

**ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE PARAMETROS DE DISEÑO PARA TORRES
CONTACTORAS EN PLANTAS DE DESHIDRATACION DE GAS NATURAL**

**RAFAEL DAVID DEL TORO GRANADOS
JOSE MANUEL GARCIA OROZCO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA DE PETRÓLEO
BUCARAMANGA 2009**

**ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE PARAMETROS DE DISEÑO PARA TORRES
CONTACTORAS EN PLANTAS DE DESHIDRATACION DE GAS NATURAL**

**RAFAEL DAVID DEL TORO GRANADOS
JOSE MANUEL GARCIA OROZCO**

**Tesis de grado presentada para optar al titulo de
Ingeniero de petróleos**

Director

**M.Sc NICOLAS SANTOS SANTOS
Ingeniero de petróleos**

Codirector

**M.Sc HERMES PEÑA VELASQUEZ
Ingeniero de petróleos**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO – QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA 2009**

Ya que nos somos seres sin contexto
quiero dedicar este trabajo solo a aquellos
trabajadores, estudiantes, profesores e intelectuales
que hacen posible la dinámica de la ciencia y la universidad.
Pero principalmente a mi madre
que hizo posible mi vida en la ciencia y la universidad

V. V. MLM

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos:

Al M.Sc Nicolás Santos Santos por su colaboración, orientación y su apoyo constante en la realización de este proyecto.

Al ingeniero Carlos Dallos por su ayuda y por su confianza.

Al ingeniero Hermes Peña.

A los profesores de la escuela de ingeniería de petróleos por su aporte a la consolidación de nuestros conocimientos.

A nuestras familias por su dedicación, apoyo y paciencia.

A los amigos y compañeros con quienes compartimos en la universidad.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	
1. <u>GENERALIDADES</u>	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	3
1.2 GAS NATURAL	4
1.3 CLASIFICACIÓN DEL GAS NATURAL	4
1.3.1 Gas libre	4
1.3.2 Gas asociado	4
1.3.3 Gas agrio	5
1.3.4 Gas rico	5
1.3.5 Gas dulce	5
1.4 USOS DEL GAS NATURAL	5
1.5 HIDRATOS DE GAS	6
1.5.1 GENERALIDADES	6
1.5.2 ESTRUCTURA CRISTALINA	7
1.5.3 FACTORES QUE AFECTAN LA FORMACIÓN DE HIDRATOS	8
1.6 CONTENIDO DE AGUA DE UNA MEZCLA DE HIDROCARBUROS	10
1.7 DESHIDRATACIÓN DEL GAS NATURAL	11
1.7.1 METODOS DE DESHIDRATACION DEL GAS NATURAL	12
2. <u>DESHIDRATACIÓN DE GAS CON GLICOL</u>	15
2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DE GAS	15
2.1.1 Flujo de gas	15
2.1.2 Flujo de glicol	17
2.2 ANALISIS OPERACIONAL DE UNA UNIDAD DE DESHIDRATACION	20
2.2.1 Filtración-Separación del Gas de Entrada	20
2.2.2 Absorción Gas –glicol	22
2.2.3 Intercambiador de Calor Gas – Glicol	24
2.2.4 Almacenamiento De Glicol Pobre	25
2.2.5 Intercambiador De Calor Glicol Rico –Glicol Pobre	26
2.2.6 Regeneración De Glicol	26
2.2.7 Rehervidor	28
2.2.8 Gas De Regeneración	32
2.2.9 Bomba De Circulación De Glicol	33
2.2.10 Separación Flash: Gas – Glicol	35
2.2.11 Atmósfera De Gas	36
3. <u>TORRE DE ABSORCIÓN O TORRE CONTACTORA</u>	37
3.1 Torres contactoras de platos	37

3.1.1	Extractores de niebla	37
3.1.2	Bandejas o platos	38
3.2	Torres contactoras empacadas	40
3.2.1	Empaques al azar	41
3.2.2	Empaques regulares o estructurados	42
3.2.3	Distribución del líquido en una torre empacada	43
3.2.4	Variables que afectan la eficiencia de absorción en una torre empacada	44
4.	<u>DISEÑO DE TORRES CONTACTORAS</u>	45
4.1	Diseño de torre contactora de platos	45
4.1.1	SIVALLS	45
4.1.2	GPSA	52
4.2	Diseño torre contactora empacada	59
4.2.1	McCabe	59
4.2.2	GPSA	62
5	<u>ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD EN LA TORRE CONTACTORA</u>	65
5.1	GENERALIDADES	65
5.1.1	SIMULACION DE LA PLANTA DESHIDRATADORA DE GAS NATURAL CON TEG	66
5.2	SENSIBILIDAD EN LA TORRE CONTACTORA	69
5.2.1	Temperatura de gas de entrada	69
5.2.2	Flujo de gas de alimento a la planta	73
5.2.3	Presión de gas de entrada a la planta	77
5.3	SENSIBILIDAD EN EL REHERVIDOR	81
5.3.1	Temperatura del rehervidor	81
5.3.2	Flujo de gas de despojo	84
5.4	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD EN PARAMETROS DE DISEÑO	87
5.4.1	Numero de platos	87
6	<u>CONCLUSIONES</u>	90
7	<u>BIBLIOGRAFIA</u>	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Diagrama de flujo en una unidad deshidratadora con glicol	16
Figura 2.	Modelos de distribuidores de líquido	43
Figura 3.	Diámetro de la contactora	47
Figura 4.	Contenido de agua en el gas	48
Figura 5.	Determinación del número de platos reales	49
Figura 6.	Diagrama Mc. Cabe para la torre contactora	50
Figura 7.	Punto de rocío para soluciones acuosas de TEG Vs. Temperatura de operación	51
Figura 8.	Numero de platos teóricos	56
Figura 9.	Numero de platos teóricos	57
Figura 10.	Numero de platos teóricos	57
Figura 11.	Numero de platos teóricos	58
Figura 12.	Numero de platos teoricos	58
Figura 13.	Diagrama de colbum	60
Figura 14.	Modelo conceptual PFD planta de deshidratación de gas natural	68
Figura 15.	Variación del flujo de TEG pobre con la temperatura.	71
Figura 16.	Variación de la Fracción másica de TEG rico y TEG pobre con la temperatura	72
Figura 17.	Variación del flujo de calor en el rehervidor con la temperatura de gas de entrada.	73
Figura 18.	Variación de la presencia de agua en el gas de entrada con el flujo	74
Figura 19.	Variación del flujo de TEG pobre con el flujo en el gas de entrada	75
Figura 20.	Variación del porcentaje en peso del Glicol rico y pobre con el flujo de gas de entrada.	75
Figura 21.	Variación del flujo de calor en el rehervidor con el flujo de	76

	gas de entrada.	
Figura 22.	Variación de la humedad en el gas de entrada con la presión.	78
Figura 23.	Variación del flujo de Glicol rico y pobre con la presión.	78
Figura 24.	Variación de la fracción másica del Glicol rico y pobre con la presión del gas de entrada.	79
Figura 25.	Variación del flujo de calor en el rehervidor con la presión del gas de entrada.	79
Figura 26.	Variación de la fracción másica del TEG pobre con la temperatura.	80
Figura 27.	Variación del flujo de TEG pobre con la temperatura	82
Figura 28.	Variación de la concentración de Glicol pobre con el flujo de gas de arrastre.	82
Figura 29.	Variación de flujo de glicol pobre (a la salida del rehervidor) con el flujo molar del gas de arrastre.	84
Figura 30.	Variación de flujo de glicol pobre con flujo molar de gas de arrastre.	85
Figura 31.	Perdida de glicol con variación del flujo de gas de arrastre.	85
Figura 32.	Variación de la concentración de glicol rico con el número de platos.	87
Figura 33.	Variación del agua en el glicol rico con número de platos.	88

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Tipos de estructuras cristalinas de los hidratos	7
Tabla 2.	Temperaturas de descomposición para los glicoles	30
Tabla 3.	Factores de corrección para la capacidad al gas en torres contactoras de platos	46
Tabla 4.	Línea de equilibrio diagrama de Mc. Cabe	50
Tabla 5.	Espaciamiento entre bandejas	52
Tabla 6.	Propiedades físicas del glicol	53
Tabla 7.	Análisis cromatográfico del gas de entrada	69
Tabla 8.	Respuesta a la perturbación en la temperatura	70

TITULO: ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE PARAMETROS DE DISEÑO PARA TORRES CONTACTORAS, EN PLANTAS DE DESHIDRATACION DE GAS NATURAL*

AUTOR(ES): Del Toro G. Rafael, García O. José Manuel**

PALABRAS CLAVE: Simulación, Hidrocarburos, Gas, Deshidratación.

DESCRIPCION:

Hoy en día los paquetes de simulación han sido mejorados, los principios de ingeniería, las operaciones unitarias, los paquetes de propiedades termodinámicas, banco de datos compuestos y algoritmos de solución dinámica y estable, han sido integrados en plataformas de simulación comerciales con aplicaciones en interfases de programación ampliamente conocidos, en el cual todas las aplicaciones necesarias funcionan en un ambiente de simulación integrado dentro de una estructura común.

La simulación debe iniciar con la construcción de un modelo conceptual, mediante el cual se determinen los requerimientos básicos del proceso, como equipos, corrientes de materia y energía, accesorios, etc.

Para simular el proceso de absorción y regeneración de una planta de deshidratación de gas natural se deben realizar balances de materia y energía. En este caso se realizaran usando como apoyo un software comercial de procesos (HYSYS).

Una vez construido el modelo conceptual, debe realizarse un ajuste apropiado para que el modelo simule el proceso con la mayor exactitud posible; este ajuste se realiza utilizando datos de campo.

Con el modelo conceptual ajustado al nivel requerido de exactitud se procede a someter el proceso a perturbaciones en sus principales variables de operación con el objeto de conocer el comportamiento de la unidad deshidratadora y medir la respuesta en las variables de control del proceso.

* Trabajo de grado

** Facultad de Fisicoquímicas, Escuela de ingeniería de petróleos, Nicolás Santos

TITLE SENSITIVITY ANALYSIS OF DESIGN PARAMETERS FOR CONTACTOR TOWERS, IN NATURAL GAS DEHYDRATION PLANTS *

AUTHOR(S): Del Toro G. Rafael, García O. José Manuel**

KEY WORDS: Simulation, Hydrocarbons, Gas, Dehydration.

ABSTRACT:

In these days the simulation software has been improve, the engineering principles, the unit operations, the thermodynamics properties packs, composed databases and solutions algorithm has been integrated in platforms of commercial simulation whit application in interfaces of programation widely known, in whose all the necessary applications works in an environment of simulation integrated inside one common structure.

The simulating work has to begin whit the construction of a conceptual model, by which you can determinate the basics requirements of the process, as equips, material an energy flows, accessory, etc.

For the simulating of the process of absorption and regeneration in the glycol dehydrator plant, balance of material and energy must be developed. In these case these balances would be made using the process simulation software HYSYS.

Once built the conceptual model, an adjust must be made whit the objective of make the most exact approach to the real conditions; we make this adjust using field data.

Whit the conceptual model adjust at the required level of exactitude we proceed to make variations in the main variables in the operation in order to know the behavior of the dehydrator unit an take a measure of the response in the control variable of the process.

* Job grade

** Faculty of Físicoquímicas, School of petroleum engineering, Nicolas Santos

INTRODUCCIÓN

El gas ha venido jugando un papel cada vez mas importante como fuente de energía en la sociedad moderna (aumentando la producción mundial de 2103 billones de metros cúbicos en 1995 a 2876 billones de metros cúbicos en 2006) dadas sus propiedades, como combustible limpio no contaminante, y su notable abundancia en el subsuelo (144,3 trillones de metros cúbicos en 1995 a 181,5 en 2006). Debido a esto es necesario transportar el gas a todos los centros industriales y cada vez mas a los centros urbanos, para ser transportado es necesario acondicionarlo debido a los cambios que se presentan durante su recorrido en variables como la presión y la temperatura los cuales pueden redundar en problemas operacionales de importancia considerable.

El principal proceso de acondicionamiento para el transporte del gas natural es la deshidratación, que consiste básicamente en la remoción del vapor de agua asociado al gas natural desde el yacimiento. El proceso de deshidratación puede ser llevado a cabo mediante tres métodos diferentes: (1) Expansión-refrigeración (2) adsorción y (3) absorción con desecante liquido; de los cuales el mas utilizado en la industria petrolera, por su eficiencia, es el de absorción, utilizando principalmente tri etilenglicol. Para poder llevar a cabo este proceso se requiere la implementación de una planta de deshidratación en la cual se efectúe el contacto gas-glicol y además de esto la recirculación y regeneración del glicol. El equipo principal en la planta de deshidratación es la torre contactora o torre de absorción.

El trabajo de grado que se desarrollara pretende ejecutar un análisis de sensibilidad en los parámetros de diseño de la torre, basado en el software de simulación de procesos, HYSYS. Esto con el fin de determinar las condiciones óptimas para el funcionamiento de la planta y que permita la determinación de criterios de selección para una configuración específica, lo cual genere una mayor eficiencia del proceso de deshidratación.

1. GENERALIDADES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACION

Con el incremento en el uso del gas natural como fuente de energía en el consumo industrial y urbano, las plantas de tratamiento de gas se han visto en la necesidad de manejar grandes volúmenes y disponer de eficientes procesos para abastecer en forma continua la creciente demanda. Una necesidad de las plantas de tratamiento es ser económicamente atractiva, por lo que los costos de operación se deben reducir, manteniendo la calidad del producto dentro de las normas establecidas para su venta.

La automatización de las plantas de tratamiento del gas, es por tanto, una necesidad. Por lo que una herramienta practica y necesaria en la toma de decisiones es un software que simule los cambios que se puedan presentar. En la planta de deshidratación por ejemplo suelen ocurrir cambios en el flujo de gas que llegue a la planta, así mismo la temperatura, la presión de operación, la velocidad de circulación del glicol, la pureza del glicol, la humedad del gas, etc. pueden cambiar presentando un nuevo panorama de trabajo.

En la década de los 90's, el uso del gas natural como fuente de energía en el consumo industrial y residencial, comenzó a incrementarse y por tal motivo, se hizo necesaria la construcción de gasoductos para cubrir la demanda de gas al interior del país. El gas que se transporta por los gasoductos debe ser tratado para disminuir su contenido de humedad, por tal razón se instalan plantas de deshidratación en las zonas donde se produce gas y sea necesario transportarlo largos trayectos.

Con el fin de mejorar el proceso de deshidratación y conocer las condiciones que favorecen la utilización de una configuración especifica en la planta de

deshidratación de gas, manteniendo la calidad del mismo dentro de las normas establecidas para su venta, en el presente proyecto se desarrollara un análisis de sensibilidad en los parámetros de diseño de la torre contactora que se utiliza en algunas plantas del país.

1.2. GAS NATURAL

El gas es un recurso natural no renovable que se encuentra en el subsuelo formando depósitos de gas libre o asociado al petróleo. Fisicoquímicamente el gas es una mezcla de hidrocarburos parafínicos volátiles, constituido principalmente por metano en proporciones entre el 80% y el 90% del volumen en menor proporción se encuentra el etano, propano, butano y los compuestos mas pesados, además el gas natural contiene otros compuestos no hidrocarburos como dióxido de carbono (CO_2), sulfuro de hidrogeno (H_2S), nitrógeno (N_2), vapor de agua, helio, etc.

1.3. CLASIFICACIÓN DEL GAS NATURAL

El gas natural de acuerdo a la forma como se encuentra en el yacimiento.

1.3.1 Gas libre: También llamado no asociado o seco, cuando el pozo solo produce gas natural, no contiene hidrocarburos pesados, por tanto tiene un peso molecular, gravedad especifica y poder calorífico menor que un gas asociado.

1.3.2. Gas asociado: También llamado húmedo, cuando el gas natural se encuentra acompañado por petróleo crudo, antes de tratarlo hay que separar el gas del crudo.

De acuerdo a su composición, el gas natural puede clasificarse como:

1.3.3. Gas agrio: También llamado amargo, cuando contiene cantidades apreciables de sulfuro de hidrogeno (> 4ppm) y por tanto es muy corrosivo. Además puede contener dióxido de carbono (> que 2%) y otros componentes ácidos como mercaptanos, bisulfitos de carbonos y sulfuro de carbonilo (azufre total>17 ppm).

1.3.4. Gas rico: Contiene cantidades apreciables de hidrocarburos recuperables como líquidos. Si un gas contiene GPM (Galones de hidrocarburos (C3+ líquidos por cada 1000 pies cúbicos estándar de gas) superior a 3 se considera rico.

1.3.5. Gas dulce: Contiene concentraciones mínimas de H₂S y CO₂ es menos corrosivo.

1.4. USOS DEL GAS NATURAL.

El gas natural, puede ser empleado en los siguientes procesos:

- Fluido de inyección: Se emplea para el mantenimiento de la presión de los yacimientos, y se usa también como gas de arrastre (gas lift) que se inyecta a los pozos para incrementar la producción.
- Materia prima: Se usa como materia prima en la industria petroquímica, donde se procesa y acondiciona para ser transformado en materias primas de mayor valor agregado tales como etileno, propileno, metanol, aldehído, entre otros.
- Combustible: Se usa como combustible en el sector industrial, para generación termoeléctrica, como GNC (Gas Natural Comprimido) para uso vehicular y uso domiciliario.

En Colombia la explotación de gas se remonta al descubrimiento de los campos de Santander. Exceptuando los campos de gas libre, el gas asociado fue considerado en el país durante muchos años, como un subproducto de la explotación del crudo, y era quemado en las teas de los campos petroleros, pero con los descubrimientos de Chuchupa y Ballena en la Guajira, se cambia esta mentalidad y se comienza a surtir el sector domiciliario e industrial de la costa atlántica con gas natural, y es gracias a este gas que se inicia el suministro al interior del país.

1.5. HIDRATOS DE GAS

1.5.1 GENERALIDADES

Los hidratos pertenecen a un grupo de compuestos químicos denominados clatratos. Un clatrato es un compuesto que existe en forma estable, aun cuando no es el resultado directo de una combinación química de las moléculas constituyentes.

Los hidratos son compuestos cristalinos de inclusión que tienen apariencia de hielo y están constituidos por agua y gas. Sin embargo, existen a temperaturas más altas que el punto de congelación del agua pura, bajo condiciones apropiadas de presión.

Entre los problemas asociados con la formación de hidratos se encuentran la reducción del diámetro y aumento de presión en las líneas que transportan mezclas multifásicas, fallas en los compresores, pérdidas de eficiencia en los equipos de intercambio de calor, alteración en los sistemas de medición y taponamiento en válvulas y expansores.

Los recientes descubrimientos de grandes reservas de gas natural en forma de hidratos en las regiones árticas han animado a los investigadores a estudiar los hidratos como fuente de gas y como medio de almacenamiento del mismo.

1.5.2. ESTRUCTURA CRISTALINA

Estructuralmente un hidrato se forma cuando los intersticios entre moléculas de agua líquida son ocupados por moléculas de gas, del tamaño del intersticio depende el tamaño de la molécula de gas que entra a ocuparlo. Experimentalmente se había encontrado que moléculas de hidrocarburo con cinco o más átomos de carbono no formaban hidratos por causa de su tamaño. No obstante estudios recientes señalan que estas moléculas posiblemente si participan en la formación de hidratos con estructuras tipo H. los principales formadores de hidratos son: Metano, etano, propano, isobutano, n-butano, ácido sulfhídrico y dióxido de carbono.

Se han logrado identificar tres estructuras diferentes para los hidratos: estructura tipo I, estructura tipo II y estructura tipo H.

Tabla 1. Tipos de estructuras cristalinas de los hidratos

ESTRUCTURA	FORMA	NUMERO DE CAVIDADES	OCUPACION MAXIMA	OCURRENCIA
TIPO I	Cuerpo cúbico centrado	46 moléculas de agua formando 2 cavidades pequeñas y 6 cavidades grandes	8 moléculas de gas	Típica de gases naturales con moléculas más pequeñas que el propano: Océanos profundos.
TIPO II	Diamante dentro de estructura cúbica	36 moléculas de agua formando 16 cavidades pequeñas y 8 cavidades grandes	24 moléculas de gas	Equipos de producción, resumideros de gas, ambientes oceánicos poco profundos.

TIPO H	Esta siendo investigada, se sabe que cuentan con cavidades más grandes que las de tipo I y II. Son típicas de n-butano. Posee 34 moléculas de agua por 6 moléculas de gas. Puede albergar moléculas grandes tales como el iso-pentano.
---------------	--

No es necesaria la ocupación de todas las cavidades por moléculas de gas pero existe un porcentaje de ocupación mínimo para que la estructura sea estable.

