervidor. Al llegar a 420° F, un interruptor de temperatura activa una alarma que produce parada del Rehervidor de Glicol, abriendo una válvula reductora de presión o una válvula de alivio de gas combustible. Las chimeneas del rehervidor tienen instalados interruptores de alta temperatura. La activación de los interruptores de alta temperatura de las chimeneas también ocasiona parada del rehervidor de Glicol y abre la válvula de alivio de gas combustible. La salida de la columna de destilación está conectada a una unidad de Recobro de Líquido.

El Glicol pobre, proveniente del rehervidor pasa a través del tanque de surgencia de glicol. El tanque de surgencia contiene un dispositivo conocido como COLDFINGER que concentra el TEG a la especificación requerida de 99,8% en peso. El Coldfinger ó intercambiador de calor de dedos fríos consiste en un haz de tubos con enfriador situado en el espacio de vapor del Tanque de Surgencia. El medio enfriante es el TEG rico proveniente de la torre contactora. Al enfriar el vapor en el Tanque de Surgencia, el agua se condensa de la fase de vapor. El agua condensada (con algún contenido de TEG) es removida de la proximidad del COLDFINGER y alimentada al rehervidor de Glicol donde se recupera el glicol y se retira y ventea el agua. La remoción del vapor de agua del tanque de surgencia de Glicol altera el equilibrio al interior del mismo haciendo que más agua se evapore de la fase líquida de TEG.

El Glicol pobre totalmente regenerado sale del tanque de surgencia a aproximadamente 385° F y pasa a través de una columna de despojo de gas ubicada bajo el tanque de surgencia para una posible necesidad futura de despojo de gas a fin de lograr una concentración de Glicol superior a 99,95% en peso. Desde la columna de despojo de gas se enfría el Glicol pobre frente al Glicol rico en un intercambiador de calor glicol/glicol. El Glicol pobre pasa entonces a través de un intercambiador de calor, en donde es enfriado a 185° F. Finalmente, dos bombas de circulación del 100% de capacidad cada una, aumentan la presión del Glicol Pobre a aproximadamente 885 psig (actualmente 610 psig), punto en el cual sale del sistema de Regeneración hacia la torre contactora. El TEG pobre presurizado y totalmente regenerado a un 99,8% en peso ingresa al aerofriador de corriente de aire forzada de Glicol pobre a 185° F. Este enfriador lleva el Glicol hasta una temperatura de 120° F antes de ingresar a la Torre Contactora de Glicol.

Los vapores de las Columnas de destilación de los trenes de regeneración son enviados a una unidad recuperadora de vapores (VRU) en donde son enfriados a

140° F (o menos). Los vapores condensados y los gases no condensables se presurizan en dos bombas de anillo de líquido al 100% de capacidad cada una, hasta alcanzar aproximadamente 10 psig. Los Fluidos de las Bombas de Anillo de Líquido ingresan a una vasija llamada acumulador donde se separan los vapores y gases condensados. Los líquidos separados se envían a través de una válvula controladora hacia el drenaje cerrado de la planta y los gases se envían a la tea de baja presión.

Se ha previsto un tanque de almacenamiento de glicol para almacenar el trietilenglicol desde donde se bombea a los paquetes de regeneración para su mezcla y llenado inicial. Este tanque de almacenamiento tiene una capacidad nominal de 150 barriles. La bomba de transferencia de Glicol ha sido diseñada para una tasa de flujo de 25 gpm. Para mantener la calidad de glicol, el tanque cuenta con conexiones mecánicas para la inyección de nitrógeno como gas de cobertura.

El sistema de regeneración contiene un paquete de control de pH, provisto de un tanque y de una bomba para suministro de químicos. El químico recomendado, se determina a través de la operación del campo y se inyecta en el tambor de cabeza de succión de las bombas. La adición de químico depende del pH del glicol. Cuando el pH es muy bajo, se inyectan generalmente productos químicos con alto contenido de trietanolamina.

El tanque permite retornar al sistema el glicol que ha sido drenado durante las operaciones de mantenimiento que requieren el desalojo del volumen contenido en cualquiera de las vasijas. Si el TEG es apropiado para reusarlo, es bombeado de regreso al sistema de regeneración, o al tanque de almacenamiento. Si el TEG no es adecuado para ser reutilizado, es bombeado a tambores o a carrotanques para remoción en el sitio. La bomba P-1303, de doble diafragma accionado por aire, es el sistema de bombeo por medio del cual se retorna el glicol al sistema de regeneración o al tanque de almacenamiento.

4.2.5 Modos Alternativos de Operación. Durante la operación normal, cuando todos los trenes están operando, cada paquete de regeneración de glicol está dedicado a suministrar el glicol pobre a una torre contactora para la deshidratación del gas.

Alternativamente, en el evento que una de las unidades regeneradoras esté fuera de servicio, cada una de las unidades de regeneración está en capacidad de ser alineada a dos torres contactoras; esto se hace usando las válvulas manuales en las líneas de abastecimiento/retorno de glicol. Vale la pena aclarar que la unidad de regeneración número tres no puede ser alineada a la contactora del tren uno de deshidratación de gas.

Cada unidad de regeneración de glicol debe estar en capacidad de suministrar glicol a dos torres contactoras con las condiciones necesarias para el tratamiento del gas.

4.2.6 Criterios de Diseño del Proceso.

- **Flujo de Entrada de TEG para Regeneración**

El paquete está diseñado para regenerar:

- a) 90 GPM de Trietilenglicol rico proveniente de una torre contactora. Una concentración de TEG rico estimada en 95.8 por ciento en peso.
- b) Un total combinado de 93.5 GPM de TEG rico proveniente de dos torres contactoras con una concentración de TEG rico estimada en 92.26% en peso.

Los hidrocarburos y el material particulado deben ser removidos hasta un grado que permita que las torres contactoras de glicol operen sin formación de espuma ni pérdidas excesivas de glicol.