La formación de hidratos de una u otra estructura depende de las condiciones de presión y temperatura, de la naturaleza de las moléculas de hidrocarburo y de la relación de tamaño entre las cavidades o intersticios de las moléculas de agua (molécula base) y de las moléculas de hidrocarburo (molécula huésped). En general moléculas pequeñas como el metano y etano forman hidratos de estructura tipo I, mientras que moléculas más grandes como el propano prefieren estructuras tipo II.

1.5.3. FACTORES QUE AFECTAN LA FORMACIÓN DE HIDRATOS

La condición mas importante para la formación de hidratos es la coexistencia de moléculas de hidrocarburo y agua líquida en un sistema a condiciones de presión y temperatura apropiadas. Los principales factores que promueven la formación de hidratos son:

- **Composición de la fase gaseosa.** Se ha demostrado que cuanto mayor sea la densidad del gas mas fácilmente se formaran los hidratos, es decir, en gases con alto contenido de compuestos intermedios (C3, iC4 y nC4) los hidratos se forman a temperaturas más altas y a presiones mas bajas.
- **Salinidad del agua.** A medida que la salinidad aumenta se reduce la temperatura de formación de hidratos a razón de 5 a 6 ° F por cada 100000 ppm de sales disueltas. Este fenómeno es similar al descenso del punto de

congelación del agua pura ocasionado por la presencia de un soluto. Lo anterior implica que para una composición y temperatura dada un incremento en la salinidad aumenta las presiones de equilibrio de hidratos.

- **Presencia de una fase hidrocarburo líquida.** La presencia de hidrocarburos líquidos junto con la mezcla gaseosa y el agua produce una disminución en la temperatura de formación de hidratos. Esta disminución parece depender del peso molecular de la fase hidrocarburo líquida para compuestos iso-alcanos, n-alcanos, y aromáticos. Lo anterior puede explicarse por la solubilidad selectiva de los hidrocarburos gaseosos dentro de los hidrocarburos líquidos. En la medida en que los gases que se disuelven en la fase hidrocarburo líquida sean formadores de hidratos, como el propano, el equilibrio ocurrirá a temperaturas más bajas.

Existe un efecto de saturación a medida que aumenta el volumen de la fase hidrocarburo líquida, esta saturación depende de la sustancia líquida misma. La disminución en la temperatura de formación de hidratos ocasionada por la fase hidrocarburo líquida es aproximadamente 20 veces menor que la producida por un inhibidor convencional. El valor de esta disminución aumenta cuando disminuye el peso molecular y aumenta el volumen de hidrocarburo líquido.

Otras consideraciones importantes son:

- Bajas temperaturas
- Altas presiones: A mayor presión, mayor temperatura de formación de hidratos
- Presencia de dióxido de carbono y ácido sulfhídrico: estos compuestos aumentan la temperatura de formación de hidratos a una misma presión, debido a la capacidad de retener agua.

- Alta gravedad específica del gas.
- Agitación del sistema: Ayuda a que el sistema alcance rápidamente la estabilización.

1.6. CONTENIDO DE AGUA DE UNA MEZCLA DE HIDROCARBUROS

La presencia de agua en la composición del gas natural tiene poco efecto sobre el comportamiento de fases del hidrocarburo pero involucra factores importantes. El agua es prácticamente insoluble en hidrocarburos, como consecuencia de esto, se alcanza un equilibrio cuando la presión parcial del agua dentro de la fase gaseosa es igual a la presión de vapor del agua a la temperatura del sistema, de lo anterior se deduce que el punto de rocío del agua es diferente del punto de rocío del hidrocarburo.

La depresión del punto de rocío en un gas es la diferencia en grados Fahrenheit entre la temperatura del gas de entrada a la cual el vapor de agua comienza a condensar y la temperatura del gas de salida a la cual el vapor de agua comienza a condensar. La depresión del punto de rocío se efectúa mediante la deshidratación del gas.

En un sistema de gas natural se debe remover el agua presente para prevenir la formación de hidratos y para cumplir requisitos del punto de rocío estipulados en los contratos de venta. El gas natural puede contener cantidades considerables de vapor de agua, especialmente a temperaturas altas y presiones bajas. Aunque el contenido de agua en el gas depende de la composición, para los gases transportados por líneas (normalmente gases pobres y dulces) se puede decir que este es función de la presión y temperatura.

1.7. DESHIDRATACIÓN DEL GAS NATURAL

Debido a la cantidad de agua que contiene el gas es necesario someterlo a un proceso de deshidratación la cual se define como el proceso de remover el vapor de agua que esta asociado al gas, el vapor de agua es probablemente la impureza indeseable más común en un flujo de gas.

Propósito del tratamiento de deshidratación

El propósito del tratamiento de una mezcla de gas de producción es asegurar que cumpla las especificaciones de calidad requeridas para poder ser comercializado. Cuando se considera el diseño óptimo de una planta de gas, la siguiente información debe ser conocida como mínimo:

- Especificaciones del gas de venta
- Rata de producción del gas de venta
- Composición de los fluidos que llegan al separador de entrada, tales como gas y condensado

El usuario final del gas de ventas, antes de firmar cualquier contrato para uso del gas natural en su casa o industria, desea que se le garantice lo siguiente:

- Calidad consistente del gas
- Suministro confiable de gas a la rata de flujo contratada

Por lo anterior, las facilidades para tratamiento tienen que ser diseñadas para poder convertir el gas de producción, en gas de venta de forma tal que cumpla con las especificaciones de calidad, y que dichas facilidades operen sin interrupción.

La deshidratación de gas disminuye la corrosión en tuberías y mejora la eficiencia de flujo ya que reduce la acumulación de líquido en las partes bajas de la línea.

1.7.1. METODOS DE DESHIDRATACION DEL GAS NATURAL

Los métodos de deshidratación de gas mas usados son:

- Expansión-Refrigeración
- Adsorción
- Absorción

Expansión-Refrigeración: En este método el gas se enfría adiabáticamente; al bajar la temperatura se produce condensación de líquido entre los cuales está el agua. Puede utilizarse con o sin inhibidor, el proceso sin inhibidor se utiliza únicamente cuando la caída de presión disponible permite que el agua alcance el punto de rocío requerido sin formación de hidratos.

En este proceso el gas sale del separador de alta presión y pasa por un reductor de presión lo cual ocasiona el enfriamiento del gas por el efecto Joule – Thompson, luego pasa por un serpentín dentro del separador donde se produce la condensación y simultáneamente se le suministra calor para fundir los hidratos que se hayan formado. Finalmente el gas llega a la sección de separación a baja temperatura.

Adsorción: Los materiales que se desean adsorber de una corriente son concentrados sobre la superficie de un sólido; de esta manera la cantidad de material adsorbido es directamente proporcional al área del sólido. Comercialmente los absorbentes son materiales que poseen un área de superficie muy grande por unidad de peso.

Aunque la adsorción puede practicarse con muchos materiales sólidos, la gran mayoría de adsorbentes se derivan de la sílica, la alúmina (incluyendo la bauxita)

o el carbón activado. Los adsorbentes comúnmente utilizados en la deshidratación del gas natural son:

- Sílica gel
- Alúmina activada
- Sílica base-beads
- Alúmina gel ball
- Bauxita activada
- Tamices moleculares

Absorción: La absorción es un fenómeno de transferencia de masa desde una fase gaseosa hacia una fase líquida; esto es posible mediante la adición de un líquido con alta higroscopicidad o facilidad para retirar el agua.

Dos conceptos muy importantes son utilizados para referirse al contenido de humedad del gas y por ende al rendimiento de la unidad:

- Punto de rocío. Es la temperatura a la cual el gas natural se satura con vapor de agua, bajo cualquier presión dada. El agua se condensará si el gas está por debajo de su temperatura de punto de rocío. La cantidad de vapor de agua contenida en el gas a su punto de rocío depende de la presión y temperatura del gas.
- Depresión de punto de rocío. Esta expresión es otra forma de escribir cuánto vapor de agua ha sido removido del gas natural. La depresión del punto de rocío es la diferencia entre la temperatura del punto de rocío del gas de entrada y la temperatura del punto de rocío del gas deshidratado.

Deshidratantes líquidos. La glicerina y el cloruro de calcio fueron los primeros líquidos usados para el secado del gas combustible en la década de 1930. En el otoño de 1936 fue usado por primera vez el dietilenglicol (DEG); para deshidratar

el gas natural; este líquido y su pariente cercano el trietilenglicol (TEG) resultaron ser muy apropiados para tal propósito por su alta higroscopicidad, su excelente estabilidad térmica y química, sus bajas presiones de vapor y su amplia disponibilidad a costos moderados.

Las propiedades físicas de los alcoholes en especial de los alcoholes polihidroxilicos como los glicoles son explicados por la presencia de un grupo muy polar -El grupo OH- en su estructura molecular. El grupo OH tiene un átomo de hidrogeno unido a un átomo muy electronegativo (el oxigeno) lo cual eleva la probabilidad de que se formen puentes de hidrogeno. Los puentes de hidrogeno son los responsables de que los alcoholes presenten alta solubilidad en el agua, puntos de ebullición bastante altos comparados con los hidrocarburos de peso molecular semejante, bajos puntos de fusión y buena estabilidad química y térmica. Estas propiedades hacen de los glicoles buenos agentes deshidratantes para el gas, asimismo facilitan la posterior regeneración del glicol diluido o rico en agua.

Los líquidos desecantes deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Alta afinidad con el agua (higroscópico).
- Bajo costo.
- No corrosivo
- Estabilidad química con los componentes del gas a deshidratar.
- Estabilidad térmica
- Fácil regeneración
- Baja presión de vapor
- Baja solubilidad con los componentes del gas
- Baja tendencia a formar emulsiones y espuma.

2. DESHIDRATACIÓN DE GAS CON GLICOL

La deshidratación del gas natural se define como la remoción del agua en forma de vapor que esta asociado al mismo. El gas requiere deshidratación para evitar la formación de hidratos, reducir la corrosión y asegurar una operación eficiente en las líneas de transporte.

Uno de los métodos más comunes de deshidratación de gas natural es el proceso de absorción, empleando como desecante liquido el glicol. En algunos sistemas de deshidratación se usa el trietilenglicol (TEG) como desecante liquido, debido a su facilidad de regeneración por su alto punto de ebullición, su alta temperatura de descomposición, menores perdidas por vaporización que otros glicoles y menores costos de operación que otros sistemas de glicol.

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DE GAS

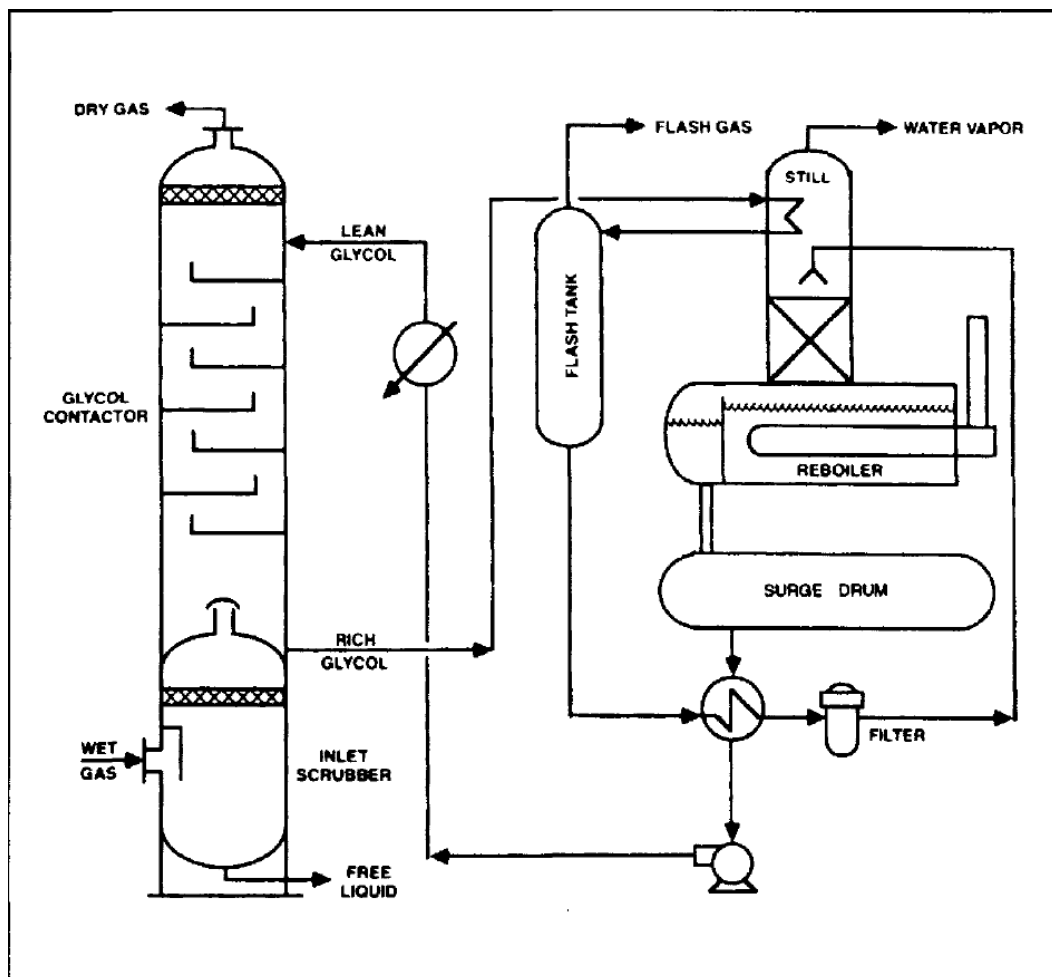
Un buen entendimiento del proceso permitirá un mejor control sobre la operación y sobre la maquinaria utilizada, además de proporcionar el criterio para diagnosticar y dar oportunas soluciones a los problemas que se presenten. El diagrama mostrado en la figura numero 2.1 describe el proceso y el flujo de los fluidos a través de una unidad de deshidratación con glicol.

2.1.1 Flujo de gas: La corriente de gas húmedo entra primero a la unidad a través de un separador vertical de gas llamado scrubber de entrada, en donde se remueven los líquidos y sedimentos acumulados en la corriente de gas.

Para este fin, el scrubber consta con un desviador tangencial que induce el flujo circular de los fluidos alrededor de la pared de la vasija generando una separación

centrifuga. Luego el gas húmedo pasa por la parte superior del scrubber a través de una malla metálica que actúa como un eliminador de niebla, la cual no permite el paso de los líquidos remanentes que puedan ser arrastrados. Los fluidos y sedimentos separados caen a un compartimiento de drenaje en el fondo de la vasija y posteriormente son descargados a través de una válvula operada por el control del nivel del líquido.

Figura 1. Diagrama de flujo en una unidad deshidratadora con glicol



El gas húmedo sale por la parte superior del scrubber y pasa a la torre glicol-gas fluyendo hacia arriba, en contracorriente al flujo de glicol. La torre establece la

superficie de contacto entre el gas y el TEG y puede estar compuesta por platos o por un arreglo de empaques que forman una columna empacada, siendo allí donde el glicol absorbe el vapor de agua de la corriente de gas. Por encima de las bandejas o de los empaques hay un espacio abierto dispuesto para la separación de las partículas de glicol arrastradas por la corriente, si se mantiene glicol en la corriente, este es removido por el eliminador de niebla instalado en el tope de la torre.

El gas deshidratado sale por el tope de la torre y fluye por un intercambiador de calor glicol-gas, en él, el glicol pobre que viene del tanque de surgencia es enfriado antes de entrar en la torre, el gas seco sale de la unidad deshidratadora por el fondo del intercambiador glicol-gas.

2.1.2 Flujo de glicol: El glicol seco o pobre es tomado del tanque de surgencia por la bomba de glicol y bombeado al intercambiador de calor glicol-gas a la presión de operación de la contactora. Al salir del intercambiador de calor, el glicol pobre fluye hacia el tope de la torre para empezar a descender desde la parte superior donde se obtiene la máxima deshidratación del gas por el contra flujo del glicol pobre entrante y el gas seco saliente, de allí continua descendiendo y arrastrando el vapor de agua contenido en la corriente de gas.

El glicol húmedo sale por el fondo de la torre y pasa a través de un filtro de alta presión, el cual remueve cualquier partícula sólida extraña que haya sido arrastrada por la corriente de gas a la y luego haya sido atrapada por la corriente de glicol. La ubicación del filtro en este lugar es considerada como la ideal ya que protege la bomba de glicol que es la parte más crítica del sistema debido a su continuo movimiento, el cual es generado por la energía de la corriente glicol-gas circulante.

Luego de ser filtrado, el glicol húmedo pasa a una de las cámaras de la bomba de glicol, donde suministra la energía necesaria para bombear el glicol pobre dentro de la torre. Posteriormente el glicol rico fluye a través de un serpentín dentro del intercambiador de calor del tanque de surgencia, donde es precalentado por intercambio de calor con el glicol pobre caliente que proviene del rehervidor.

La corriente de glicol rico caliente fluye desde el serpentín del intercambiador de calor a un separador de glicol a baja presión que permite la separación del gas y los hidrocarburos líquidos que han entrado en solución.

En este tipo de unidades siempre se va a encontrar cierta cantidad de gas en el glicol rico, debido a su necesidad para el funcionamiento de la bomba. El gas separado sale por la parte superior de la vasija y puede ser usado como suplemento al suministro de gas combustible que requiere el rehervidor. El exceso de gas es descargado por la back pressure valve.

Si la corriente de glicol rico absorbe algún hidrocarburo líquido en la torre, es indispensable un separador trifásico para que el glicol que entre al rehervidor este libre de estos líquidos, ya que su presencia causa pérdidas indebidas de glicol en el venteo de la stripping still (despojadora), los líquidos hidrocarburos desprendidos en el separador son descargados por un controlador de nivel y su válvula de control.

El separador flash esta normalmente equipado con un controlador de nivel de líquidos y una válvula de control, para descargar la corriente de glicol rico a la entrada de la stripping still, la corriente de glicol húmedo caliente y filtrado entra por la parte inferior de la columna de la stripping still, la cual esta empacada y aislada con cerámica. En el tope de la columna hay un condensador de reflujo a condiciones atmosféricas que condensa cualquier vapor de glicol que alcance el tope de la columna. El condensador de reflujo esta también empacado con

cerámica para asegurar que el vapor que sea venteado entre en contacto con las paredes frescas del condensador, garantizando que las posibles trazas remanentes de vapor de glicol sean condensadas y no sean expulsadas con el venteo de vapor de agua.

La corriente de glicol húmedo después de entrar en la columna del *stripping still* fluye hacia abajo, entrando en contacto con la parte caliente del rehervidor, ocasionando el ascenso de los vapores de glicol, agua y gas. El agua tiene un punto de ebullición menor al del glicol, por lo tanto el glicol que asciende se condensa en la despojadora y retorna a la sección del rehervidor. En el rehervidor el glicol debe viajar horizontalmente a lo largo de la caja de fuego para llegar hasta la salida del sobre flujo líquido al extremo opuesto. En este recorrido el glicol es calentado entre 375 °F y 400 °F para remover el vapor de agua en un 99.5% o más.

El glicol concentrado sale del rehervidor a través de un tubo de sobre flujo y pasa al interior del intercambiador de calor glicol-glicol del tanque de surgencia. En este tanque, el glicol reconcentrado caliente es enfriado por intercambio de calor con la corriente de glicol húmedo que esta pasando por el espiral. El tanque de surgencia actúa como un acumulador de líquidos para alimentar la bomba de glicol.

El glicol pobre fluye desde el tanque, pasando por un filtro *strainer* a la bomba de glicol. De la bomba pasa al compartimiento interior del intercambiador tubular de calor glicol-gas hacia arriba a través de el y retorna a la torre glicol-gas.

2.2 ANÁLISIS OPERACIONAL DE UNA UNIDAD DE DESHIDRATACION

2.2.1 FILTRACION – SEPARACION DEL GAS DE ENTRADA

Mientras mas limpio sea el gas de entrada a la torre de absorción, menores serán los problemas de operación. La cantidad de agua líquida diluirá el glicol, bajaría la eficiencia de la torre de absorción, requeriría mayor tasa de circulación de glicol, incrementaría la carga vapor – líquido en la columna de destilación, inunda la columna de destilación y aumentaría grandemente la carga de calor del rehervidor y los requerimientos de gas combustible. El resultado probablemente serían mayores pérdidas de glicol y gas húmedo.

Si los hidrocarburos líquidos estuvieran presentes, estos pasarían a la columna de destilación y al rehervidor. Las fracciones más livianas pasarían hacia el tope como vapor y crearían un peligro de incendio, si estuvieran presentes en grandes cantidades. Los hidrocarburos mas pesados se recogerían en la superficie del glicol en el tanque de almacenamiento y, si no se retiran, podrían eventualmente inundar el sistema. La vaporización súbita de los hidrocarburos contenidos en el vapor puede inundar la columna de destilación e incrementar ampliamente la carga de calor del rehervidor y las pérdidas del glicol.