Las torres contactoras de glicol pueden operar bajo cuatro condiciones diferentes. La pureza del trietilenglicol pobre devuelto a las torres contactoras de glicol para cada conjunto de condiciones operativas es la siguiente:

Caso Base:

Este caso se refiere a las condiciones operativas normales de las torres contactoras, cuando cada unidad de regeneración está alineada con su respectiva torre contactora.

Pureza \geq 99.8% en peso TEG en agua

Caso "A":

Esta condición operativa se refiere a las torres contactoras que operan a la producción máxima de los compresores, 1,400MMscfd a 75° F de temperatura ambiente.

Pureza \geq 99.8% en peso TEG en agua

Caso "B":

Este caso constituye condiciones operativas de emergencia, suponiendo que sólo un paquete de regeneración alimente dos torres contactoras.

Pureza \geq 99.8% en peso TEG en agua

Caso "C":

Este caso se refiere a las condiciones operativas una vez se haya introducido el gas de despojo al paquete de regeneración para obtener una mayor pureza del glicol.

Pureza \geq 99.97% en peso TEG en agua

5. DESARROLLO Y ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN

En este capítulo se realiza analíticamente la estimación del contenido de agua del gas a la entrada de las unidades deshidratadoras, la cantidad de agua que deberá ser removida para alcanzar condiciones de diseño a la salida del gas, el glicol teórico requerido para remover del gas la cantidad de agua deseada y la cantidad de agua de deberá removerse en las unidades de regeneración de glicol.

5.1 CONTENIDO DE AGUA EN EL GAS DE ENTRADA

El gas natural asociado al petróleo se encuentra en contacto con sistemas húmedos dentro de la estructura del yacimiento y absorbe tanta agua como le es posible, es decir, absorbe agua hasta alcanzar las condiciones de saturación, por lo tanto el gas que se trata en el sistema de deshidratación se encuentra saturado con agua.

El contenido de agua de un gas saturado depende de su composición y de las condiciones de presión y temperatura a las que se encuentre. El efecto de la composición se acentúa con la presión y es particularmente importante si el gas contiene dióxido de carbono y/o sulfuro de hidrógeno. Cuando se trata de gases dulces, es decir con bajo contenido de dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno, con una composición de metano superior o igual al 70% es posible utilizar la correlación de McKetta-Wehe para determinar la máxima cantidad de agua que el gas es capaz de retener sin que se produzca condensación. Este es el caso del gas en estudio el cual tiene un contenido superior al 70% de Metano e inferior a 5% de dióxido de carbono por lo que los resultados obtenidos al evaluar el contenido de agua del gas saturado mediante el método anteriormente mencionado son bastante aceptables.

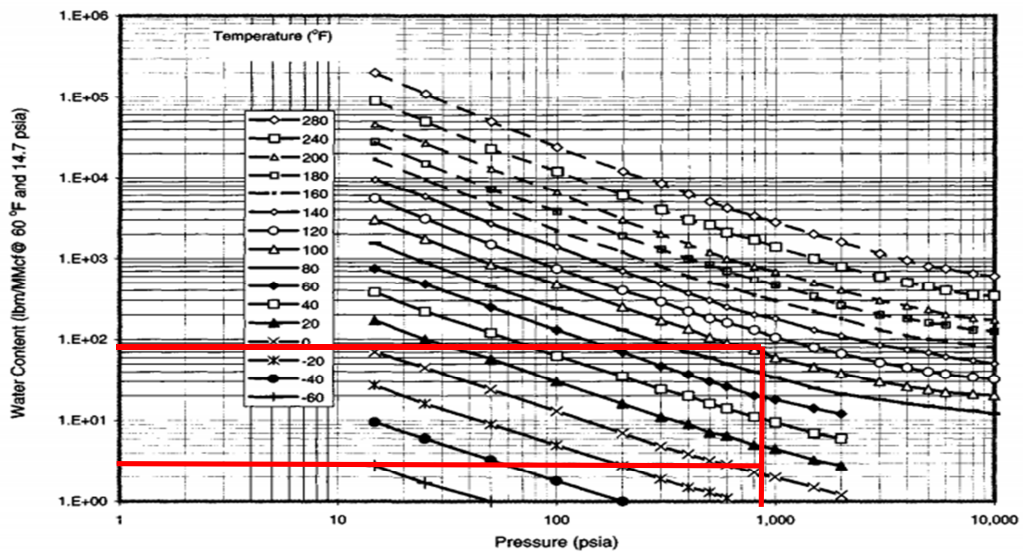
Figura 7. Contenido de agua de carta McKetta and Wehe (1958).

p (psia)	t (°F)															
	-60	-40	-20	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	240	280
15	3	10	27	70	170	380	750	1,550	3,000	5,500	9,500	17,000	28,000	46,000	90,000	200,000
25	2	6	16	45	100	220	480	900	1,750	3,100	5,800	9,500	15,000	27,000	50,000	110,000
50	1	3	9	24	58	120	250	450	850	1,500	2,700	4,700	7,200	13,000	23,000	50,000
100		2	5	13	30	63	130	240	480	750	1,400	2,200	3,800	6,600	12,000	24,000
200		1	3	7	16	35	70	130	250	400	700	1,200	1,900	3,000	6,000	12,000
300			2	5	11	24	47	90	170	290	480	800	1,300	2,000	4,000	8,500
400			2	4	9	20	37	70	135	220	370	600	1,000	1,500	3,000	6,200
500			1	3	7	16	30	60	105	180	300	500	840	1,200	2,600	5,000
600			1	3	7	14	26	50	90	160	250	450	700	1,000	2,100	4,200
800				2	5	11	20	40	75	130	200	350	550	800	1,700	3,300
1,000				2	5	10	18	34	60	105	180	300	470	690	1,400	2,800
1,500				2	3	7	14	25	46	80	130	220	340	500	1,000	2,000
2,000				1	3	6	12	21	38	67	110	180	260	400	800	1,600
3,000								18	30	52	85	130	200	300	600	1,150

De la gráfica de McKetta-Wehe se obtuvo un contenido de agua del gas saturado de 90 libras de agua por millón de pies cúbicos de gas a condiciones estándar interpolando los valores de la figura 7 para temperatura de 110°F y 900 psig (actualmente 610 psig).