Se debe planificar y coordinar cuidadosamente el programa de control de corrosión para prevenir la contaminación del glicol. Si el filtro o separador de entrada se sobrecarga, el exceso de fluido pasará hasta la planta. Por lo tanto, se debe pasar el gas proveniente de los pozos de tratamiento lentamente a través de un sistema de tanques de separación en el cabezal del pozo hasta que el inhibidor de corrosión y el transporte de destilados se puedan recoger. No se recomienda abrir al mismo todos los pozos tratados. Esto impedirá que grandes cantidades del líquido proveniente de los pozos entren a las líneas de recolección que van a la planta.

El uso de un buen filtro de entrada es esencial para la eficiencia de la operación de una planta de glicol. El filtro separador puede ser una parte integral de la torre de absorción o un recipiente separado. Si es un recipiente separado, el filtro puede tener una o dos etapas para separar gas y líquido o tres fases para separar gas, hidrocarburos y agua. Este recipiente debe ser lo suficientemente grande para remover todos los sólidos y líquidos libres para impedir que estas impurezas lleguen hasta el sistema de glicol. Se debe inspeccionar ocasionalmente a fondo para evitar su mal funcionamiento.

La línea del líquido de descarga debe estar protegida para evitar su congelación durante el tiempo frío. Esto se puede lograr mediante un serpentín de calentamiento en el depurador o en el separador. El glicol caliente se bombea a través de este serpentín. El flujo se dirige a través del serpentín por medio de válvulas de desvío y de bloqueo.

Si se tiene un separador antes de la planta de glicol provisto con un cabezal de seguridad, o una válvula de alivio de capacidad total, se debe por lo general instalar una válvula de retención en la salida de la torre de absorción para proteger los interiores de la torre.

Algunas veces se necesita un extractor de niebla, que remueva todos los contaminantes mayores del tamaño de un micrón, entre el separador de entrada y la planta de glicol para limpiar el gas de entrada. Este recipiente es particularmente útil cuando están presentes parafinas y otras impurezas en forma de un vapor.

Cuando el gas se comprime apenas antes de la deshidratación, la instalación de un filtro del tipo de aglutinación, colocado antes de la torre de absorción verificara la remoción del aceite del compresor en la forma de vapor. El aceite del compresor

y los destilados pueden cubrir el empaque de la torre tanto en la torre de absorción como en la columna de destilación y disminuir la eficiencia del proceso.

2.2.2 ABSORSIÓN GAS – GLICOL

El proceso consiste en poner en contacto un gas con un líquido que tiene propiedades higroscópicas, es decir, a fin al vapor de agua, presentándose una transferencia de masa entre los dos fluidos, debido a la diferencia de concentración de vapor de agua entre el glicol y el gas.

La torre de absorción contiene bandejas de válvulas o platos de burbujeo para promover un buen contacto gas – líquido. La limpieza es muy importante para prevenir los puntos de rocío altos del gas de venta causado por la formación de espumas y/o el contacto pobre gas- líquido. El taponamiento de las bandejas puede aumentar también las pérdidas de glicol.

Durante un arranque de la planta, la presión en la torre de absorción debe llevarse lentamente hasta el rango de operación y entonces se debe circular el glicol para obtener un nivel de líquido en todas las bandejas. A continuación se debe aumentar lentamente la rata de gas a ser absorbido, hasta que se alcance el nivel de operación.

Si el gas entra en la torre de absorción antes de que las bandejas estén selladas con líquido, puede pasar a través de los tubos de descenso y las capsulas de burbujeo. Cuando existe esta condición y se bombea el glicol hacia la torre de absorción, los líquidos tienen dificultad en sellar los tubos de descenso. En la válvula el líquido será entonces transportado con la corriente gaseosa en lugar de fluir hacia el fondo de la torre de absorción.

El flujo de gas se debe incrementar lentamente cuando se cambia desde una rata baja a una rata alta. Oleadas rápidas de gas a través de la torre de absorción pueden causar la suficiente caída de presión a través de las bandejas para romper los sellos del líquido y/o levantar el glicol de las bandejas, inundando el extractor de niebla e incrementando las pérdidas de glicol.

Cuando se saca de servicio la planta se debe cerrar primero el flujo de combustible. Se debe entonces operar la bomba de circulación hasta que la temperatura del rehervidor baje a aproximadamente 200°F, esta precaución impedirá la descomposición del glicol causada por sobrecalentamiento. La planta se puede entonces parar reduciendo lentamente el flujo de gas para prevenir cualquier choque innecesario en la torre de absorción y en la tubería. La planta se debe presurizar lentamente para evitar excesivas pérdidas de glicol. El deshidratador se debe despresurizar siempre desde el lado corriente abajo (salida de gas) de la torre de absorción.

La válvula de descarga del glicol y el controlador de nivel se deben asentar para la acción de regulación que provea un flujo uniforme de glicol al regenerador. Esto previene el retorno de fluido inyectado que podría inundar el generador y causar pérdidas excesivas de glicol.

La torre de absorción tiene que estar vertical para asegurar el flujo apropiado de glicol en el recipiente y el contacto adecuado entre el gas y el glicol. Algunas veces las bandejas y las capsulas de burbujeo no sellan apropiadamente después de la erección de la torre y se deben inspeccionar si existen grandes pérdidas de glicol. La inspección de los orificios de las bandejas puede ser muy útil cuando se inspecciona o limpia el recipiente.

Algunas veces se necesita instalar absorbentes cuando se produce la condensación excesiva de los hidrocarburos livianos en las paredes del recipiente.

Esto ocurre a menudo cuando se deshidratan los gases ricos, calientes en climas fríos. Estos hidrocarburos muy livianos pueden causar la inundación de las bandejas o la formación de espumas en la torre de absorción y las pérdidas excesivas de glicol en el regenerador.

Se debe prestar atención al extractor de niebla dado que la retención de glicol y el pase a lo largo de las paredes son difíciles de controlar de forma efectiva. El tipo y espesor de las almohadillas de malla se debe estudiar cuidadosamente para minimizar las pérdidas de glicol. Se debe tener cuidado también después de la instalación, para evitar el daño de la almohadilla de malla. La caída de presión máxima a través de la contactora, para evitar daño a la almohadilla de malla, es aproximadamente 15 libras.

2.2.3 INTERCAMBIADOR DE CALOR GAS – GLICOL

La mayoría de las plantas están equipadas con un intercambiador de calor entre el glicol y el gas el cual usa el gas que sale de la torre de absorción para enfriar el glicol pobre que entra a la torre de absorción. Este intercambiador puede ser un serpentín en la cima de la torre de absorción o uno externo. Cuando se tiene que evitar el calentamiento del gas se puede usar un intercambiador enfriado por agua o aire. Este intercambiador puede acumular depósitos, tales como sales, sólidos, coke o goma, los cuales obstruyen las superficies del intercambiador de calor. Estos depósitos pueden reducir la rata de transferencia de calor e incrementar la temperatura del glicol pobre. Esto incrementaría las pérdidas de glicol y haría más difícil la deshidratación. Por lo tanto, este recipiente se debe inspeccionar regularmente y se debe limpiar cuando lo necesite.

2.2.4 ALMACENAMIENTO DEL GLICOL POBRE

El proceso exige el disponer de un tanque para almacenar el glicol regenerado que es bombeado a la torre absorbadora a cumplir su propósito de remover el vapor de agua contenido en el gas a tratar.

El glicol pobre almacenado puede arrastrar gases y vapores por efecto de sus altas temperaturas, lo que hace necesario instalar un venteo en el tanque acumulador para evitar sobre presión y problemas en la operación de la bomba de glicol a la torre absorbadora.

Algunas plantas están equipadas para proveer una protección de gas seco inerte (no oxígeno o aire) en el tanque de almacenamiento. Si se usa una capa protectora de gas, ésta se toma por lo general de la línea de gas combustible. Cuando se usa una copa protectora de gas, puede ser necesario ver que la válvula de la copa de gas, la tubería y el orificio de control de gas estén abiertos para permitir el paso de gas. Solamente se requiere un flujo de gas muy liviano para prevenir que el vapor generado en el rehervidor contamine el glicol regenerado. Este recipiente se debe inspeccionar ocasionalmente para verificar que depósitos de mezcla de sedimentos e hidrocarburos pesados no se estén acumulando en el fondo del recipiente. Se debe también mantener limpio el serpentín del intercambiador de calor para que pueda haber un intercambio apropiado de calor. Esto prevendrá también la corrosión. Chequear el nivel de glicol en el tanque de almacenamiento y mantener siempre un nivel en el medidor de vidrio. Mantener el medidor de vidrio limpio para asegurar un nivel óptimo. Se debe añadir glicol a medida que se bombea del tanque. Es muy útil mantener el record del glicol añadido. Asegurarse que el tanque de almacenamiento no se llene demasiado.

2.2.5 INTERCAMBIADOR DE CALOR GLICOL RICO –GLICOL POBRE

El glicol pobre que ha sido regenerado sale del rehervidor a alta temperatura y transfiere calor con el glicol pobre que sale de la torre absorbadora. Este precalentamiento es necesario para acondicionar el glicol rico a entrar en la regeneradora.

2.2.6 REGENERACIÓN DE GLICOL

El proceso de regeneración de glicol se realiza por medio de la destilación, separación agua – glicol favorecidos por la diferencia de punto de ebullición entre los dos componentes; 225°F para el agua a 10 psig y 404°F para el glicol.

La torre de destilación es por lo general una columna empacada en la cima del rehervidor para separar el agua y el glicol por medio de la destilación fraccionada. El empaque por lo general es un soporte de cerámica Intalox, pero se pueden usar anillos cubiertos de acero inoxidable 304 para evitar la ruptura. La torre por lo general tiene en la cima un condensador atmosférico con aletas para enfriar la neblina del vapor y recobrar el glicol arrastrado.

El condensador atmosférico depende de la circulación de aire para enfriar los vapores calientes. Durante los días extremadamente calientes, puede ocurrir aumento de la pérdida de glicol cuando el enfriamiento es insuficiente en el condensador causando condensación pobre.

Si se usa un regenerador de gas, por lo general se provee un serpentín de reflujo interno para enfriar los vapores. El serpentín de reflujo interno es más crítico cuando el regenerador de gas se usa para prevenir pérdidas excesivas de glicol. Esto se debe a una masa mayor de vapor que sale del regenerador llevando consigo glicol. El reflujo adecuado se provee pasando el glicol rico a través del

enfriador desde la torre de absorción a través del serpentín del condensador en el regenerador.

En la tubería se provee una válvula manual para aislar el serpentín de reflujo. Bajo condiciones normales, esta válvula estará cerrada y el flujo completo pasará a través del serpentín de reflujo.

Algunas veces se puede desarrollar una fuga en el reflujo de glicol en el tope del regenerador. Cuando pasa esto, el exceso de glicol puede inundar el empaque de la torre en la columna de destilación, afectar la operación de destilación y aumentar las pérdidas de glicol. Por esta razón, se debe mantener el serpentín de reflujo en condiciones apropiadas.

El empaque roto o cubierto de polvo puede causar espuma en la solución en el regenerador e incrementar las pérdidas de glicol. El empaque se rompe por lo general por el movimiento excesivo de la capa causado por la vaporización súbita de los hidrocarburos en el rehervidor. El manejar el empaque con poco cuidado cuando se está instalando puede ser causa de que se cubra de polvo. A medida que las partículas se rompen, aumenta la caída de presión a través del regenerador. Esto restringe el flujo de vapor y líquido y es causa de que el glicol se escape hacia el tope del regenerador.

El empaque sucio, causado por los depósitos de mezcla de sal o hidrocarburos alquitranados, causara también la formación de espuma en la solución en el regenerador e incrementara las pérdidas de glicol. Por lo tanto, el empaque se debe limpiar o reemplazar cuando ocurra su taponamiento o se cubra de polvo. Se debe usar como reemplazo el mismo tamaño de empaque existente en la torre.

Durante las ratas baja de circulación, el glicol rico puede formar canales a través del empaque, causando un contacto pobre entre el líquido y los vapores calientes.

Para prevenir la canalización se puede colocar una placa de distribución justo por debajo de la línea de alimentación de glicol rico para dispersar uniformemente el líquido.

El transportar grandes cantidades de hidrocarburos líquidos en el sistema de glicol puede ser muy problemático y peligroso. Los hidrocarburos se evaporarán súbitamente en el rehervidor inundando el regenerador e incrementando las pérdidas de glicol. Los vapores y/o líquidos de los hidrocarburos pesados podrían también desbordarse por encima del rehervidor y causar un peligro serio de incendio. Por lo tanto, como una medida de seguridad, los vapores que salgan del venteo del regenerador deben salir a través de una tubería alejada del equipo de proceso.

La línea de venteo debe tener una pendiente apropiada en todo su recorrido desde el regenerador hasta el punto de descarga para prevenir que los líquidos que se condensan taponen la línea.

2.2.7 REHERVIDOR

Este equipo supe calor para separar el glicol y el agua por destilación simple. En los deshidratadores de campo, el rehervidor por lo general esta equipado con una caja de ignición de fuego directo, usando una porción del gas para combustible. Los deshidratadores en las localizaciones de las plantas grandes pueden usar petróleo caliente o vapor en el rehervidor. En los rehervidores de fuego directo el elemento de calentamiento, por lo general tiene forma de un tubo en U y contiene uno o más quemadores. Se debe diseñar en forma conservadora para asegurar una larga vida de duración del tubo y prevenir la descomposición del glicol causada por sobrecalentamiento. Por lo general, el rehervidor esta también equipado con un control de seguridad de alta temperatura que opera en

automático, para cerrar el sistema de gas combustible en el caso de mal funcionamiento de control de temperatura primario.

El flujo de calor de la caja de ignición, una medida de la rata de transferencia de calor BTU/HR/PC, debe ser suficientemente alto para proveer capacidad de calentamiento adecuada, pero suficientemente bajo para prevenir la descomposición del glicol. El flujo excesivo de calor, da como resultado demasiado calor en un área pequeña, lo que llevara a la descomposición térmica del glicol.

Mantener el piloto de la llama bajo, especialmente en los rehervidores pequeños, par prevenir la descomposición del glicol y la quema del tubo. Esto es particularmente importante en las unidades más pequeñas donde la llama del piloto puede suplir una porción substancial del calor total requerido. Se debe ajustar correctamente la llama para proveer una llama larga balanceada y la punta ligeramente amarilla, es posible obtener una boquilla de gas la cual distribuye la llama más uniformemente a lo largo del tubo decreciendo así el flujo de calor en el área mas cercana a la boquilla sin bajar en realidad la energía en forma de calor totalmente transmitida. Esto evitara el impacto directo y duro de la llama contra el tubo de fuego.

Un mecanismo de parada de la bomba puede prevenir la circulación del glicol húmedo causado por la falla de la llama. También es conveniente contar con un sistema continuo de ignición por chispa, o una bobina de ignición para prender de nuevo el piloto si este se apaga. Limpiar los orificios en los mezcladores de aire y gas y en lo pilotos según sea necesario para prevenir las fallas de los quemadores.

Las temperaturas que se muestran a continuación no se deben exceder en los rehervidores para prevenir la degradación del glicol.

Tabla 2. Temperaturas de descomposición para los glicoles

TIPO DE GLICOL TEMPERATURA TEORICA DE	DESCOMPOSICION TÉRMICA
Etilen	329°F
DiEtilen	328°F
TriEtilen	404°F

Cuando la temperatura del rehervidor se mantiene 10°F en exceso de la temperatura mostrada en la lista de arriba, resultara decoloración excesiva y degradación muy lenta.

Si se deposita coke, productos alquitranados y/o sal en el tubo de fuego, la rata de transferencia de calor se reduce y puede resultar una falla del tubo. El sobrecalentamiento localizado, especialmente donde haya acumulaciones de sal, descompondrá el glicol. Un análisis del glicol determinará las cantidades y tipos de estos contaminantes. Los depósitos de sal se pueden detectar apagando el quemador del rehervidor durante la noche e inspeccionando la caja de fuego. En los puntos donde la sal se deposita en los tubos, se notara una luz brillante, roja fulgurante; estos depósitos pueden causar la quema rápida del tubo de fuego, particularmente si el separador de entrada de la planta es inadecuado y el agua salada entra a la torre de absorción.

El coke y los productos alquitranados presentes en el glicol de recirculación se pueden remover mediante una buena filtración del glicol.

El proceso de calentamiento esta controlado térmicamente y esta totalmente automatizado. Sin embargo, la temperatura del rehervidor se debe verificar ocasionalmente con un termómetro de prueba para estar seguros que se están tomando las lecturas verdaderas. Si la temperatura fluctúa excesivamente cuando

se opera por debajo de la capacidad de diseño, se recomienda reducir la presión del gas combustible. Una temperatura uniforme provee una mejor operación del rehervidor.

Si no se puede aumentar la temperatura del rehervidor como se desea, puede ser necesario incrementar la presión del gas combustible hasta 30 PSI. Si está entrando agua y/o hidrocarburos en el rehervidor desde la torre de absorción, puede que sea imposible aumentar la temperatura hasta que este problema se corrija.

Algunos incendios han sido causados por fuga en la línea de gas cerca de la caja de fuego. La mejor precaución es colocar válvulas y reguladores en la línea de gas a una distancia mínima de la caja de fuego. Si el extintor de llama se diseña apropiadamente, aun fugas severas de gas en la vecindad inmediata de la caja de fuego no provocaran incendios.

Durante el arranque de una planta, es necesario verificar que la temperatura del rehervidor está al nivel de operación deseado antes de dejar pasar el gas a través de la torre de absorción.

Cuando se erige el rehervidor, este tiene que estar horizontal. Una posición que no sea horizontal puede causar que el tubo de fuego se quemé.

2.2.8 GAS DE REGENERACION

Este es un proceso usado para alcanzar muy altas concentraciones de glicol, las cuales no se pueden obtener con la regeneración normal. Esto proveerá la máxima depresión del punto de rocío y mayor deshidratación. El gas de regeneración se usa para remover el agua residual después que el glicol se ha reconcentrado en el equipo de regeneración. Se usa para proveer contacto íntimo entre el gas caliente y el glicol pobre después que se ha removido la mayor parte del agua por destilación. Se han reportado concentraciones de glicol pobre en el rango de 99.5 a 99.9% y depresiones de punto de rocío 140°F y mayores.

Hay varios métodos de introducir el gas de regeneración en el sistema. Un método es usar una bandeja vertical o sección empacada en el tubo conector entre el rehervidor y el tanque de almacenamiento donde el gas absorbe el agua adicional del glicol regenerado. El glicol del rehervidor fluye hacia abajo a través de esta sección, contacta el gas de regeneración para remover el agua de exceso y pasa al tanque de almacenamiento.

Otro método es usar tubos rociadores de gas de regeneración de licor en el rehervidor por debajo de la caja de fuego a medida que el glicol fluye a través del rehervidor, el gas se inyecta en el recipiente y se calienta con el glicol. El gas de regeneración contacta al glicol en el rehervidor y removerá algo del agua adicional. El gas pasa entonces del regenerador a la fosa de desperdicios. El glicol pobre fluye desde el rehervidor hacia el tanque de almacenamiento.

El gas regenerador para la inyección, por lo general se toma de la línea de gas combustible del rehervidor (si es gas deshidratado) a la presión del colector de condensación del combustible. No se recomienda usar aire u oxígeno. El gas de regeneración por lo general está controlado por una válvula manual con un indicador de presión para indicar la tasa de flujo a través de un orificio. La tasa del

gas de regeneración puede variar de acuerdo con la concentración pobre deseada y el método de contacto glicol- gas. La cantidad de gas de regeneración requerida usualmente entre 2 a 10 pies cúbicos estándares por galón de glicol circulado. La rata de gas de regeneración no debe ser demasiado alta, tal que inunde el regenerador y desplace el glicol hacia la fosa. Cuando se usa gas de regeneración es necesario proveer más reflujo en el regenerador para prevenir las perdidas excesivas de glicol. Esto por lo general se provee usando un serpentín condensador de glicol frío en el regenerador.

2.2.9 BOMBA DE CIRCULACION DE GLICOL

Este equipo se usa para mover el glicol a través del sistema puede estar accionada por electricidad, gas vapor y glicol, dependiendo de las condiciones de operación y de la localización de la planta, comúnmente se usa la bomba de gas-glicol.

La bomba accionada por gas – glicol utiliza el glicol rico de alta presión en la torre de absorción para proveer parte de la energía necesaria para su operación. Como la bomba no puede obtener más glicol que el que bombea, se necesita un volumen adicional para que provea la fuerza motriz. Se toma el gas, bajo presión de la torre de absorción, con el glicol rico para suplir este volumen adicional. A 1000 psi de presión de operación en la torre de absorción, el volumen de gas requerido es aproximadamente 5.5 PCS por galón de glicol pobre circulado.

El arranque cuidadoso de una bomba nueva puede ahorrar muchas preocupaciones y pérdidas de tiempo. El prensaestopas de la empaadura de la bomba por lo general esta lubricado solamente por el mismo glicol. La empaadura esta seca cuando la bomba es nueva. A medida que se empapa en glicol la empaadura tiende a expandirse. Si ha sido atornillada demasiado apretada, la empaadura rayara el vástago o bien la empaadura se quemara.

La bomba maneja un fluido que por lo general esta sucio y es corrosivo, esto puede promover la corrosión del cilindro, erosión del sello, daño de los impulsadores, desgaste de la copa o anillo de la bomba y válvulas pegadas o taponadas.

La rata de la bomba debe ser acorde con el volumen de gas que se esta procesando. La velocidad se debe disminuir para las ratas bajas de gas e incrementar para las ratas altas. Estos ajustes proporcionales permiten un mayor tiempo de contacto gas-glicol en la torre de absorción.

Cuando las válvulas de retención de la bomba se desgastan o taponan, la bomba operará normalmente excepto que el fluido no pasara a la torre de absorción.

Una de las fuentes más comunes de perdidas de glicol ocurre en el prensaestopas de la empacadura. Si la bomba fuga uno de los dos cuartos de glicol por día, probablemente la empacadura necesita reemplazo. Por lo general un simple ajuste no recuperará la capacidad de sello. La empacadura se debe instalar enroscada suficientemente fuerte que sea necesario una llave para removerla y entonces regresarla una vuelta completa. Si la empacadura queda demasiado apretada, el pistón se puede rayar y requerir reemplazo.

Por lo general, una rata de circulación de glicol de 2-3 galones por libra de agua a ser removida es suficiente para proveer una deshidratación adecuada. Una rata excesiva puede descargar el rehervidor y reducir la eficiencia de deshidratación. La rata se debe chequear regularmente tomando el tiempo de la bomba para estar seguros que esta operando a la velocidad apropiada. El mantenimiento apropiado de la bomba reducirá los costos de operación.

Si hay circulación insuficiente de glicol, chequear el filtro de succión de la bomba por taponamiento y/o abrir la válvula de purga para eliminar el aire atrapado. Se

debe limpiar con regularidad el filtro de glicol para evitar desgaste de la bomba y otros problemas. Se debe lubricar la bomba según se requiera.

Se recomienda una temperatura máxima de operación en la bomba de 200°F. La vida de la empaadura se extenderá considerablemente si la temperatura se mantiene a un máximo de 150°F, por lo tanto, es necesario contar con suficiente intercambio de calor para mantener el glicol pobre, seco, por debajo de estas temperaturas cuando pasa a través de la bomba.

La bomba es usualmente la pieza de equipo más sobrecargada y abusada en el sistema de proceso de glicol. A menudo, la planta de glicol tiene una segunda bomba lista para entrar en servicio para evitar paros cuando una bomba falla.

2.2.10 SEPARACION FLASH: GAS – GLICOL

Esta es una pieza de equipo opcional, utilizada para recobrar el gas de la bomba accionada por glicol – gas y los hidrocarburos gaseosos provenientes del glicol rico. Los gases recobrados se pueden usar como combustible para el rehervidor y/o gas de regeneración. Cualquier exceso de gas por lo general se descarga a través de una válvula de contra presión. El tanque de evaporación súbita mantendrá los hidrocarburos volátiles fuera del rehervidor. Este separador de baja presión puede estar localizado entre la bomba y el serpentín de precalentamiento en el tanque de almacenamiento. Se puede colocar también entre el serpentín de precalentamiento y el regenerador. El separador usualmente trabaja mejor en un rango de temperatura de 110°F a 130°F. Un separador de dos fases, con un tiempo de retención de por lo menos cinco minutos, se puede usar para remover el gas.

Si los hidrocarburos líquidos están presentes en el glicol rico, se deben usar un separador de tres fases para remover esos líquidos que pueden alcanzar el regenerador y el rehervidor.

2.2.11 ATMOSFERA DE GAS

Se provee para prevenir que el aire contamine el glicol en el rehervidor y en el tanque de almacenamiento. Esto se logra drenando una pequeña cantidad de gas a baja presión hacia el tanque de almacenamiento. El gas se lleva por una tubería desde el tanque de almacenamiento al fondo del regenerador y pasa hacia la cima con el vapor de agua. La eliminación del aire previene la descomposición del glicol por oxidación lenta. También iguala la presión entre el rehervidor y en el tanque de almacenamiento para prevenir la rotura del sello líquido entre estos recipientes en el caso de que ocurra excesiva contra presión en el rehervidor.

3. TORRE DE ABSORCIÓN O TORRE CONTACTORA.

Coloca en contacto el gas natural con el glicol, para que este remueva el vapor de agua asociado al gas. Es un recipiente a presión, de especificaciones rígidas. En las torres de platos usualmente se utilizan de 6 a 8 platos de contacto para puntos de rocío moderados o de 12 a 16 platos para bajos puntos de rocío, en los cuales el gas ascendente burbujea al contacto con el glicol que desciende, a través de capsulas o válvulas.

El gas pierde vapor de agua, volviéndose mas seco a medida que asciende por la contactora, mientras que el glicol se satura de agua a medida que desciende a través de ya sea cada bandeja o el empaque utilizado.

3.1 Torres contactoras de platos.

El material utilizado para la fabricación de una torre contactora de platos se determina por las condiciones de corrosión encontradas. Este material puede ser: Metales vidriados, vidrios, carbón impermeable, plásticos y madera sin embargo, los más utilizados son los metales.

Una torre contactora de platos se compone de dos partes: Extractor de niebla y Platos.

3.1.1 Extractores de niebla

El extractor de niebla esta ubicado en el tope de la torre contactora y cumple la función de eliminar los líquidos (agua e hidrocarburos) de una corriente de gas a alta presión. Un extractor de niebla opera bajo los principios de asentamiento por gravedad, filtración, choque y fuerza centrifuga. Cuando el gas pasa a través del

extractor cambia de dirección varias veces y es centrifugado, provocando que las gotas de líquido se muevan hacia el exterior, donde son retenidas por las bolsas colectoras.

Los extractores de niebla mas utilizados son los de tipo impacto, los cuales pueden ser a su vez de tipo veleta o de alambre entretejido.

El criterio de selección más importante en un extractor de niebla es la velocidad del flujo de gas. Si se manejan altas velocidades de gas se recomienda utilizar los de tipo veleta ya que los de alambre entretejido tienden a inundarse bajo estas condiciones.

3.1.2 Bandejas o platos

Otro de los componentes de la torre son las bandejas o platos de contacto. Generalmente están contruidos de hojas metálicas y si es necesario de aleaciones especiales. Existen tres tipos de platos: los platos de capsulas de burbujeo, los platos de válvulas y los platos perforados. . La elección del tipo de plato a utilizar es usualmente cuestión de costos y de la eficiencia de los platos. Cada plato esta constituido por un derramadero y un vertedero.

El líquido se lleva de un plato a otro mediante los vertederos. Estos pueden ser tuberías circulares o, de preferencia, simples partes de la sección transversal de la torre eliminadas para que el líquido fluya por los platos verticales. Puesto que el líquido se agita hasta formar una espuma sobre el plato, debe permitirse que permanezca un tiempo adecuado en el vertedero para permitir que el gas se separe del líquido, de tal forma que solo entre el líquido claro en el plato inferior.

El derramadero cumple la función de mantener el nivel de glicol por encima de las aperturas en las capsulas de burbujeo. Los derramaderos rectos son los más comunes; los derramaderos de ranuras múltiples en V mantienen una profundidad

del líquido que es menos sensible a las variaciones en el flujo del líquido y en consecuencia, al alejamiento del plato de la posición nivelada; las represas circulares, que son extensiones de las tuberías circulares utilizadas como vertederos, no se recomiendan.

3.1.2.1 Tipos de platos

Las columnas de platos que se utilizan para el contacto líquido-gas se pueden clasificar según el tipo de flujo en sus dispositivos internos de contacto:

1. Platos de flujo cruzado
2. Platos de flujo a contracorriente

El plato de flujo cruzado utiliza un ducto descendente para líquidos y se emplea más que el plato a contracorriente, debido a ventajas de eficiencia de transferencia y al intervalo operacional que es más amplio. La mayor parte de los nuevos diseños de platos de flujo cruzado utilizan perforaciones para dispersar el gas en el líquido sobre los platos. Estos platos perforados se denominan platos de malla o platos de válvulas. Históricamente, el dispersador de gas más común para platos de flujo cruzado fue la capsula de burbujeo. Este dispositivo tiene un sello incluido que impide el drenaje de líquido con bajos flujos de gas.

Los platos a contracorriente son de construcción perforada o ranurada y no necesita ductos descendentes. El vapor y el líquido utilizan las mismas aberturas, alternándose en forma intermitente. La configuración de estos platos es muy simple.

Los distintos tipos de platos tienen diferencias en su capacidad para permitir flujos de gas y líquido. Un plato de malla de flujo cruzado puede funcionar con un flujo reducido de gas hasta un punto en el cual el líquido se drena por las perforaciones y la dispersión de gas es inadecuada para obtener una buena eficiencia. Los

platos de válvula pueden trabajar con índices de gas muy bajos, debido al cierre de las válvulas. Por su parte los platos de capsulas de burbujeo pueden funcionar con flujos de gas muy bajos debido a su dispositivo sellador. Todos los dispositivos tienen un flujo mínimo de gas bien definido por debajo de los cuales no es posible una buena distribución.

3.2 Torres contactoras empacadas

En las columnas empacadas se utiliza el mismo proceso que en las torres de platos, el glicol desciende desde el tope de la torre y cubre los empaques mientras el gas húmedo asciende desde la parte baja de la torre.

El objetivo de los empaques en las torres de deshidratación de gas es incrementar el área de contacto entre los fluidos y así mismo aumentar el tiempo de contacto entre el gas y el líquido, además el empaque genera flujo turbulento de las dos corrientes y se da una mezcla entre las dos fases, estas condiciones favorecen los resultados de un proceso de deshidratación.

El cuerpo de la torre empacada puede ser de madera, metal, porcelana química, ladrillo a prueba de ácidos, vidrio, plástico, metal cubierto de plástico o vidrio, u otro material según las condiciones de corrosión.

A velocidades elevadas del gas, el gas que abandona la parte superior del empaque puede arrastrar gotitas de líquido (glicol) como una niebla. Ésta puede eliminarse mediante extractores de niebla, a través de los cuales debe pasar el gas; los extractores se instalan sobre la entrada del líquido.

El empaque de la torre debe ofrecer las siguientes características:

- Proporcionar una superficie interfacial grande entre el líquido y el gas. La superficie del empaque por unidad de volumen de espacio empacado debe ser grande.
- Ser químicamente inerte con respecto a los fluidos que se están procesando.
- Ser estructuralmente fuerte para permitir el fácil manejo y la instalación.
- Tener bajo precio.

En relación con la capacidad y eficiencia las columnas empacadas se caracterizan por:

- Manejar una alta carga de vapor y más baja carga de líquido que los platos.
- Su eficiencia varía con el tipo y tamaño de empaque.
- La distribución del líquido es difícil en las torres empacadas de diámetro mayor a 3 pies.
- Pueden manejar líquidos corrosivos sin dañar el empaque si es de cerámica.
- Ocasionan una baja caída de presión en los fluidos manejados.

Según el arreglo en que se ubiquen los empaques se clasifican en:

1. Empaques al azar.
2. Empaques regulares o estructurados.

3.2.1 Empaques al azar

Los empaques al azar son aquellos que solamente se arrojan en la torre durante la instalación y que se dejan caer en forma aleatoria. Antiguamente se utilizaron materiales fácilmente obtenibles, por ejemplo, piedras rotas, grava o pedazos de coke, pero aunque estos materiales resultan baratos, no son adecuados debido a

la pequeña superficie y las malas características con respecto al flujo de los fluidos.

Históricamente hay tres generaciones de evolución en empaques al azar:

La primera generación constaba de dos tipos simples, los anillos Rasching, las monturas Berl y los anillos Lessig, La segunda generación (desde finales de los años 50 a principio de los 70) fueron dos geometrías populares; los anillos Pall, los cuales evolucionaron desde los anillos Rasching, y las monturas Intalox, las cuales evolucionaron desde las monturas Berl. La tercera generación (desde la mitad de los años 70 a la actualidad) ha producido una multitud de geometrías, la mayoría de las cuales han evolucionado a partir de las monturas Intalox y los anillos Pall.

Actualmente estos empaques son fabricados en porcelana industrial, que es útil para poner en contacto la mayoría de los líquidos. Los empaques plásticos deben escogerse con especial cuidado, puesto que se pueden deteriorar rápidamente y con temperaturas apenas elevadas. Los empaques de hojas elevadas de metal y de plástico ofrecen la ventaja de ser ligeros.

3.2.2 Empaques regulares o estructurados

Existe una gran variedad de estos empaques. Estos empaques ofrecen las ventajas de una menor caída de presión para el gas y un flujo mayor, generalmente a expensas de una instalación más costosa que la necesaria para los empaques aleatorios. Se fabrican en capas de malla de alambre u hojas corrugadas. Secciones o partes de estos empaques son colocados dentro de la columna.

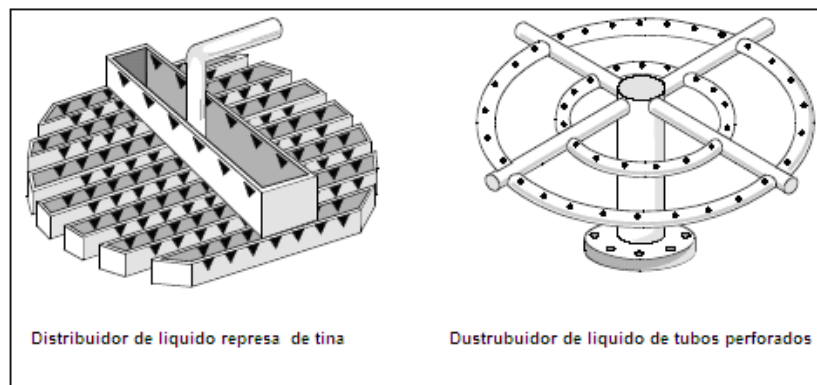
3.2.3 Distribución del líquido en una torre empacada

El éxito de la absorción radica en un buen contacto entre las corrientes de líquido y gas, ningún material empacante distribuirá el líquido por toda la torre por sí solo, pues el líquido tenderá a bajar a través del lecho por el camino más corto que encuentre, para evitar esto el líquido debe ser distribuido en varias secciones de la torre desde antes de ponerse en contacto con el lecho.

Una vez el líquido sea distribuido fluirá por la fuerza de la gravedad siguiendo la trayectoria de menor resistencia. El líquido tenderá a fluir hacia la pared de la torre donde el espacio disponible para el flujo es mayor que en el centro, luego que el líquido toque la pared seguirá en línea recta hasta la parte más baja del lecho. Existe una forma para distribuir el flujo del líquido desde la pared de la torre hacia el centro y es el uso de redistribuidores de líquido.

El líquido puede ser distribuido sobre el lecho por uno de los siguientes dispositivos: distribuidor del líquido de represa de tina (Trough and weir liquid distribution), distribuidor de líquido de tubos perforados (spray).

Figura 2. Modelos de distribuidores de líquido



En el distribuidor del líquido de represa de tina el líquido es introducido en una bebedero con huecos en el tope, el líquido llena la bebedero y se derrama sobre el

empaques. Este dispositivo por ser abierto tiene la ventaja de no formar taponamiento, sin embargo cuando se instala se debe instalar en el nivel adecuado para que genera una distribución regular.

Los tubos perforados dan una muy buena distribución pero son muy susceptibles a taponamiento si existe algún contaminante en el líquido. Los tubos perforados son usualmente enterrados dentro del lecho, así se permite que el líquido saliente de los huecos sea distribuido dentro del lecho sin ser soplado contra la pared de la torre.

3.2.4 Variables que afectan la eficiencia de absorción en una torre empacada

- **Tamaño de los empaques:** los empaques pequeños brindan una mayor área de contacto entre los fluidos en el proceso de deshidratación, por lo tanto mejoran el proceso de absorción. Sin embargo los empaques demasiado pequeños encajan más apretadamente, lo cual disminuye el área abierta entre empaques causando un incremento de la caída presión a través del lecho empacado.
- **Altura del empacamiento:** a mayor altura del lecho empacado existe mayor área de contacto y mayor eficiencia en el proceso de absorción, sin embargo esto requiere un sistema de absorción más grande e incrementa los costos.

4. DISEÑO DE TORRES CONTACTORAS

4.1 Diseño torre contactora de platos

Existen diferentes metodologías desarrolladas para realizar el diseño de una torre contactora. En el caso de las torres de platos se tienen dos metodologías propuestas, metodología SIVALLS y metodología GPSA.

Para diseñar una torre contactora de platos para deshidratación de gas, es necesario conocer ante todo la siguiente información, concerniente a la corriente de gas a deshidratar:

- Tasa de flujo de gas (MMSCF)
- Gravedad específica del gas
- Presión de operación (Psi)
- Temperatura del gas de entrada (°F)
- Máxima presión de trabajo en la contactora (Psi)
- Peso molecular del gas

4.1.1 SIVALLS

Diámetro de la torre contactora

La gráfica utilizada para calcular el diámetro de la torre contactora de platos esta basada en unas condiciones de referencia que son: 100°F de temperatura y 0.7 de gravedad específica del gas de entrada. Por esta razón es necesario corregir la capacidad al gas de la torre a las condiciones de operación.

$$G_o = G_s * C_t * C_g$$

Donde:

G_o = Capacidad de gas de la contactora a las condiciones de operación
(MMSCF)

G_s = Capacidad de gas de la contactora a las condiciones estándar (Gravedad Especifica de 0.7 y 100°F), basada en la presión de operación (MMSCF)

C_t = Factor de corrección por temperatura de operación

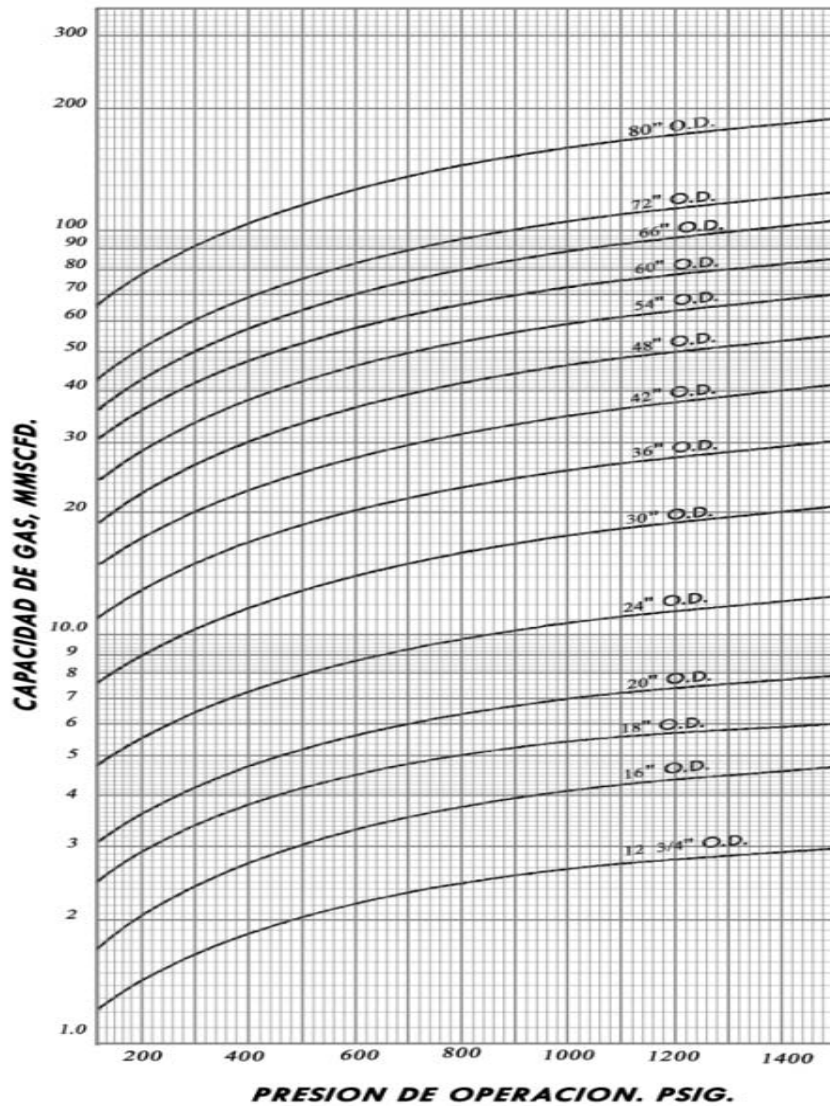
C_g = Factor de corrección por gravedad especifica del gas.