Tomando en cuenta las condiciones de entrada a la presión de 900 psig y 110°F y un contenido de humedad de 2 lbs de agua por millón de pie cúbico en condiciones estándar se requiere una depresión de punto de rocío estimado de 100°F, teniendo en cuenta la figura 8. La temperatura de rocío de salida se estima en 0°F.

Figura 8. Dew Point de gas natural de McKetta and Wehe (1958).



Bajo las condiciones consideradas en el diseño de los sistemas de deshidratación de gas y regeneración de glicol el contenido de agua del gas sería de 88 lbs agua/MMscf.

5.2 CANTIDAD DE AGUA REMOVIDA EN EL SISTEMA DE DESHIDRATACIÓN

El promedio del contenido de agua del gas aguas abajo del tren de deshidratación número uno durante los seis meses anteriores al inicio de este estudio fue de 5.1 lb/MMSCF. La cantidad de agua removida en cada uno de los trenes de deshidratación de gas puede ser estimada restando el contenido de agua a la salida de las contactoras, determinado experimentalmente, del contenido de agua del gas saturado a las condiciones de presión y temperatura de la contactora. El contenido de agua del gas saturado se determina mediante la diferencia del contenido de agua a la entrada y el contenido de agua a la salida.

$$\text{Agua removida} = 90 \text{ lb/MMscf} - 2 \text{ lb/MMscf} = 88 \text{ lb/MMscf}$$

Asumiendo que el caudal de gas se divide en forma equitativa entre los tres trenes de deshidratación se tiene que el caudal de gas a través de uno cualquiera de los sistemas es de aproximadamente 428 millones de pies cúbicos estándar por día. Con esta consideración se calcula la cantidad de agua removida por cada unidad de deshidratación de glicol de la siguiente forma.

$$\begin{aligned} \text{Cantidad de agua removida por unidad} &= 88 \text{ lb/MMscf} * 428 \text{ MMscfd} \\ &= 37664 \text{ libras de agua por día} \\ &= 26,15 \text{ libras de agua por minuto} \end{aligned}$$

5.3 GLICOL TEÓRICO REQUERIDO PARA DESHIDRATACIÓN

Para estimación de TEG requerido en recirculación para la deshidratación un valor entre 2.5 y 4 gpm TEG/Lb H₂O removida puede ser empleada con una concentración de TEG de 99.5%.

$$\text{Libras de agua removida (base de cálculo: 1 día)} = 37664 \text{ lbs H}_2\text{O}$$

Para una relación de 2,5 galones de TEG/Lb H₂O removida se tendría que se requieren 94160 gal TEG/día o bien 65 gpm de TEG.

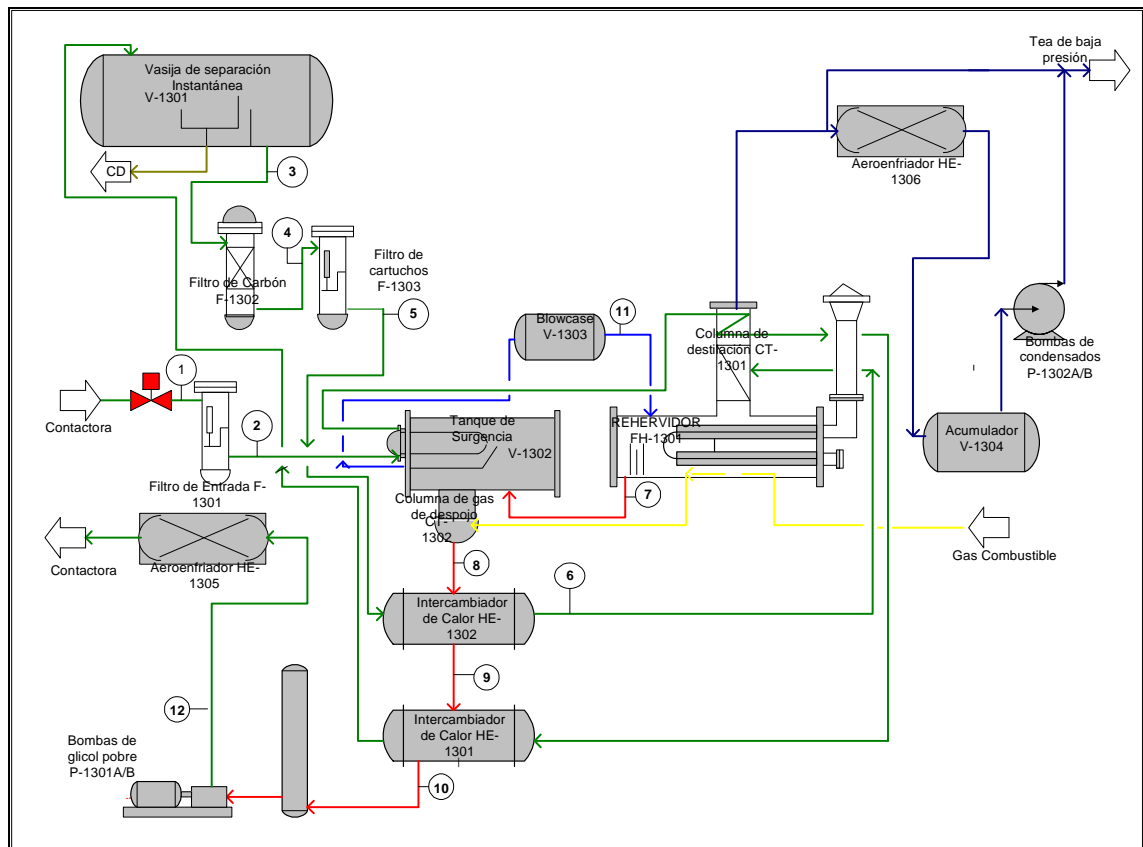
Aplicando una relación de 4 galones de TEG/Lb H₂O removida se tendría que se requieren 150656 gal TEG/día o bien 104,62 gpm de TEG