Tabla 3. Factores de corrección para la capacidad al gas en torres contactoras de platos

T(°F) de operación	Factor C_t	GE del gas	Factor C_g
40	1.07	0.55	1.14
50	1.06	0.60	1.08
60	1.05	0.65	1.04
70	1.04	0.70	1.00
80	1.02	0.75	0.97
90	1.01	0.80	0.93
100	1.00	0.85	0.90
110	0.99	0.90	0.88

El diámetro de la torre se calcula con la presión de operación y la capacidad al gas corregida utilizando la figura 3.

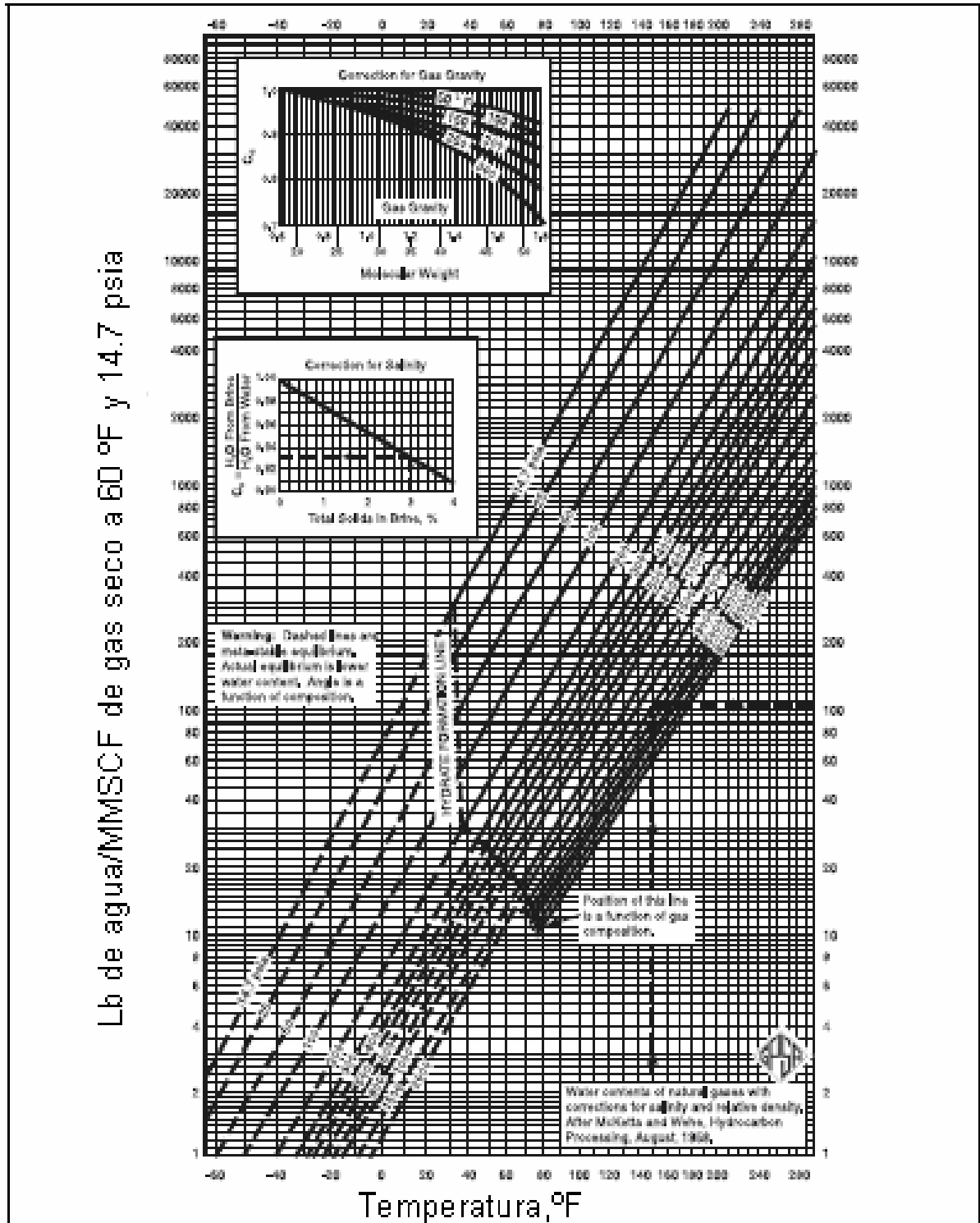
Figura 3. Diámetro de la contactora



El siguiente paso es determinar la depresión del punto de rocío que se requiera para la operación. El punto de rocío a la entrada es la misma temperatura del gas de entrada dado que se asume saturación. A la salida de la contactora el gas debe tener una humedad que es la fijada por las especificaciones de venta, con este

valor de humedad y la presión de operación se calcula la temperatura de rocío a la salida utilizando para esto la figura 4.

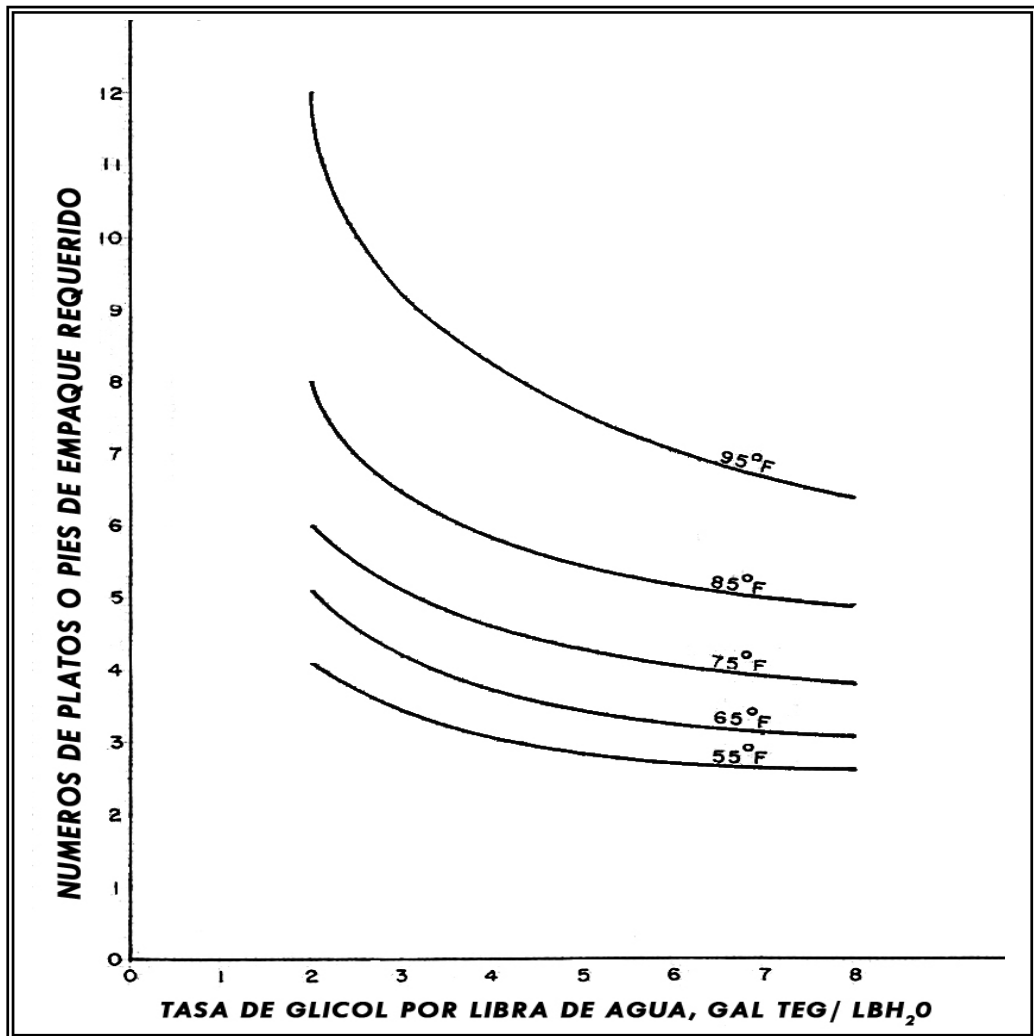
Figura 4. Contenido de agua en el gas



Número de platos reales

Posteriormente se debe determinar el número de platos reales a utilizar en la contactora. Esto puede ser calculado de dos maneras, una es utilizar la grafica mostrada en la figura 5, en la que se utilizan los valores de tasa de glicol por libra de agua a remover y la depresión del punto de rocío para leer el número de platos requerido.

Figura 5. Determinación del número de platos reales



Otra manera de determinar el número de platos reales necesarios para una deshidratación específica, es construir el diagrama de McCabe-Thiele Fig. 6

Figura 6. Diagrama Mc. Cabe para la torre contactora

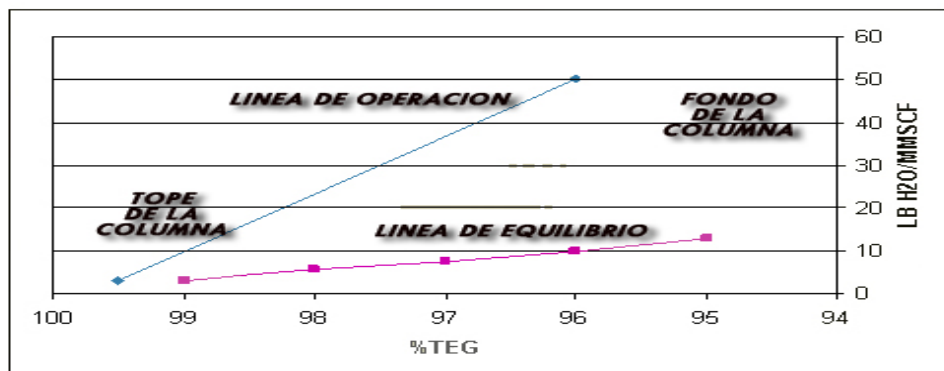


DIAGRAMA DE MC.CABE - THIELE PARA LA CONTACTORA

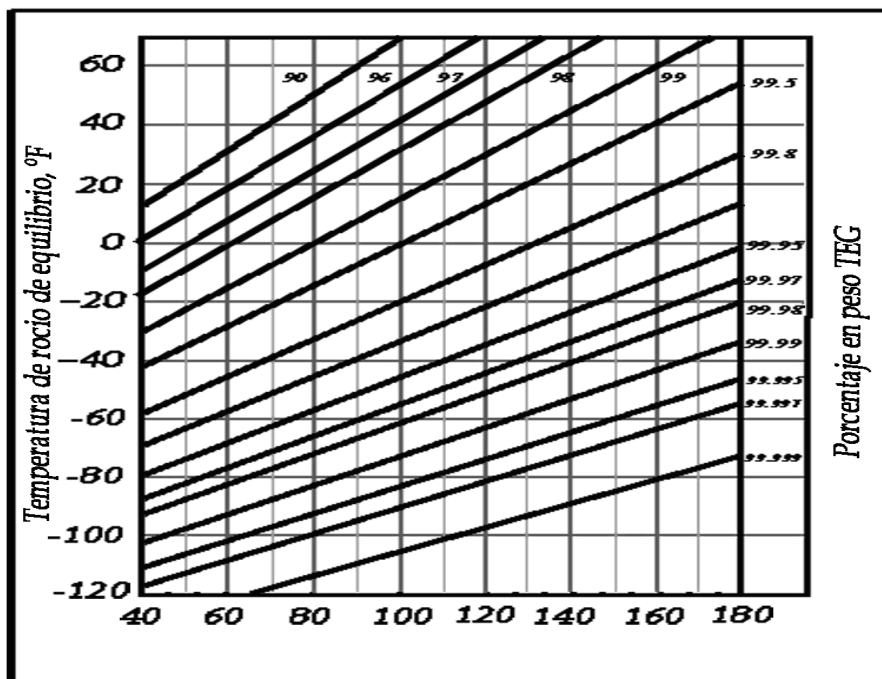
La línea de operación se construye uniendo dos puntos que representan las condiciones de los fluidos en el tope y en el fondo de la columna.

La línea de equilibrio se construye determinando el contenido de agua del gas que estaría en equilibrio con una concentración de TEG, para tal fin se recomienda tabular los datos así:

Tabla 4. Línea de equilibrio diagrama de Mc. Cabe

%W TEG	T(°F) DE ROCÍO	HUMEDAD DEL GAS
99	Figura 7	Figura 4
98	-----	-----

Figura 7. Punto de rocío para soluciones acuosas de TEG Vs. Temperatura de operación



Luego de construir las líneas para el diagrama se realiza una triangulación para determinar el número de platos teóricos, el número de platos reales se determina dividiendo este valor sobre la eficiencia de los platos.

Altura de la torre

Para el cálculo de la altura de la torre se debe tener en cuenta el espaciamento entre los platos, más 6-10 ft adicionales para permitir el retiro de vapor al liquido por encima del plato de cima, distribución del gas de entrada por debajo del plato de fondo, y espacio para coleccionar el glicol rico en el fondo.

En la siguiente tabla se muestran los espaciamentos mas aplicados en la industria.

Tabla 5. Espaciamiento entre bandejas

Diámetro de la torre (ft)	Espaciamiento entre platos (in)
	6 in mínimo
4 o menos	18 -20
4 – 10	24
10 – 12	30
12 - 24	36

4.1.2 GPSA

Diámetro de la torre

La formula para calcular el diámetro de acuerdo a esta metodología es:

$$D = \left(\frac{4 * A}{\pi} \right)^{0.5}$$

Donde A es el área transversal de la torre.

Para conocer el área de la torre se aplica que:

$$A = \dot{m} / G \text{ (ft}^2\text{)}$$

Donde:

A= Área de la contactora (ft²)

m= Flujo másico (lb/hr)

G= Velocidad másica (lb/ft²*hr)

El flujo másico se determina sabiendo que:

$$\dot{m} = q_g * \frac{1 \text{ lbmol}}{379.6 \text{ SCF}} * \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hrs}} * GE * \frac{28.97 \text{ lb}}{1 \text{ lbmol}}$$

Y la velocidad másica es:

$$G = C * \sqrt{\rho_g * (\rho_{TEG} - \rho_g)};$$

La densidad del TEG se calcula usando la tabla de propiedades físicas del TEG en la cual se lee la GE en función de la temperatura.

$$\rho_{TEG} = GE * \rho_{H2O}$$

Tabla 6. Propiedades físicas del glicol

Temperatura (°F)	GE	Viscosidad <i>cp</i>	Btu/lb-F	Conductividad térmica Btu/hr
50	1.134	88	0.485	0.14
75	1.123	56	6.50	0.138
100	1.1111	23	0.52	0.132
125	1.101	15.5	0.535	0.130
150	1.091	8.1	0.55	0.125
175	1.080	6.1	0.57	0.121
200	1.068	4.0	0.585	0.118
225	1.057	3.1	0.60	0.113
250	1.034	1.9	0.635	
300	1.022	1.5	0-65	

La densidad del gas se calcula como:

$$\rho_g = \frac{P * M}{R * T * Z} \text{ (Lb/ft}^3\text{)}$$

El factor C en la formula para la velocidad másica esta determinado según el espaciamiento entre los platos.

Factor de corrección para velocidad másica

	Factor K (ft/seg)	Factor (ft/hr)
<u>Platos con capsula de burbujeo</u>		
Espaciamiento de 20"	0.14	504
Espaciamiento de 24"	0.16	576
Espaciamiento de 30"	0.17	612

Con la velocidad másica y el flujo másico se calcula el área de la torre y con este valor se determina finalmente el diámetro de la misma.

Número de platos reales

El número de platos reales se determina por medio de un análisis grafico. Para poder realizarlo debo determinar el valor de la concentración de glicol requerida y la eficiencia de remoción de agua, además de fijar un valor para la rata de circulación a manejar que generalmente esta entre 2 y 5 Gal de TEG/Lb de agua removida.

Para determinar la concentración de glicol debo hallar la temperatura de rocío del gas a la salida, la cual está determinada por la humedad fijada por las condiciones de venta, y conocer la temperatura de operación de la torre. Con estos dos valores leo en la grafica de la figura 7, el valor de concentración de TEG requerido.

La eficiencia de remoción de agua es:

$$E = \frac{W_{in} - W_{out}}{W_{in}}$$

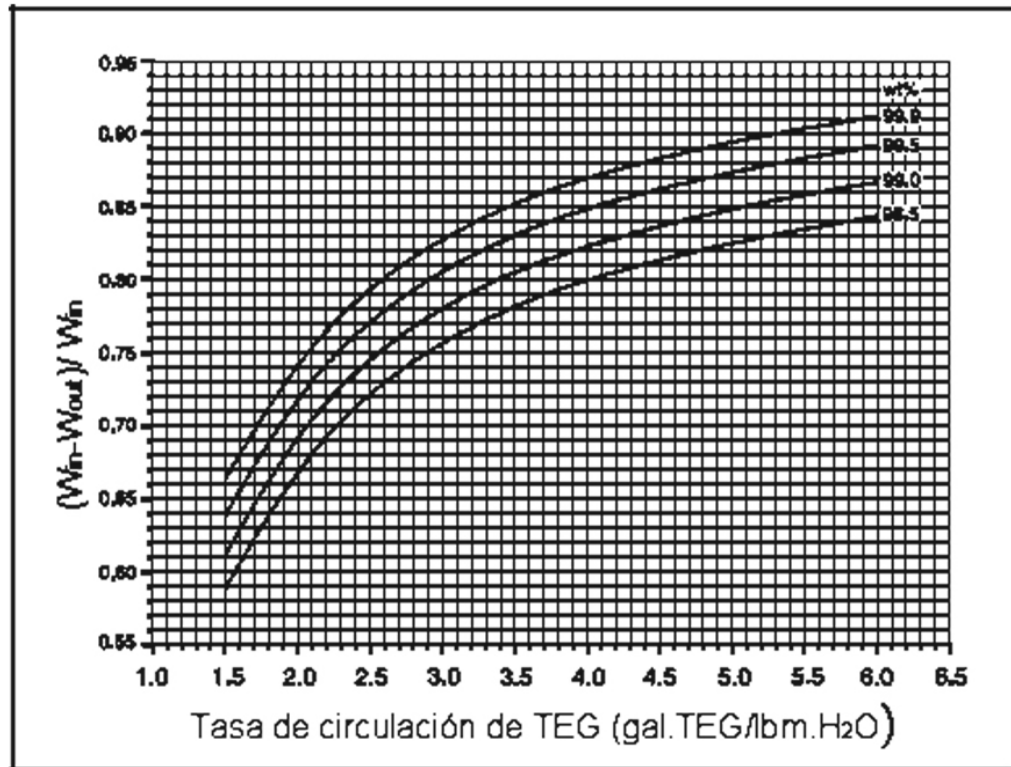
Donde:

W_{in} = agua de entrada a la torre contactora (Lb/MMSCF)

W_{out} = agua que contiene el gas que sale de la torre contactora
(Lb/MMSCF)

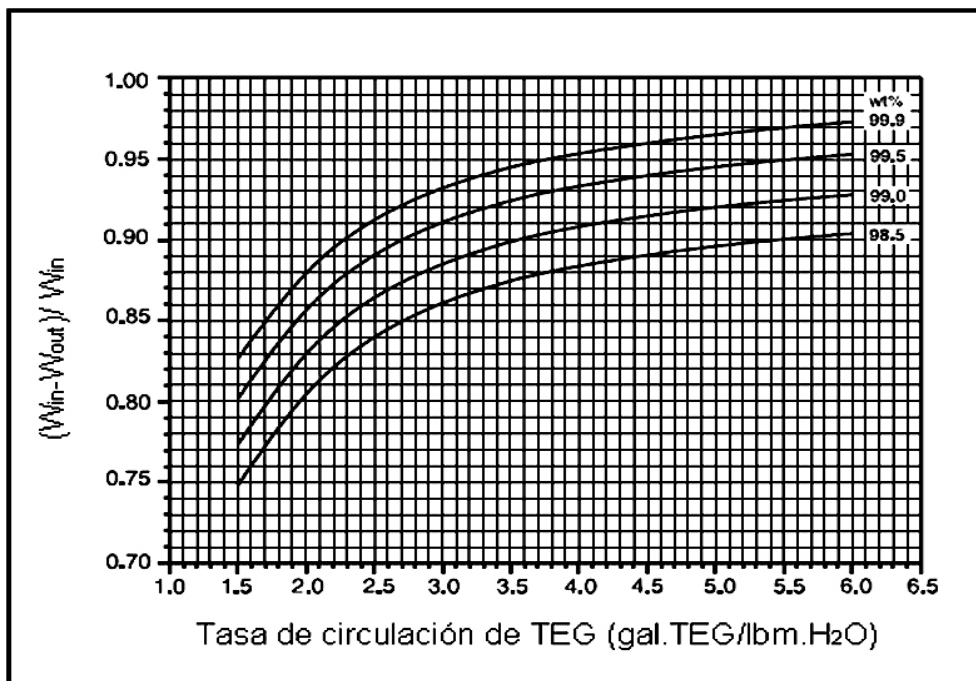
Con la rata de TEG fijada y el valor calculado de concentración se determina el número de platos teóricos necesario para la deshidratación. La grafica debe ajustarse lo más posible al valor calculado de eficiencia.