Aplicando una relación de 3.5 galones de TEG/Lb H₂O removida se tendría que se requieren gal TEG/día o bien 91 gpm de TEG

5.4 CANTIDAD DE AGUA REMOVIDA EN EL SISTEMA DE REGENERACIÓN DE GLICOL

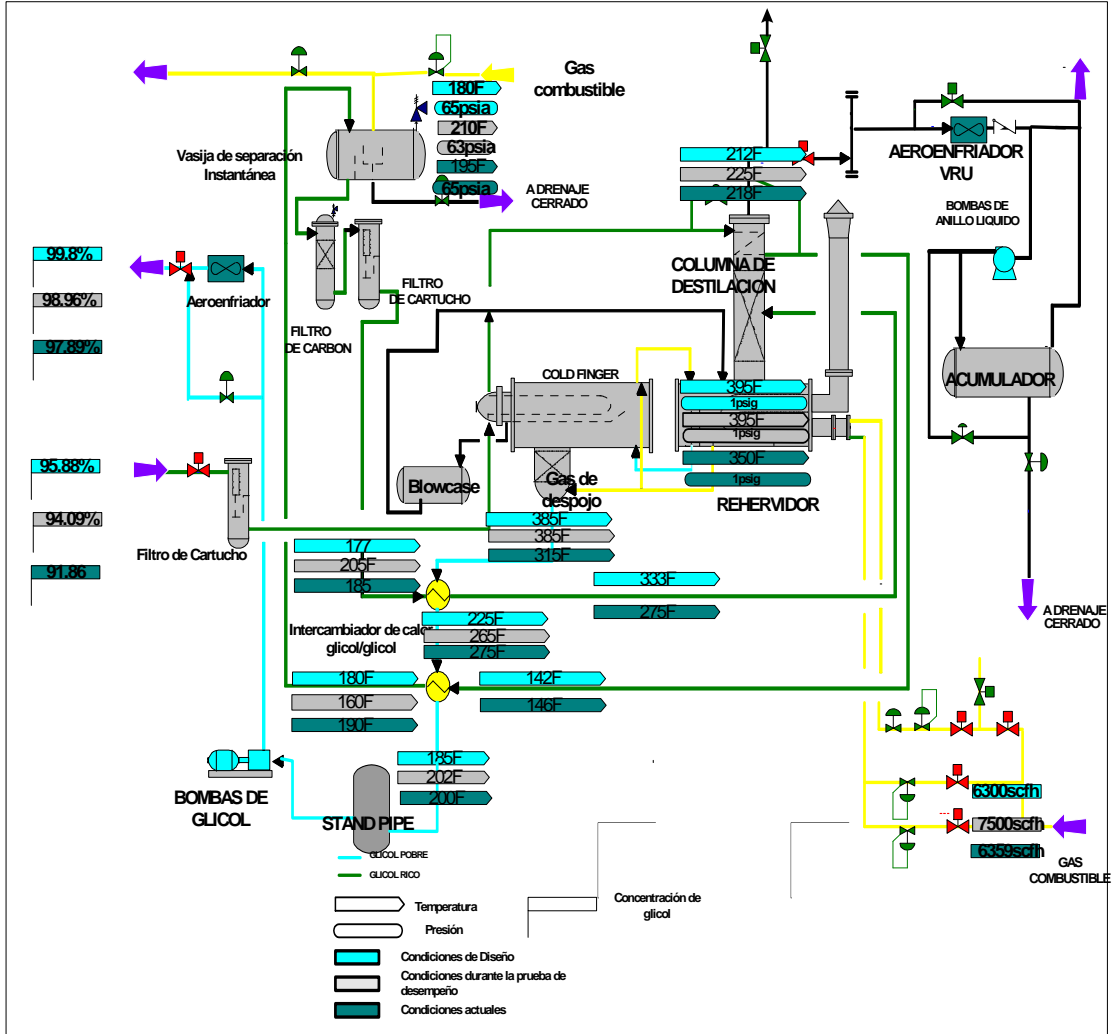
La cantidad de agua removida en cada uno de los trenes de regeneración de glicol puede estimarse considerando la diferencia en la concentración de agua a la entrada y a la salida del sistema y el flujo másico de glicol a través del sistema. Para efectos de cálculo se considera que las pérdidas se producen en su totalidad en la torre contactora por vaporización. Se debería remover para el caso de operar a 900 psig 1498 lh/hr de agua (102 bls/día) y remover 1900 lb/hora de agua (130 bls/día) para el caso de operar a 900 psig. El gasto energético en el rehervidor de regeneración sería de 6,2 MMBtu/hr y 7,8 MMBtu/hr respectivamente.

Figura 9. Sistema de regeneración con glicol.



FUENTE: LOS AUTORES

Figura 10. Sistema de regeneración con glicol (variables de proceso).



FUENTE: LOS AUTORES

6. VERIFICACIÓN DEL CASO MEDIANTE SIMULACIÓN DE PROCESO

Durante la simulación se realizaron las siguientes suposiciones:

Las herramientas de computadora de simulación actualmente disponibles nos permiten modelar sistemas de manera rápida pudiendo ver la relación entre las variables del proceso. Se emplea la ecuación de Peng-Robinson para caracterizar las propiedades de los componentes hidrocarburos involucrados en la simulación. Esta correlación es ampliamente utilizada en la industria de procesamiento de gas. Su confiabilidad nos permitirá proponer modificar condiciones de proceso que conlleven a mejorar la condición operacional de las unidades.