Figura 8. Numero de platos teoricos



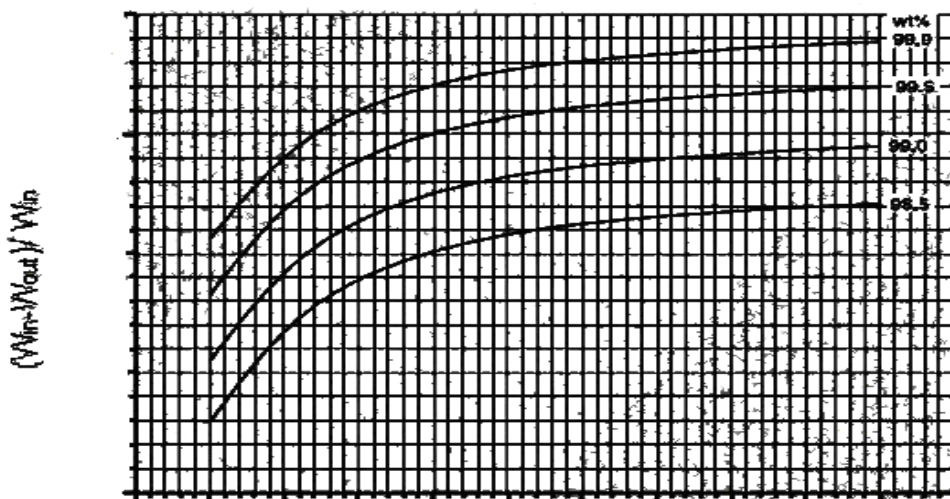
N=1

Figura 9. Numero de platos teoricos



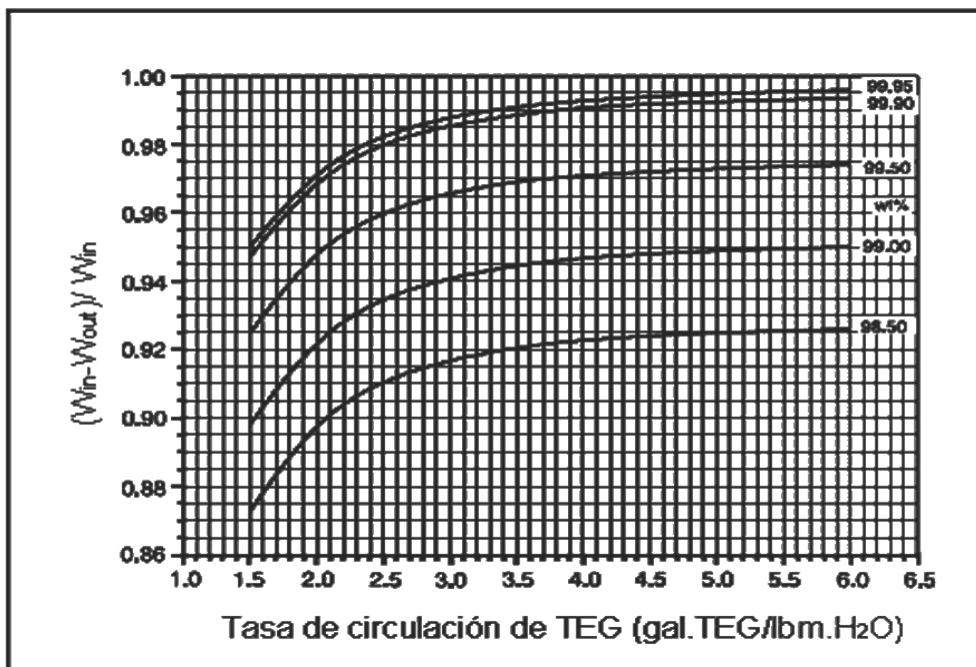
N=1.5

Figura 10. Numero de platos teoricos



N=2

Figura 11 Numero de platos teoricos



N=2.5

Figura 12. Numero de platos teoricos



N=3

Altura de la torre

Para el cálculo de la altura de la torre se debe tener en cuenta el espaciamiento entre los platos, más 6-10 ft adicionales para permitir el retiro de vapor al líquido por encima del plato de cima, distribución del gas de entrada por debajo del plato de fondo, y espacio para coleccionar el glicol rico en el fondo.

4.2 Diseño torre contactora empacada

El diseño de una torre contactora de empaques tiene como guía dos metodologías, una es la propuesta por la GPSA y la otra se encuentra en el desarrollo planteado por McCabe.

4.2.1 McCabe

El proceso de diseño comienza con la realización del diagrama de McCabe-Thiele tal como se indicó para el caso de torres de platos. Por medio de una triangulación se determina el número de platos teóricos, los cuales se transforman en platos reales al dividirlos por la eficiencia de cada plato.

Altura de la torre

El cálculo de la altura de una torre empacada está basado en el concepto de resistencia de las fases. La altura de la torre se toma basándose en la resistencia de la fase gaseosa que se puede expresar así:

$$Z = N_{OG} H_{OG}$$

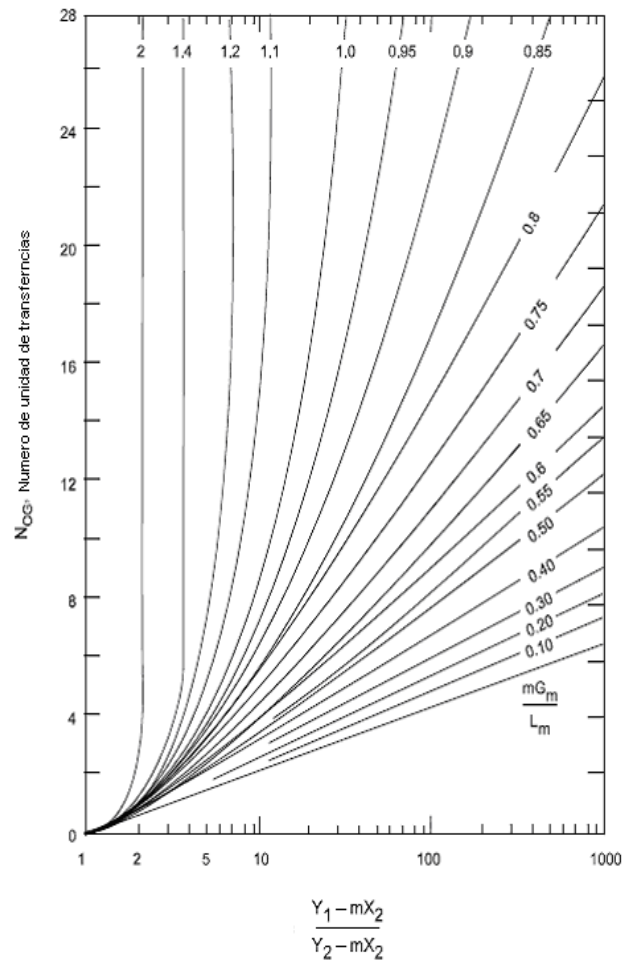
El método consiste en determinar los parámetros N_{OG} y H_{OG} . Que representan en su orden el número de unidades de transferencia y la altura de una unidad de transferencia basada en la resistencia de la fase gaseosa.

La determinación del parámetro N_{OG} se realiza utilizando la ecuación:

$$N_{OG} = \frac{\ln \left[\left(\frac{Y_1 - mX_2}{Y_2 - mX_2} \right) \left(1 - \frac{mG_m}{L_m} \right) + \frac{mG_m}{L_m} \right]}{1 - \frac{mG_m}{L_m}}$$

La ecuación se soluciona gráficamente utilizando el diagrama de colbum.

Figura 13. Diagrama de colbum



Primero se computa el término $\ln\left[\left(\frac{Y_1 - mX_2}{Y_2 - mX_2}\right)\right]$; en donde el valor de m corresponde a la pendiente de la línea de equilibrio en el diagrama de McCabe.

El término $\frac{G_m}{L_m}$ es la pendiente de la línea de operación.

El número de unidades de transferencia se lee en el diagrama de colum.

La altura de una unidad de transferencia se calcula como:

$$H_{OG} = H_G + \frac{mG_m}{L_m} H_L$$

Donde:

$$H_G = \frac{G_m/M}{k_G a P} \quad \text{Y} \quad H_L = \frac{L_m}{k_L a \rho_L}$$

H_L = Altura de la unidad de transferencia de la fase líquida.

H_G = Altura de la unidad de transferencia de la fase gaseosa.

Las correlaciones desarrolladas para calcular los factores k_G y k_L , están en términos de coeficientes de transferencia de masa.

Para la fase líquida:

$$k_L \left(\frac{\rho_L}{\mu_L g} \right)^{1/3} = 0.0051 \left(\frac{L_m}{a_w \mu_L} \right)^{2/3} \left(\frac{\mu_L}{\rho_L \alpha_L} \right)^{-1/2} (aD_p)^{0.4}$$

Para la fase gaseosa:

$$\frac{k_G RT}{a \alpha_g} = C_1 \left(\frac{G_m}{a \mu_g} \right)^{0.7} \left(\frac{\mu_g}{\rho_g \alpha_g} \right)^{1/3} (a D_p)^{-2.0}$$

La expresión para a_w , la superficie mojada del empaque es:

$$\frac{a_w}{a} = 1 - \exp \left[-1.45 \left(\frac{\sigma_c}{\sigma} \right)^{0.75} \left(\frac{L_m}{a \mu_L} \right)^{0.1} \left(\frac{L_m^2 a}{\rho_L^2 g} \right)^{-0.05} \left(\frac{L_m^2}{\rho_L \sigma_c} \right)^{0.2} \right]$$

El cálculo del α_g Coeficiente de difusión de la fase gaseosa se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$\alpha_g = \frac{1.38 * 10^{-7} \sqrt{T^3 \left(\frac{1}{M_g} \right)}}{P(V_g^{1/3})^2}$$

El valor de Z se puede entonces calcular por medio de estas correlaciones y el uso de tablas de tensión superficial y parámetros propios de dichas correlaciones.

Diámetro de la torre

En esta metodología el diámetro es calculado por el mismo procedimiento usado en la metodología SIVALLS para torres contactoras de platos.

4.2.2 GPSA

En este caso la metodología propuesta por la GPSA modifica el procedimiento de cálculo del diámetro de la torre.

Altura de la torre

La altura de la torre se calcula como una equivalencia entre las torres de platos y la altura del empaque por medio de la formula:

Altura de empaque = N * 60 in/plato teórico

En donde el procedimiento de calculo de los platos teóricos es el mismo que se planteo para las torres contactoras de platos.

Diámetro de la torre

- A partir de la figura 13, para la inundación. con la siguiente ecuación encontramos el valor de la abscisa.

$$abscissa = \left(\frac{L}{G} \right) \left(\frac{\rho_g}{\rho_l} \right)^{0.5} = \frac{G_x}{G_y} \sqrt{\frac{\rho_y}{\rho_x - \rho_y}}$$

El valor G` del flujo másico de gas por unidad transversal de área de columna se lee en la figura* (misma) con el valor de la abscisa y el valor de la eficiencia.

$$G' = \left[\frac{(\varepsilon)(\rho_g)(\rho_l)(g_c)}{F\phi\mu_1^{0.2}} \right]^{0.5} = \frac{G_y^2 F_p \mu_x^{0.1}}{g_c (\rho_x - \rho_y) \rho_y}$$

Luego despejamos G_y que es la velocidad másica para la inundación de la ecuación anterior. El termino F_p representa el factor de condensado para

diferentes tipos de empaques, por tanto se realiza la operación con varios factores para poder seleccionar el empaque apropiado.

Calcular el flujo másico de gas

$$\dot{m} = q_g * \frac{1 \text{ lbmol}}{379.6 \text{ SCF}} * \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hrs}} * GE * \frac{28.97 \text{ lb}}{1 \text{ lbmol}}$$

Calcular G' a condiciones de operación

$$G'_{operando} = (f)(G'_{inundado})$$

f= porcentaje de velocidad inundación, 50 o 75 generalmente. Luego calcular el área transversal de la columna a partir de:

$$A = \frac{G}{G'_{operando}}$$

Calcular el diámetro de la columna a partir de la ecuación.

$$d_t = \left(\frac{4A}{\pi} \right)^{0.5} = 1.13A^{0.5}$$

5. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD EN LA TORRE CONTACTORA

5.1 GENERALIDADES

En la década de 1980 se dio en el mundo un gran avance en el desarrollo de la tecnología en computadores y se incorporaron los microprocesadores en sustitución de las tarjetas perforadas que causaban altos costos en los equipos y largos tiempos de cómputo.

Para este momento la tecnología en simuladores estaba en sus inicios y a causa de este avance recibió un impulso que llevo a una nueva filosofía alrededor de la utilización de simuladores.

Estos simuladores surgen con la necesidad de mejorar la producción en procesos que requieren ejecución continua, además de la necesidad de analizar problemas operacionales en plantas existentes o diseñar nuevas instalaciones.

Por naturaleza los procesos industriales son dinámicos. Perturbaciones externas, cambios en condiciones ambientales, vibración en los equipos y degradación de la maquinaria afectan continuamente las operaciones de las plantas. A través de la simulación dinámica se analizan los impactos que tendrán los cambios en las condiciones de operación y modificaciones a los diseños sobre las operaciones de los procesos. Estos análisis son un valor agregado que permiten evaluar la configuración de los procesos y el diseño de los sistemas de control en el manejo de la producción.

Durante la fase de diseño de procesos los ingenieros evalúan numerosas configuraciones para obtener la ruta más económica en la producción. Los análisis de la simulación proveen al ingeniero de la capacidad de identificar posibles problemas operacionales en la fase de diseño, lo cual reduce los tiempos de

mantenimiento en las plantas así como los posteriores y costosos cambios en el diseño de los procesos.

5.1.1 SIMULACION DE LA PLANTA DESHIDRATADORA DE GAS NATURAL CON TEG

La simulación debe iniciar con la construcción de un modelo conceptual, mediante el cual se determinen los requerimientos básicos del proceso, como equipos, corrientes de materia y energía, accesorios, etc.

Hoy en día los paquetes de simulación han sido mejorados, los principios de ingeniería, las operaciones unitarias, los paquetes de propiedades termodinámicas, banco de datos compuestos y algoritmos de solución dinámica y estable, han sido integrados en plataformas de simulación comerciales con aplicaciones en interfases de programación ampliamente conocidos, en el cual todas las aplicaciones necesarias funcionan en un ambiente de simulación integrado dentro de una estructura común.

Para simular el proceso de absorción y regeneración de una planta de deshidratación de gas natural se deben realizar balances de materia y energía. En este caso se realizaran usando como apoyo un software comercial de procesos (HYSYS).

Una vez construido el modelo conceptual, debe realizarse un ajuste apropiado para que el modelo simule el proceso con la mayor exactitud posible; este ajuste se realiza utilizando datos de campo.

Con el modelo conceptual ajustado al nivel requerido de exactitud se procede a someter el proceso a perturbaciones en sus principales variables de operación con

el objeto de conocer el comportamiento de la unidad deshidratadora y medir la respuesta en las variables de control del proceso.

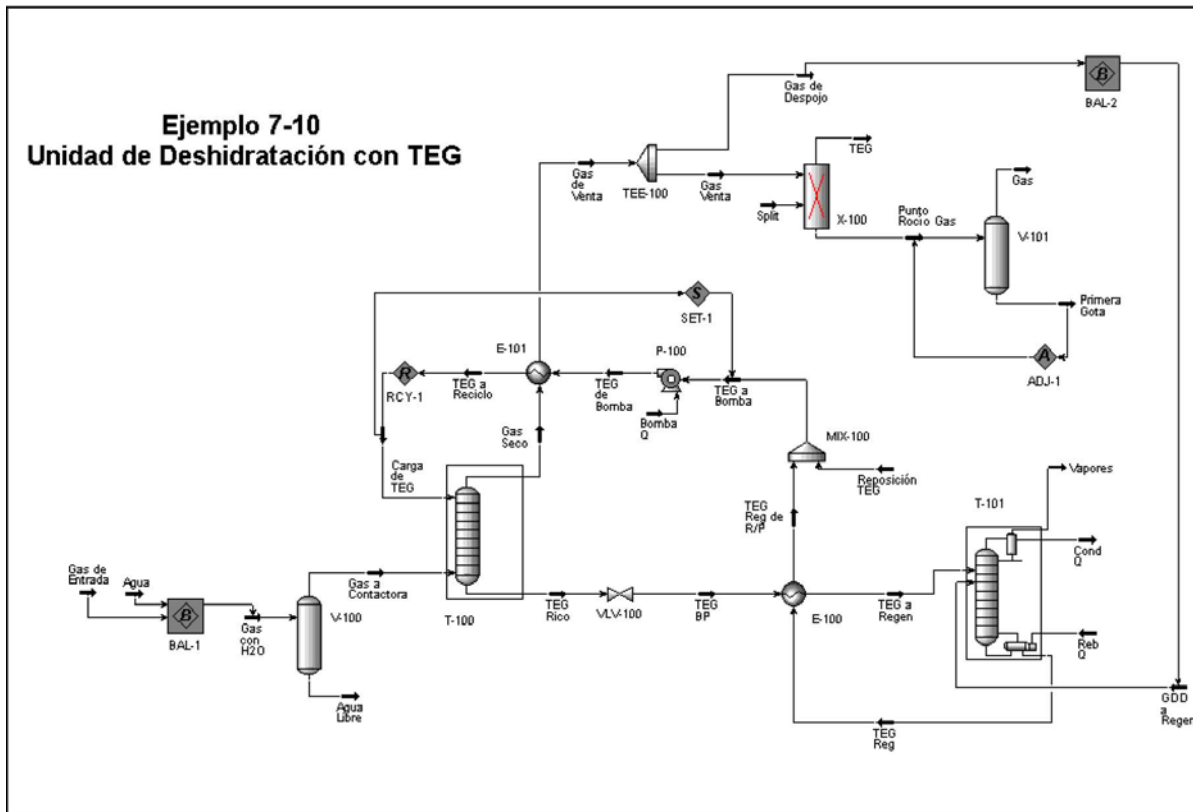
Para efecto de este estudio se clasificaran las variables de proceso de la siguiente forma:

Variables medidas: En el gas de alimento se mide la humedad, la temperatura, la presión y el flujo, en el gas de venta se mide también la humedad, la temperatura, la presión y el flujo. Se mide el flujo, la composición y la temperatura del glicol pobre y del glicol rico. Se mide la temperatura en el rehervidor y el flujo de calor adicionado al rehervidor. Se mide el gas de arrastre inyectado al rehervidor.

Variables controladas: Humedad del gas de venta, temperatura del rehervidor, flujo de gas de arrastre inyectado al rehervidor, la concentración del glicol pobre, el nivel del separador flash.

Variables manipuladas: El flujo del glicol pobre, el flujo de gas de arrastre (dependiendo del esquema seleccionado), el flujo de calor al rehervidor y el flujo del glicol rico.

Figura 14. Modelo conceptual PFD planta de deshidratación de gas natural



Las perturbaciones mas frecuentes que se presentan en el proceso se refieren a la fluctuación de la temperatura y del flujo del gas alimentado a la unidad deshidratadora.

En la tabla 7, se especifican las condiciones del gas de entrada a la unidad de deshidratación de la planta de ballena (guajira Colombia):

Tabla 7. Análisis cromatográfico del gas de entrada

Componente	Fracción molar
CO ₂	0,000407
N ₂	0,015342
C ₁	0,980234
C ₂	0,002729
C ₃	0,000546
i-C ₄	0,000158
n-C ₄	0,000075
i-C ₅	0,000057
n-C ₅	0,00002
C ₆ ⁺	0,000376
Benceno	0,000002
Tolueno	0,000033
Xilénos	0,000021

- Temperatura de operación: 85°F.
- Presión de operación: 1200 psig.
- Peso molecular promedio: 16,34.

5.2 SENSIBILIDAD EN LA TORRE CONTACTORA

5.2.1 Temperatura de gas de entrada

El caso base para la simulación es un sistema de gas natural, saturado con agua a 85°F y 1200 psia. A esta condición de presión y temperatura el gas se satura con 210,8 lbs de agua lo que en 150 MMSCF equivale a una humedad de 32,267lbs

de H₂O/MMSCF. El objetivo de la deshidratación plantea obtener una humedad máxima de 4.0 lbs de H₂O/MMSCF y mantenerla en ese nivel, esto significa que es necesario remover 176,8 lbs de agua.