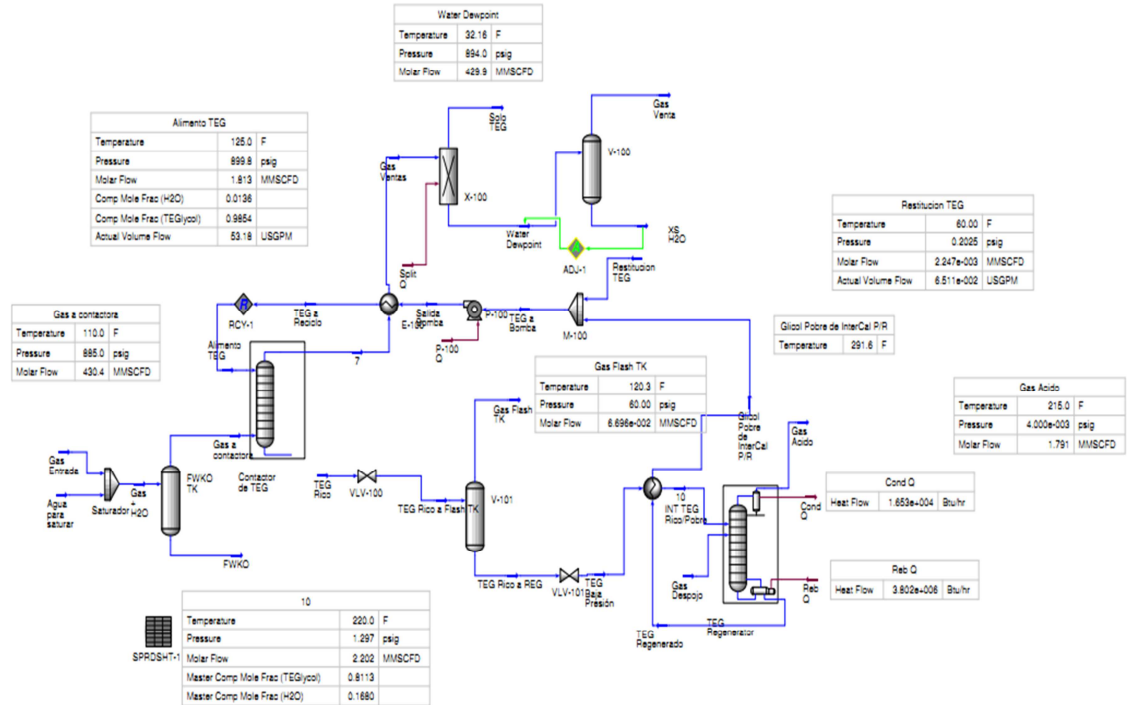
Inicialmente, se simuló la condición actual con el fin de verificar los valores de desviación entre el simulador y la realidad operacional. Esto nos permitirá corroborar la confiabilidad de la herramienta empleada.

- No hay presencia de sólidos en las corrientes de gas ni en las de glicol.
- Las tuberías y equipos no tienen pérdidas de calor.

6.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO UNIDAD DE REGENERACIÓN DE GLICOL

Se plantea un esquema de simulación que permita modelar el efecto de las diferentes variables de proceso sobre la operación de deshidratación. Se incluyen la torre contactadora de glicol y la torre de generación de glicol. Se emplea la herramienta de simulación ASPEN Hysys para hacer las corridas.

Figura 11. Diagrama de flujo de proceso sistema deshidratación con glicol.

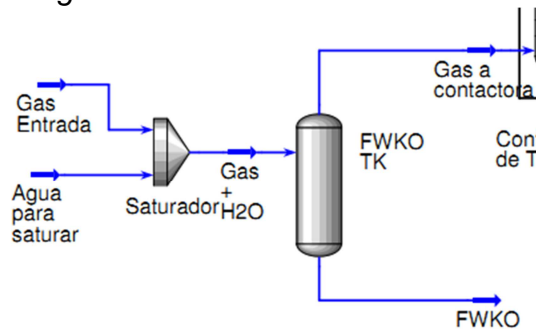


Fuente: Simulador de procesos.

6.2 DESCRIPCIÓN PROCESO DE SIMULACIÓN

La composición de la corriente **“Gas de entrada”** se plantea a base de agua libre. Para asegurar la saturación de agua, esta corriente es mezclada con la corriente **“Agua para saturar”**. Ver figura 12.

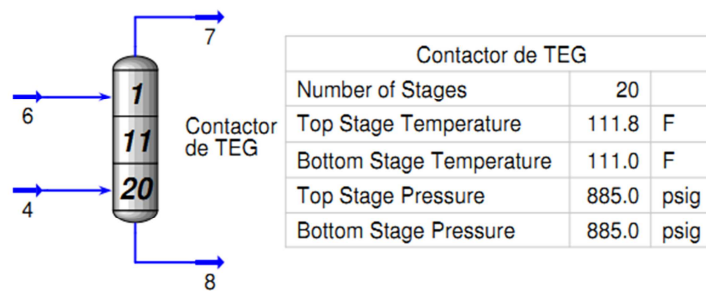
Figura 12. Scrubber gas entrada.



Fuente: Simulador de procesos

La corriente de gas saturado “**Gas+H2O**” es alimentada a un scrubber para retirar el agua libre. La corriente de gas saturado denominada “**Gas a contactora**” es alimentada a una torre de absorción de 20 platos teóricos en donde se coloca en contacto con glicol pobre (“**Alimento TEG**”). La corriente “**Alimento TEG**” absorbe la mayoría del agua en la corriente “**Gas a contactora**”. Ver figura 13.

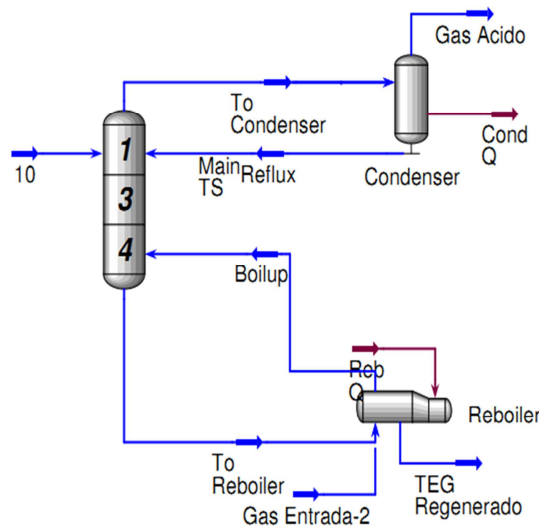
Figura 13. Torre contactora de gas.



Fuente: Simulador de procesos

El glicol rico proveniente del fondo de la torre de absorción (“**TEG rico**”) se envía a un tanque flash operado a 60 psig en donde se retira parte del gas disuelto en la corriente de TEG Rico. La corriente de TEG Rico es calentada por el glicol pobre (“**TEG Regenerado**”) proveniente del sistema de regeneración. Ver Figura 14.

Figura 14. Sistema de regeneración de glicol.



Fuente: Simulador de procesos

Luego de ser calentado el TEG Rico se alimenta a una torre de despojo de 4 platos teóricos con condensador con reflujo en donde el TEG es enfriado y enviado de retorno al tope de la torre.

Una corriente de reciclo es requerida para completar la simulación, ya que la corriente de TEG pobre es retornada a la torre contactora. Un estimado inicial de glicol pobre es requerida para correr la torre contactora de gas-glicol y, cuando el resto de la simulación ha sido ejecutada, el regenerador calcula la nueva corriente de TEG Pobre. Esta corriente es actualizada por la operación de reciclo.

6.3 CARACTERÍSTICAS CORRIENTES DE ENTRADA

La corriente de gas de entrada a deshidratar se puede visualizar en la tabla 3. El flujo de gas a deshidratar es de 430 MMSCFD y la presión de entrada 885 psig (condición de diseño) y 610 psig (condición operacional actual). La temperatura de entrada 110°F.

La concentración de TEG para la simulación es considerada en 99,99% w/w y 0,01% w/w de agua.

Efectuada la simulación bajo las condiciones actuales de operación de las torres contactoras a 610 psig y temperatura de entrada de 110°F. Se determina que la máxima concentración de glicol que se puede obtener en regeneración es de 98,60% TEG w/w con un contenido de humedad entre 9,5 lbs agua/MMPC. La corriente de glicol rico a la salida de las torres contactoras es de 95% TEG w/w. Estos datos son muy cercanos a las variables de proceso actuales. Esto permite tomar como buena referencia los resultados obtenidos con el simulador de proceso.

6.4 PARÁMETROS COLUMNA REGENERADORA TEG

Tabla 4. Resumen parámetros torre regeneradora TEG.

Parámetro	Dato entrada
Número etapas	4
Presión Tope Columna (psia)	14,70
Presión fondo torre (psia)	15,0
Caida presión condensador (psi)	0,30
Temperatura condensador (°F)	215
Temperatura rehervidor (°F)	400
Rata de reflujo (molar)	0,01

FUENTE: LOS AUTORES

7. VERIFICACIÓN DE VARIABLES Y SU IMPACTO EN EL PROCESO

La verificación de las variables se hace a la presión de operación actual de 610 psig y temperatura de 110°F en gas de entrada a la contactora.

7.1 DIAGNÓSTICO MECÁNICO DE UNIDADES DESHIDRATADORAS

Como soporte del estudio, se realizó el levantamiento en campo de la información histórica correspondiente a los mantenimientos mecánicos y de integridad de las Unidades Regeneradoras de Glicol, todos estos enmarcados dentro del plan preventivo de inspección y mantenimiento de equipos del campo apoyados en los planes de Confiabilidad, Mantenimiento basado en Condición (CBM el cual busca sacar el máximo provecho de un activo identificando el momento adecuado del mantenimiento antes de una falla) e Inspección Basada en Riesgo (RBI, el cual realiza los mantenimientos de acuerdo con las programación preventiva para evitar fallas).

Lo anterior permite realizar un plan que permite conocer más de la operación del equipo, vida útil del equipo, confiabilidad de los equipos, optimizar costos de mantenimiento y sustitución de equipos, así como garantizar la seguridad de la operación y de las personas ante eventuales fallas.

Para estos mantenimientos se evidencia que las inspecciones son realizadas por un proveedor especializado en este tipo de actividades y se ejecutan los siguientes tipos de trabajos:

Inspección Visual Interna y Externa la cual cubre la revisión e integridad mecánica de los equipos, la posible presencia de puntos en los que eventualmente se puede presentar corrosión por exposición operativa y la identificación de puntos que presentan algún tipo de anomalía para su corrección.

Inspección Visual Interna con Boroscopio, esas se realizan para evaluar corrosión interna de equipos en lugares no accesibles a simple vista. Estas imágenes se pueden grabar para su posterior consulta y dar los resultados según lo encontrado.

Inspección con Ultrasonido SCAN C el cual nos permite identificar el espesor de los equipos o la pérdida del mismo, ubicación de puntos de corrosión, imperfectos en las láminas y aseguramiento de confiabilidad por los resultados que se pueden obtener.

Dentro de la información revisada se tiene que los equipos son inspeccionados de acuerdo con la programación vigente, aproximadamente entre 2 y 3 años de espaciamiento por cada trabajo realizado, lo cual permite realizar seguimiento a la operación.