Basados en el software de procesos (HYSYS) calculamos la cantidad requerida de TEG para cumplir con esta especificación, con la utilización de un ajustador, que es una herramienta que permite fijar el valor de una variable y ajustar otra para que este valor fijado se mantenga.

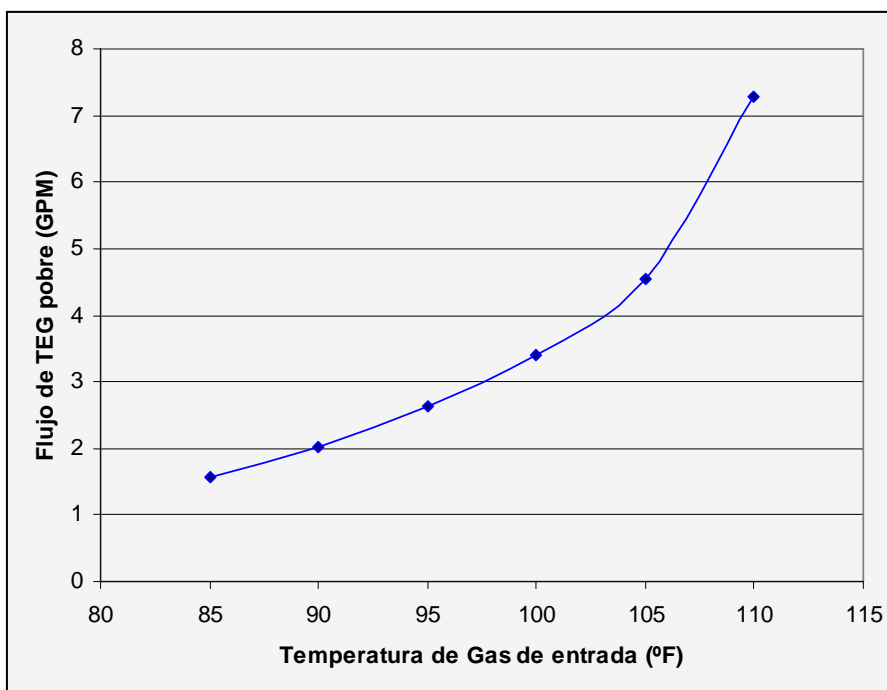
Al variar la temperatura del gas de entrada el efecto es un cambio en la humedad del gas, de tal manera que a mayor temperatura, el gas se satura con una mayor cantidad de agua y viceversa.

El análisis de sensibilidad permite conocer como debe ajustarse el sistema a la nueva condición de temperatura para mantener la humedad del gas de venta en el valor fijado.

Tabla 8. Respuesta a la perturbación en la temperatura.

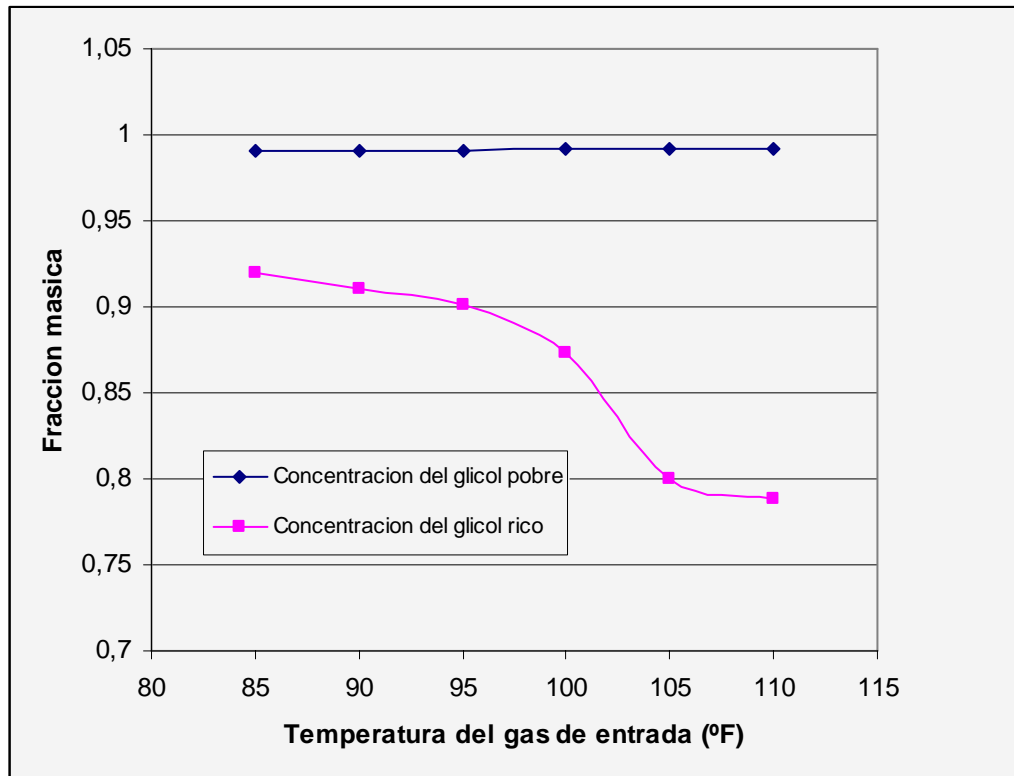
TEMPERATURA	LBS DE AGUA EN G1	HUMEDAD LBS/MMSCF	FLUJO DE TEG1GPM
85	201,8026433	32,28842294	1,568184466
90	234,8446652	37,57514644	2,029431089
95	272,4855774	43,59769239	2,619881466
100	315,2465078	50,43944125	3,407629501
105	363,6930634	58,19089014	4,53394591
110	418,4377682	66,95004291	7,285839691

Figura 15. Variación del flujo de TEG pobre con la temperatura



Los resultados muestran el efecto que tiene el aumento de la humedad en el gas de entrada a la torre absorbidora, es claro que para mantener el valor de humedad del gas de venta en el valor fijado de 4.0 lbs H₂O/MMSCF se necesita un aumento en el flujo de TEG pobre que se ajuste a la nueva necesidad de remover cada vez más libras de agua.

Figura 16. Variación de la Fracción másica de TEG rico y TEG pobre con la temperatura



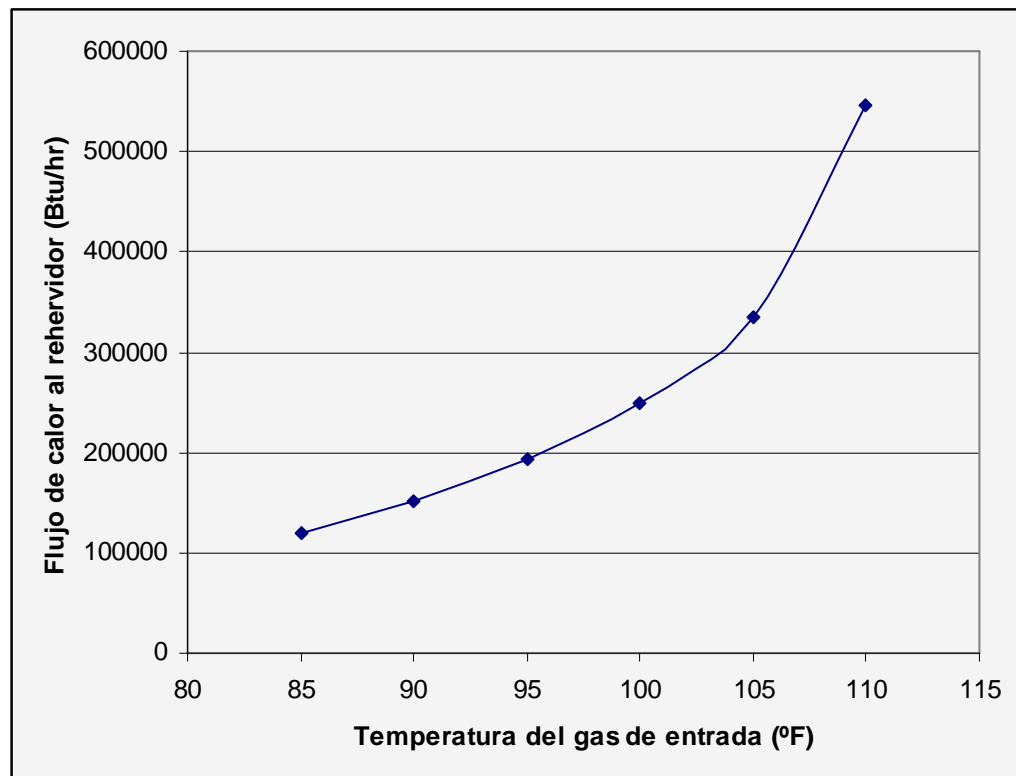
La concentración del glicol pobre se mantuvo en 99,5 % peso, esto es debido principalmente a las condiciones de temperatura en el rehervidor que se mantuvo en 400°F. La concentración del glicol se puede variar si se manipula la temperatura del rehervidor o el flujo de gas de arrastre inyectado al regenerador. En este caso no se utilizó gas de arrastre por lo que la concentración del glicol solo está influenciada por la temperatura.

La concentración del glicol rico disminuye al retirar una mayor cantidad de agua.

Las temperaturas del sistema se ven poco afectadas por la perturbación exceptuando la temperatura del gas de venta que aumenta en relación al aumento de la temperatura de entrada.

Una variable que se ve afectada por la perturbación es el flujo de calor adicionado al rehervidor, debido a que para mantener la temperatura en 400°F debe aumentarse de 119500 a 545382 Btu/hora. El aumento en el flujo de calor se explica en que el flujo de glicol al rehervidor aumenta lo cual representa una mayor cantidad de agua a evaporar (216,64 lbs de agua).

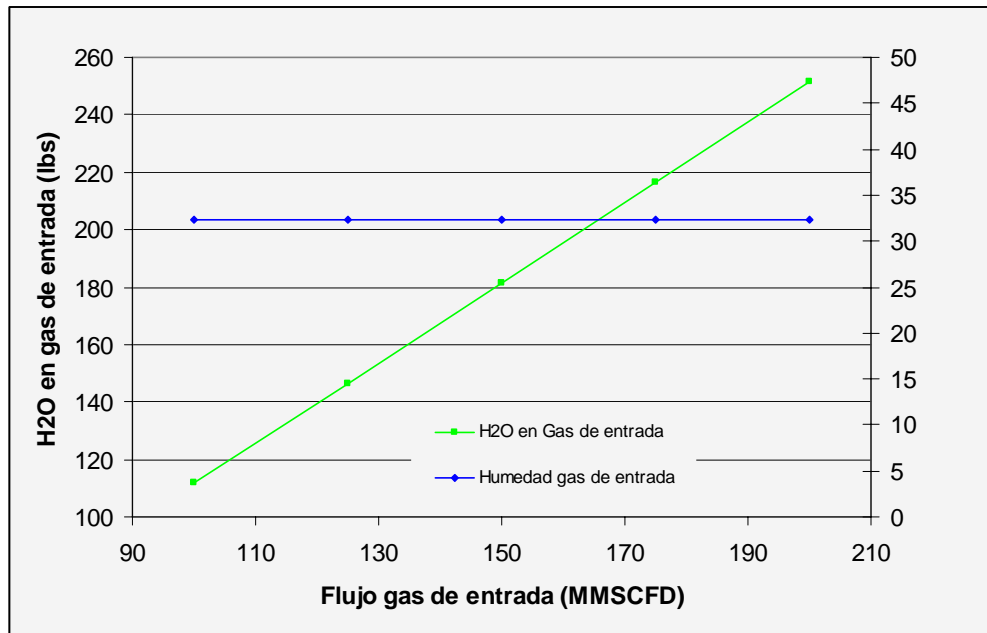
Figura 17. Variación del flujo de calor en el rehervidor con la temperatura de gas de entrada.



5.2.2 Flujo de gas de alimento a la planta

Al variar el flujo molar del gas de entrada se mantiene la humedad en un valor constante de 32,288 lbs de H₂O/ MMSCF, sin embargo se observa un aumento en la cantidad de agua a tratar, producto del aumento en el caudal, este aumento corresponde a tratar 139.8 lbs de H₂O diarias adicionales en el caso de aumentar el flujo de 100 a 200 MMSCFD, como se observa en la siguiente gráfica.

Figura 18. Variación de la presencia de agua en el gas de entrada con el flujo



A continuación vemos la respuesta del sistema ante esta variación.

Figura 19. Variación del flujo de TEG pobre con el flujo en el gas de entrada

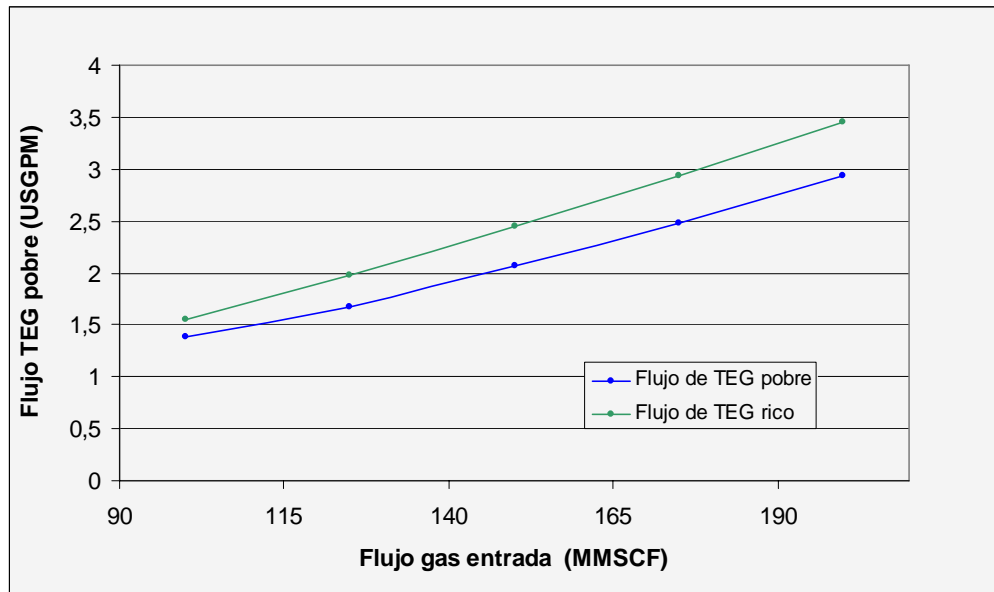


Figura 20. Variación del porcentaje en peso del Glicol rico y pobre con el flujo de gas de entrada.

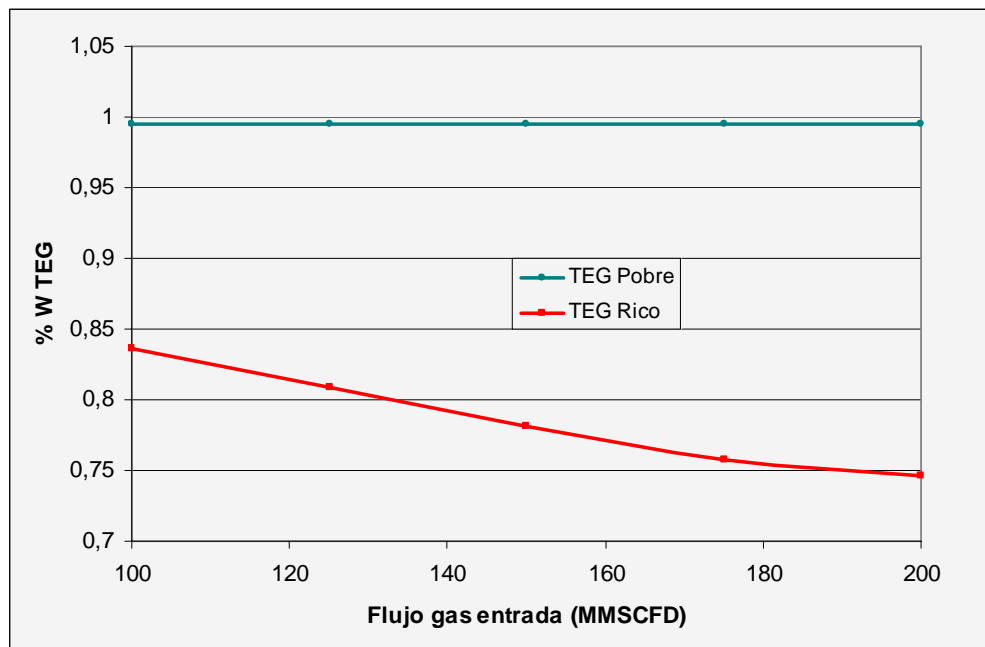
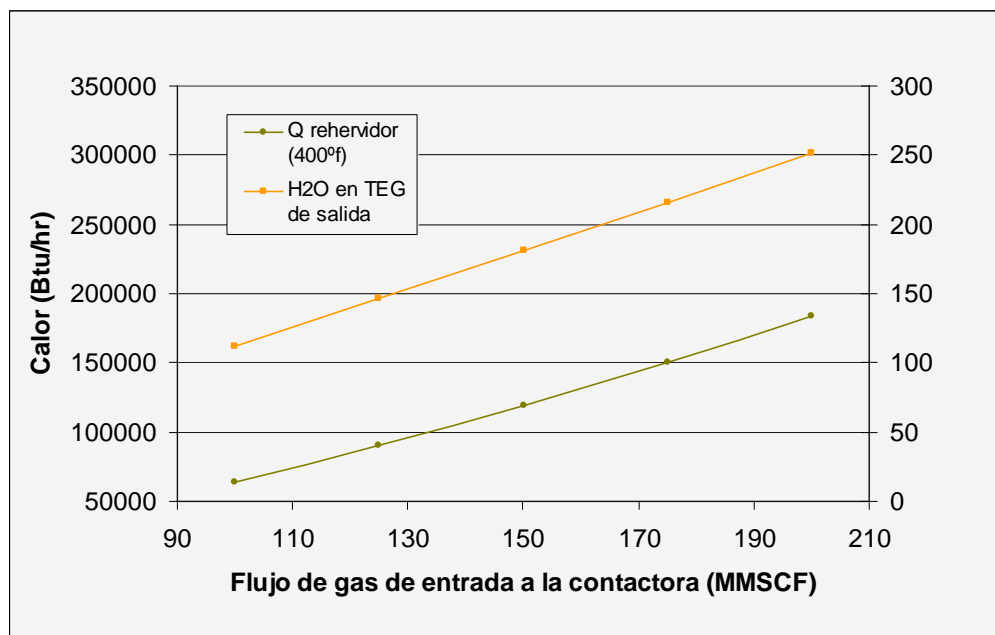


Figura 21. Variación del flujo de calor en el rehervidor con el flujo de gas de entrada.



El aumento en la cantidad de agua en el gas de entrada produce un incremento en el flujo de glicol a la entrada (glicol pobre), necesario para mantener la humedad del gas de venta en el valor fijado de 4.0 lbs de H₂O/MMSCF. La diferencia entre los valores de flujo de glicol a la entrada y a la salida de la absorbidora va aumentando, debido a que el TEG rico lleva consigo una mayor cantidad de agua a medida que el caudal de gas de entrada aumenta.

La concentración de glicol pobre se mantiene constante en un valor de 99,5% peso, esto se debe a que esta variable es afectada principalmente por la temperatura del rehervidor la cual conserva un valor constante de 400° F. La concentración del glicol rico disminuye dado que en esta nueva condición “arrastra” una mayor cantidad de agua con la misma cantidad de glicol pobre a la entrada por etapa.

La concentración del glicol rico disminuye tanto con el aumento en la temperatura de gas de entrada como con el aumento en el flujo de entrada, sin embargo, se puede observar que dicha concentración decrece mucho más con el aumento en la temperatura. Lo cual representa un mayor impacto en el flujo de calor que se necesita adicionar al rehervidor, dado que el flujo molar no influye en la humedad del gas de entrada.

Las temperaturas del sistema se ven poco afectadas por la perturbación y como en el caso anterior se observa una variación en el flujo de calor adicionado al rehervidor para mantener la temperatura en 400° F que pasa de 64108 a 183831 Btu/hora. El aumento en el flujo de calor de 119723 Btu/hora se explica en que aumenta el flujo de glicol rico que pasa de 63,5 a 177,4 GPH, con una concentración mayor de agua.

5.2.3 Presión de gas de entrada a la planta

A temperatura constante el aumento en la presión del gas de entrada significa la disminución de la humedad en esta corriente como se ve a continuación en la figura, sin embargo, en el rango normal de operación, la presión de la planta no es un factor muy crítico, pero cambios bruscos en la presión traen como consecuencia arrastre provocando pérdidas de glicol y daño en los platos del absorbedor.

Figura 22. Variación de la humedad en el gas de entrada con la presión.