Las últimas actividades de mantenimiento de las unidades regeneradoras de Glicol incluyeron una nueva fase en el proceso que el lavado con productos químicos, previo al desarme de las mismas, lo cual permitió drenar los residuos presentes y hacer una mejor inspección de los equipos con las técnicas descritas según a aplicar a cada equipo, Ejemplo, estado de equipos post lavado en URG 1.

Se observa limpieza óptima de la superficie del acero. Ver Figura 16.

Figura 15. Tubos del intercambiador HE1301.



FUENTE: LOS AUTORES

Figura 16. Tubos del Intercambiador H1302 de Lado Cabezal.



FUENTE: LOS AUTORES

Figura 17. Limpieza surge drum URG 1.



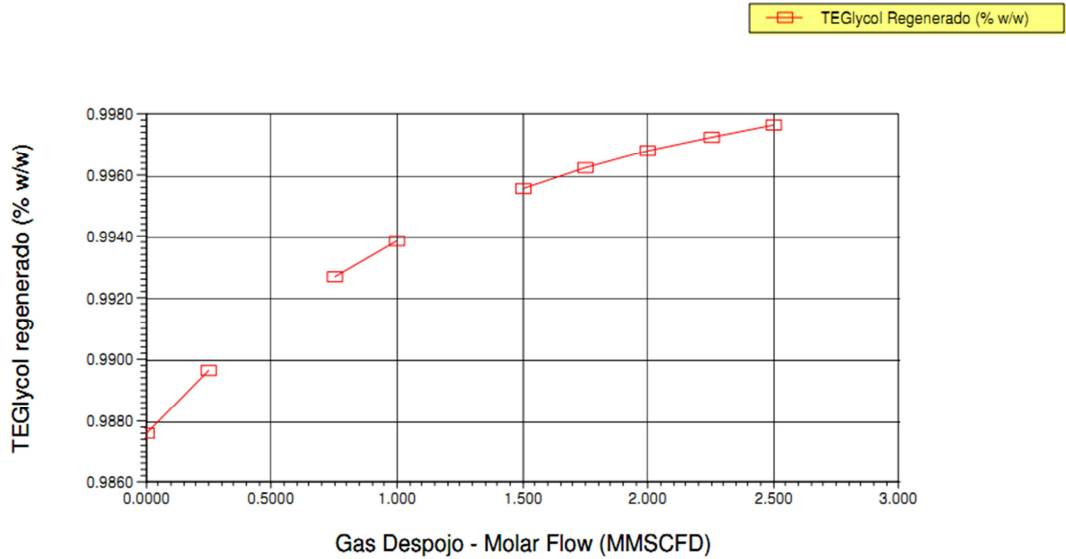
FUENTE: LOS AUTORES

Adicional a la realización de los mantenimientos de los equipos, vale la pena mencionar que los planes de integridad y mantenimiento del campo incluyen la calibración y seguimiento al comportamiento de la instrumentación necesaria para el monitoreo de las condiciones operativas del campo, la que se realiza a los sensores y transmisores de presión, temperatura y nivel y se desarrolla mensualmente según las rutinas establecidas para tal fin. Con base en lo anterior, se descarta la no esperada concentración del glicol de recirculación debido a problemas de integridad en los equipos.

7.2 EFECTO DE INCLUIR GAS DE DESPOJO SECO SOBRE LA CONCENTRACIÓN DEL GLICOL POBRE

De la figura 15 se aprecia que la inclusión de gas de despojo en el rehervidor del regenerador de glicol permite concentrar el glicol a valores superiores al 99,8%. No incluir gas de despojo en rehervidor permite obtener una concentración máxima de 98,59% w/w de TEG. Por encima de los 2,5 MMPCD de gas de despojo se podría tener arrastre de gas en la corriente de glicol pobre que se recircula hacia las torres contactadoras y no se obtiene más efecto en aumento de la pureza en el glicol pobre. Un valor entre 0.6 y 2.0 MMPCD de gas de despojo sería el rango de valor recomendado.

Figura 18. Efecto de gas de despojo en regeneradora de glicol.



Fuente: Simulador de procesos

Con base en la simulación, utilizar gas de despojo seco sería menos eficiente que utilizar gas húmedo. El gas de despojo cuenta con una mayor capacidad para mantener vapor de agua en saturación.

7.3 EFECTO DE AUMENTO DE TEMPERATURA EN EL REHERVIDOR DE UNIDAD DE REGENERACIÓN

A continuación se muestra el efecto de aumentar la temperatura en el rehervidor sobre la concentración del glicol pobre que se recircula hacia la torre contactora.

Tabla 5. Datos de relación de temperatura de rehervidor y concentración de glicol.

Temperatura Rehervidor (°F)	Concentración de glicol pobre (% w/w TEG)	Delta de incremento concentración TEG (%w/w TEG)
350	98.17	
360	98.40	0.23
370	98.59	0.19
380	98.76	0.17
390	98.91	0.15
400	99.03	0.12
410	99.15	0.12

FUENTE: LOS AUTORES

De los resultados de la simulación se aprecia que incrementos de temperatura por encima de los 400°F permitirá concentrar el glicol regenerado a valores superiores del 99,99. Sin embargo, valores de temperatura superiores a 400°F en el rehervidor permitirán degradación del glicol y de igual manera como se puede apreciar no se consigue el valor de concentración de pureza mayor a 99,5% del TEG deseado.

7.4 EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DEL GLICOL POBRE EN EL CONTENIDO DE AGUA EN EL GAS DE SALIDA

Manteniendo la temperatura en el rehervidor en 380°F y una recirculación de TEG pobre o regenerado de 86 gpm se obtienen los resultados que se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Efecto de la concentración de glicol en contenido de humedad del gas de salida.

Gas despojo (MMSCFD)	Concentración TEG (w/w %)	Humedad gas salida (lbs H2O / mmscfd)	Dew point gas de salida (°F)
0	98.76	9.88	42.08
0,5	99.12	6.83	33.20
1,0	99.38	4.83	24.23
1,5	99.56	3.44	15.62
2,0	99.70	2.44	7.56
2.7	99.80	1.50	-3.94

FUENTE: LOS AUTORES

Cómo se aprecia en los resultados de la simulación a ,medida que se incrementa la concentración de TEG regenerado y recirculado, mejora el valor obtenido para humedad de gas de salida de las contactoras a la presión de 610 psig y temperatura de entrada de 110°F. La concentración del TEG regenerado se mejora con la inyección de gas de despojo en la regeneradora.

Valores de gas de despojo por encima de 3 MMSCFD podrían presentar arrastre de gas en la corriente de TEG pobre que se regresa a las contactoras, pudiendo generar problemas de operación para el sistema de bombas empleados para aumentar la presión del TEG previo ingreso a la contactora.

7.5 EFECTO DE AUMENTO DE LA RATA DE RECIRCULACIÓN DE TEG

Se considera para la simulación una concentración de TEG pobre de 98.76 % w/w y se mantienen las condiciones de temperatura y presión de la contactoras en 110°F y 600 psig respectivamente.

Tabla 7. Efecto de la concentración de glicol en contenido de humedad del gas de salida.

Relación gal TEG/lb H2O removida	TEG Recirculado (BPD)	TEG Recirculado (gpm)	Lb H2O/MMSCF	Dewpoint gas salida (°F)
1,0	891	26	10	36.58
1,5	1340	39	9.50	35.08
2,0	1790	52	9.50	35.08
2,5	2230	65	9.55	35.21
3,5	3120	91	9.55	35.21
4,0	3565	104	9.55	35.21
4,5	4010	117	6,66	35.21

FUENTE: LOS AUTORES

Como se puede ver en los resultados de la simulación el volumen de TEG recirculado manteniendo una concentración de TEG pobre constante no afectará sustancialmente los valores de contenido de agua en el gas de salida.

7.6 EFECTO DE VARIABLES DE PROCESO COMO TEMPERATURA O PRESIÓN EN CONTACTORAS

El aumento de temperatura y la disminución en la presión de la torre contactora incrementan el contenido de humedad del gas de entrada en lbs / MMPC y por lo tanto la cantidad de agua a remover será mayor en el rehervidor ubicado en el sistema de regeneración. Sin embargo, esto afecta solo la cantidad de energía que se requiere en el rehervidor para regenerar el TEG rico. Así por ejemplo, para evaporar el agua adicional en el glicol rico por operar a 610 psig (condición actual), y no 900 psig (condición de diseño) se requieren promedio 0.035 MMPCD adicionales para alimentar al sistema de quemadores de los rehervidores.

8. ANÁLISIS ECONÓMICO DE COSTO

Con base en las simulaciones la pérdida de glicol teórica por arrastre en torre regeneradora y contactora es de 29 gal / día.

El consumo promedio de reposición de glicol de 99,99 % w/w de pureza está en el orden de los 120 gal /día. La diferencia entre lo teórico y lo real nos daría el valor de reposición una vez implementada la recomendación de incluir gas de despojo en el proceso. En costos esto representaría un ahorro estimado de USD\$400,000 al año por cada unidad deshidratadora de 430 MMPCD de capacidad. En la actualidad se cuentan con tres (3) unidades.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El parámetro que más afecta la remoción de agua del gas es la concentración del TEG. Para los valores de 2 lbs H₂O/mmscf esperados se requiere un glicol con concentraciones por encima de 99,8% w/w.
2. Para obtener concentraciones de 99,8% w/w de TEG en el glicol pobre se requieren más de 1,5 MMSCFD como gas de despojo en el sistema de torre de destilación en donde se regenera el glicol.
3. El incremento de la rata de recirculación de TEG no disminuye los contenidos de agua en el gas de salida.
4. Incrementar la temperatura en el rehervidor de la regeneradora por encima de los 380°F no representa mejoras en el aumento de la concentración del TEG pobre. Incluso, incrementar la temperatura por encima de ese valor podría ocasionar degeneración del glicol o arrastre de glicol a la línea de gas ácido de la regeneradora.
5. De las inspecciones de Integridad se puede concluir que se realizan en los tiempos efectivos y que han demostrado históricamente que las conclusiones y recomendaciones dadas por el proveedor son las adecuadas y permiten mantener continuidad y confiabilidad operativa. De acuerdo con estas recomendaciones se ajusta el plan de inspecciones y se avalan las condiciones de los equipos.
6. Las técnicas de lavado químico antes de la inspección mecánica de las URG permite una mejor aplicación de los procedimientos y actividades que soportan los estudios basados en normas internacionales, ya que no se encuentran residuos que pudieran viciar los resultados de los mismos.
7. Se recomienda que se incluya a la actual condición de proceso en las unidades deshidratadoras con glicol gas de despojo con el fin de poder obtener la concentración de TEG de 99,80 % w/w esperado a la salida del sistema de regeneración. Permitiendo de esta forma obtener valores de humedad por debajo de las 2 lbs de agua por MMPC. Esto permitiría disminuir el alto consumo actual de reposición de TEG.
8. Previo a la implementación de esta recomendación, se deberán realizar el respectivo análisis detallado de ingeniería para identificar riesgos y accesorios mecánicos para ejecutar esta tarea de manera segura sin afectar a las personas, a las instalaciones y al medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

Aspen HYSYS. Hysys. Process. Version 2.1. Applications: Natural Gas Dehydration with TEG.

CAMPBELL, Joe. Gas conditioning and processing. Campbell petroleum series. Norman, Oklahoma. Volumen 1. Séptima edición.

GPSA Engineering Data Book. GPSA (Gas Processors Suppliers Association). 12th Edition (electronic). Volumen II: Dehydration. Tulsa, Oklahoma.

LIEBERMAN, Norman. Troubleshooting Natural Gas Processing. PennWells Books. Tulsa, Oklahoma.