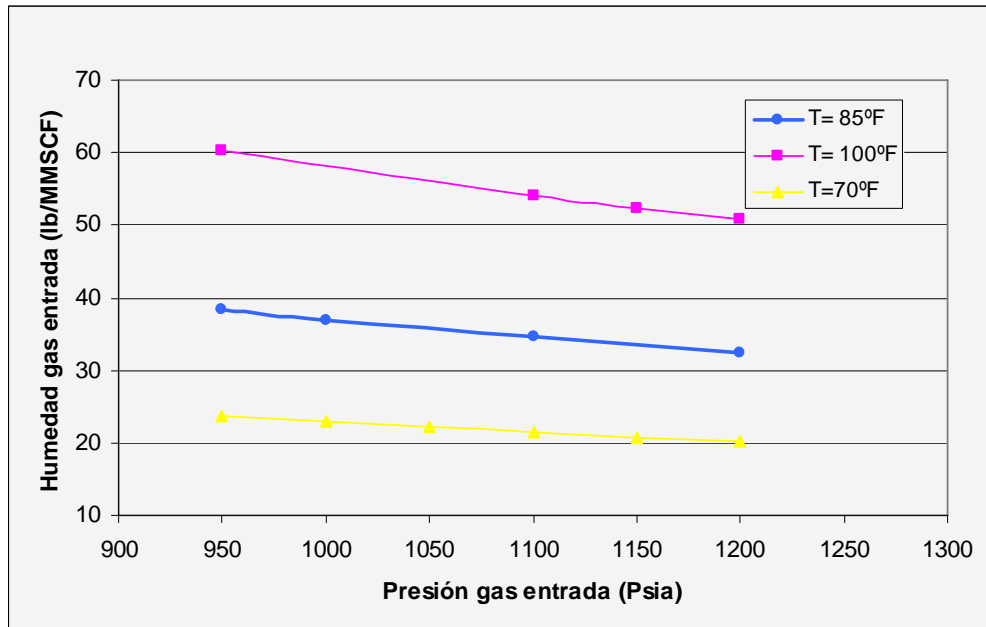


Figura 23. Variación del flujo de Glicol rico y pobre con la presión.

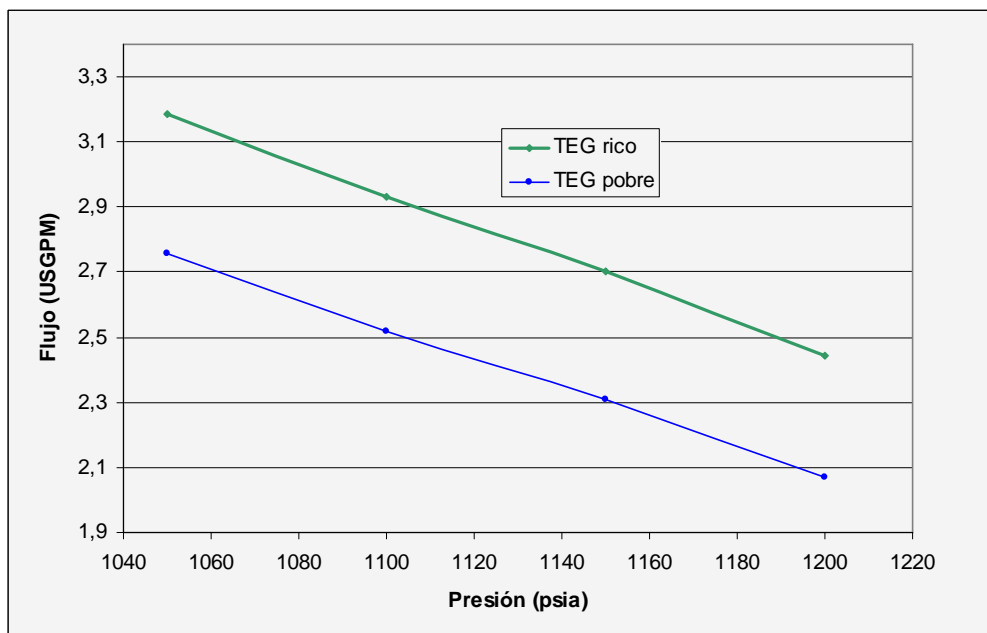


Figura 24. Variación de la fracción másica del Glicol rico y pobre con la presión del gas de entrada.

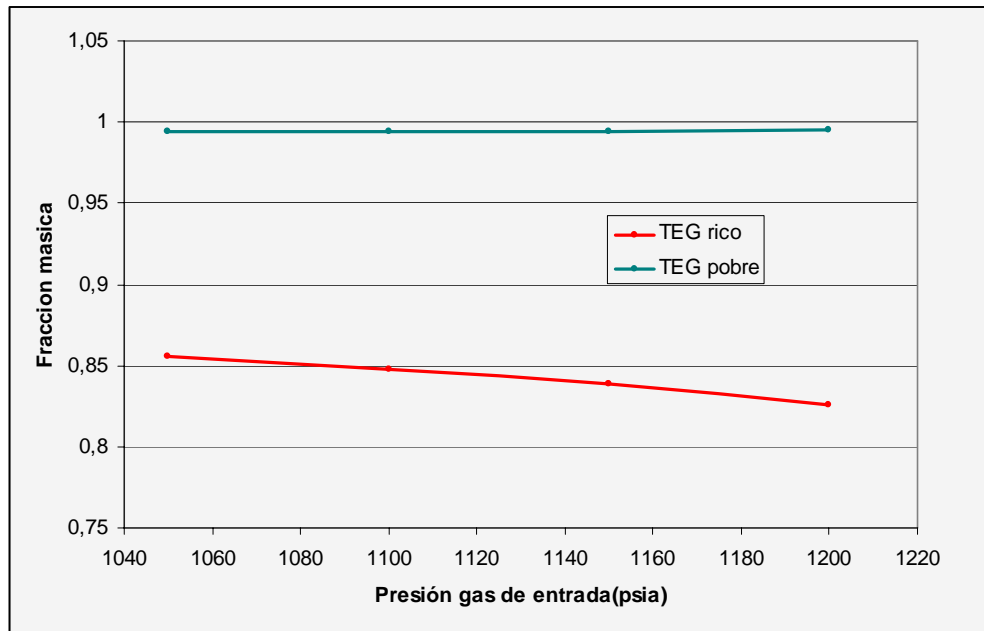


Figura 25. Variación del flujo de calor en el rehervidor con la presión del gas de entrada.

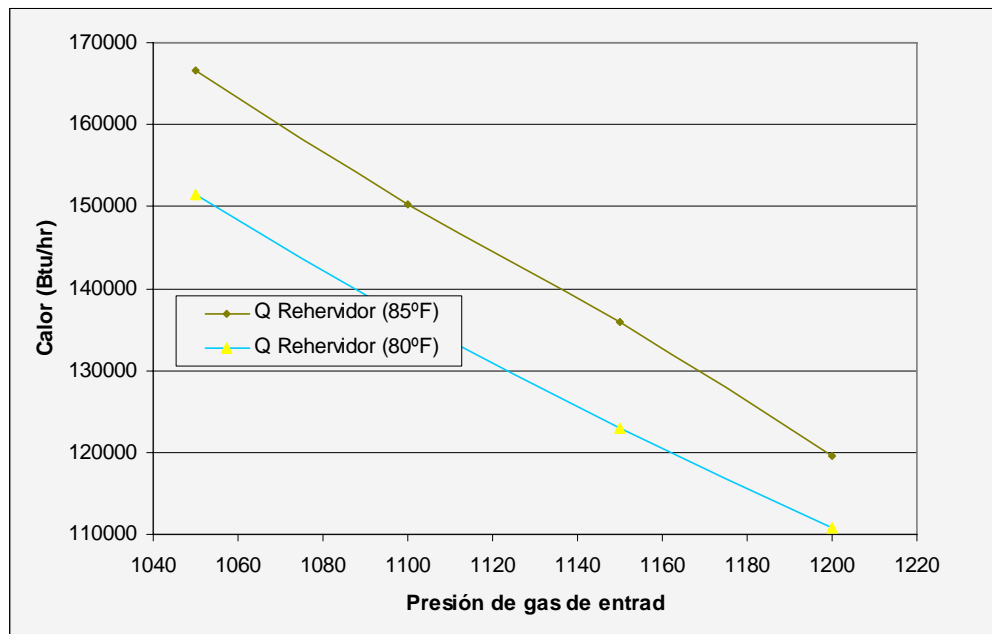
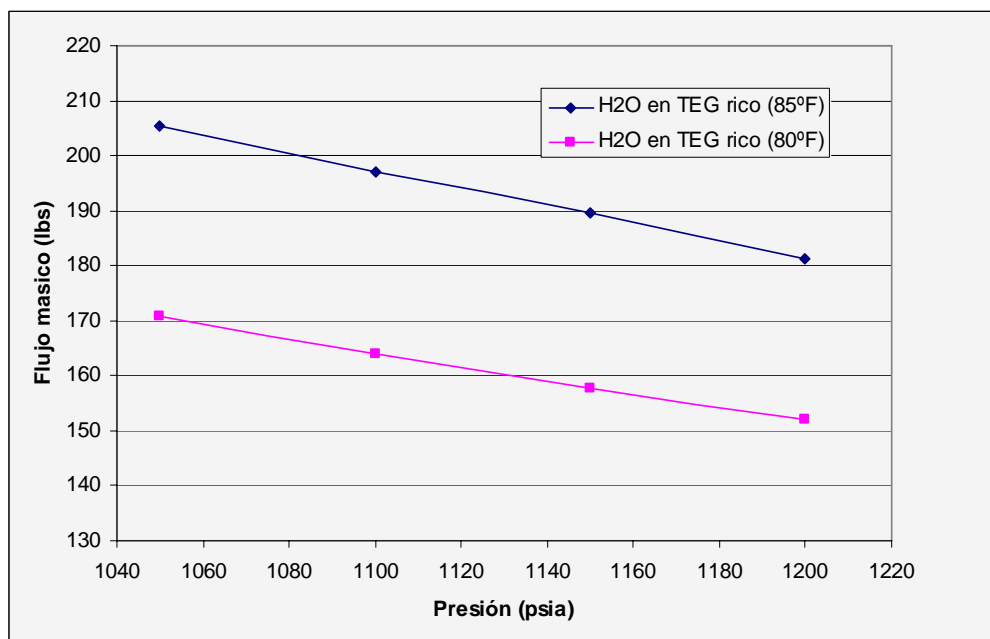


Figura 26. Variación de la presencia del agua en el Glicol rico con la presión



Para mantener una humedad de 4 lbs/MMSCF en el gas de venta el flujo de glicol disminuye con forme se aumenta la presión en el gas de entrada a la torre contactora. Esto es debido a que a mayor presión, el gas de entrada trae consigo menor agua para remover y por lo tanto se necesita menor cantidad de glicol. La disminución en el flujo de glicol pobre y en la cantidad de agua del gas hace que el flujo de glicol rico también disminuya con el aumento de la presión. Esta tendencia se ratifica incluso luego de hacer el análisis a varias temperaturas como es indicado en la figura **22**.

En cuanto a la concentración del glicol pobre se mantiene constante en un valor de 99,5% gracias a que en el rehervidor se mantiene constante la temperatura de 400 °F y se adiciona el calor necesario para mantener esta concentración.

La concentración del glicol rico disminuye desde 85.6% hasta 82.6% cuando la presión aumenta de 1050 a 1200 psia debido a que el flujo de TEG pobre disminuye mucho mas que la humedad del gas de entrada y por lo tanto remueve

mas agua relativa a su flujo para poder mantener constante la humedad a la salida de la torre contactora. Es necesario aclarar que esta disminución en el flujo de TEG pobre es efecto de la simulación, por lo tanto en el manejo de plantas reales este flujo puede ser adecuado a la cantidad de agua que venga con el gas de entrada de tal manera que la concentración del TEG rico se mantenga constante

Como se observa en la Figura 24 la cantidad de agua que lleva el glicol rico va disminuyendo con la presión, por lo tanto la cantidad de calor necesario para evaporar esta agua, manteniendo la temperatura del rehervidor en 400 °F, disminuye desde 166656 a 119498 Btu con el aumento en la presión desde 1050 hasta 1200 psia respectivamente.

5.3 SENSIBILIDAD EN EL REHERVIDOR

5.3.1 Temperatura del rehervidor

Las siguientes gráficas fueron resultado de realizar la simulación de la planta ajustando el flujo de TEG pobre para mantener una humedad de 4 lbs/MMSCF en el gas de venta.

Figura 27. Variación de la fracción másica del TEG pobre con la temperatura.

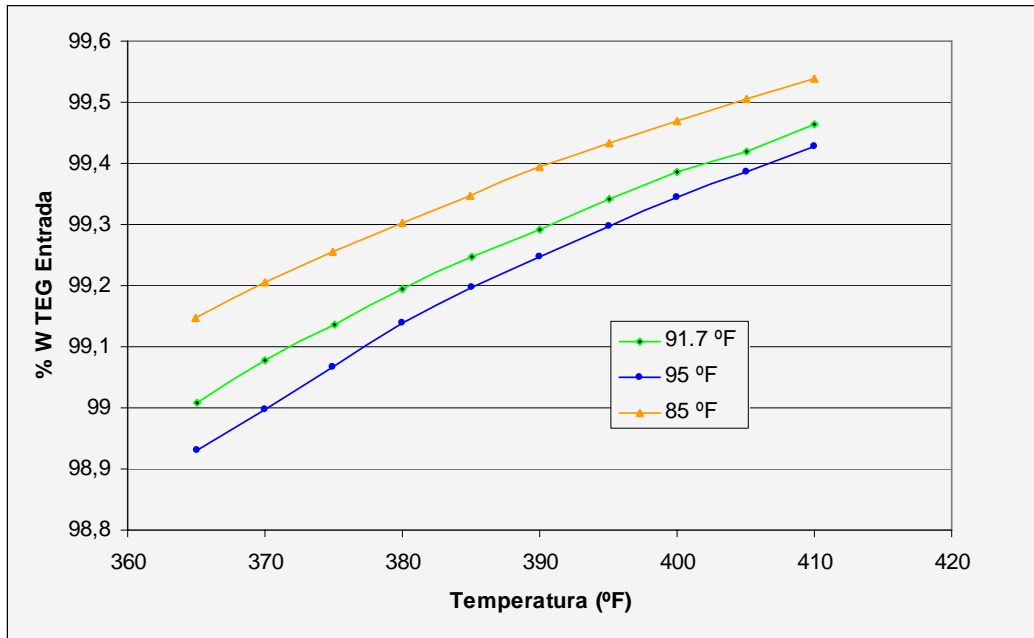
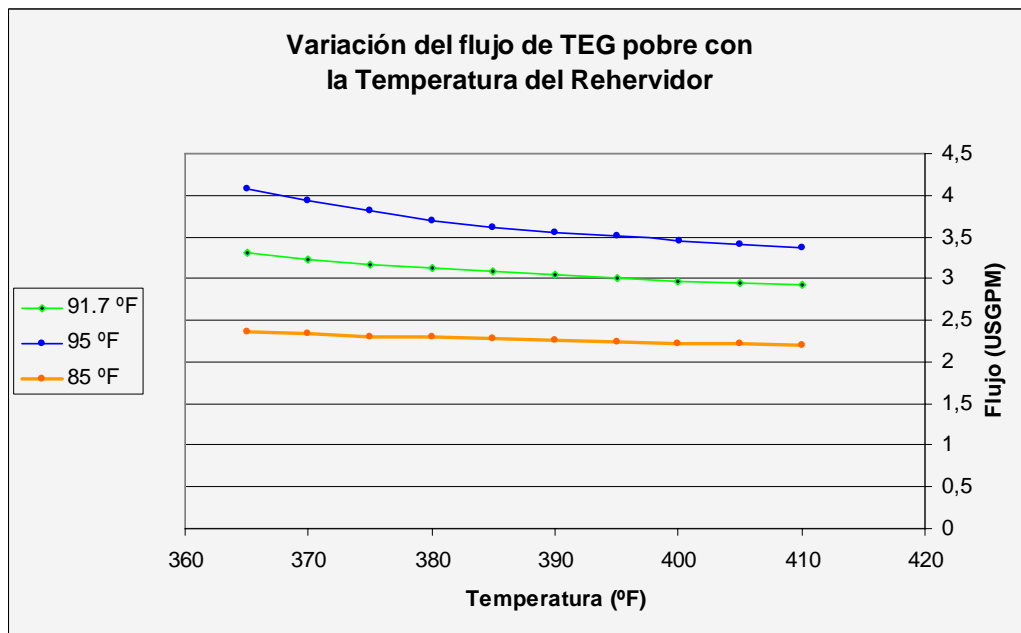


Figura 28. Variación del flujo de TEG pobre con la temperatura



Como era de esperarse, la eficiencia del rehervidor para extraer el agua que trae consigo el TEG rico va aumentando a medida que se aumenta la temperatura del rehervidor, esto se debe a que entre mayor sea la temperatura mas calor podrá adicionarse al rehervidor y por lo tanto mas calor podrá ser utilizado como calor latente o calor de evaporación.

Ahora bien, las graficas nos muestran que la eficiencia del rehervidor depende también de la temperatura a la cual entra el gas a deshidratar, esto es debido a que cuanto mayor sea la temperatura del gas, mayor será su humedad y por lo tanto el TEG llegara al rehervidor con una mayor cantidad de agua para evaporar a una misma temperatura.

Podemos tomar como ejemplo la entrada del gas a 85 °F y 95 °F. En el primer caso la humedad es de 32 lbs/MMSCF a diferencia del segundo que trae una humedad de 43 Lb/MMSCF. Por lo tanto para que en el primer caso el TEG pobre alcance una concentración de 99.2% tiene que entrar a un rehervidor de 370 °F de temperatura, mientras que en el segundo caso el TEG, que por supuesto trae consigo mas agua, tiene que ser calentado a 385 °F para que pueda lograr los 99.2% de concentración.

Lo anterior tiene su efecto mas directo en el flujo de TEG pobre ya que a menor concentración de TEG pobre se necesitara mayor flujo de este para poder extraer la cantidad de agua necesaria en la torre contactora. Además de esto la humedad en el gas de entrada produce efecto sobre la caída en el flujo de TEG pobre, como se observa en la **Figura 28**, la caída de flujo para un gas que entra a 85°F es mucho menor que la caída de flujo en el caso del gas que entra a 95 °F.

5.3.2 Flujo de gas de despojo

Este es un proceso usado para alcanzar muy altas concentraciones de glicol, las cuales no se pueden obtener con la regeneración normal. Esto proveerá la máxima depresión del punto de rocío y mayor deshidratación. El gas de regeneración se usa para remover el agua residual después que el glicol se ha reconcentrado en el equipo de regeneración. Se usa para proveer contacto íntimo entre el gas caliente y el glicol pobre después que se ha removido la mayor parte del agua por destilación.

Figura 29. Variación de la concentración de Glicol pobre con el flujo de gas de arrastre.

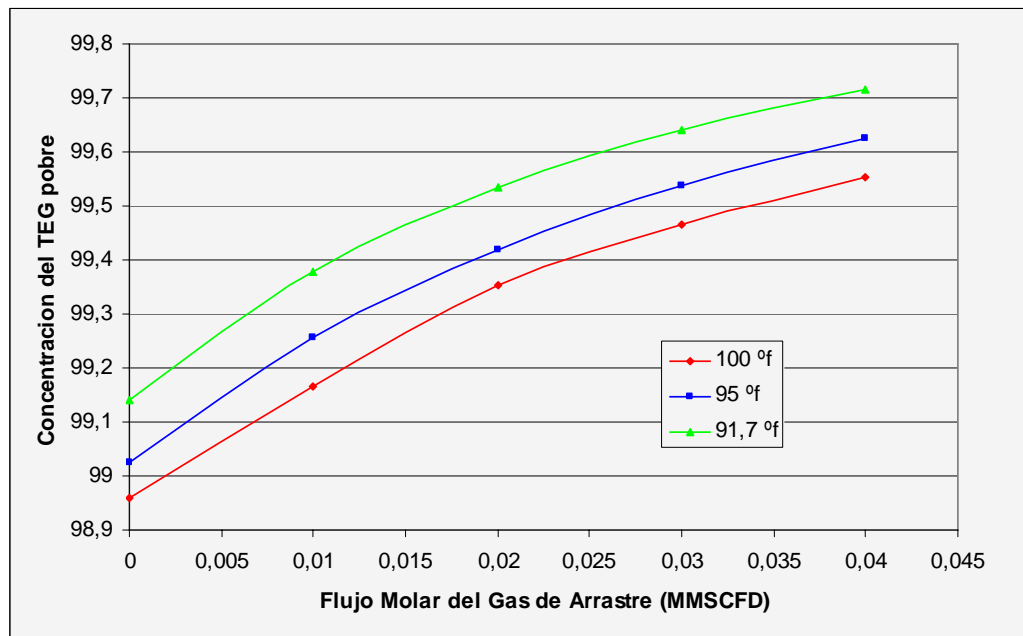


Figura 30. Variación de flujo de Glicol pobre (a la salida del rehervidor), con el flujo molar del gas de arrastre.

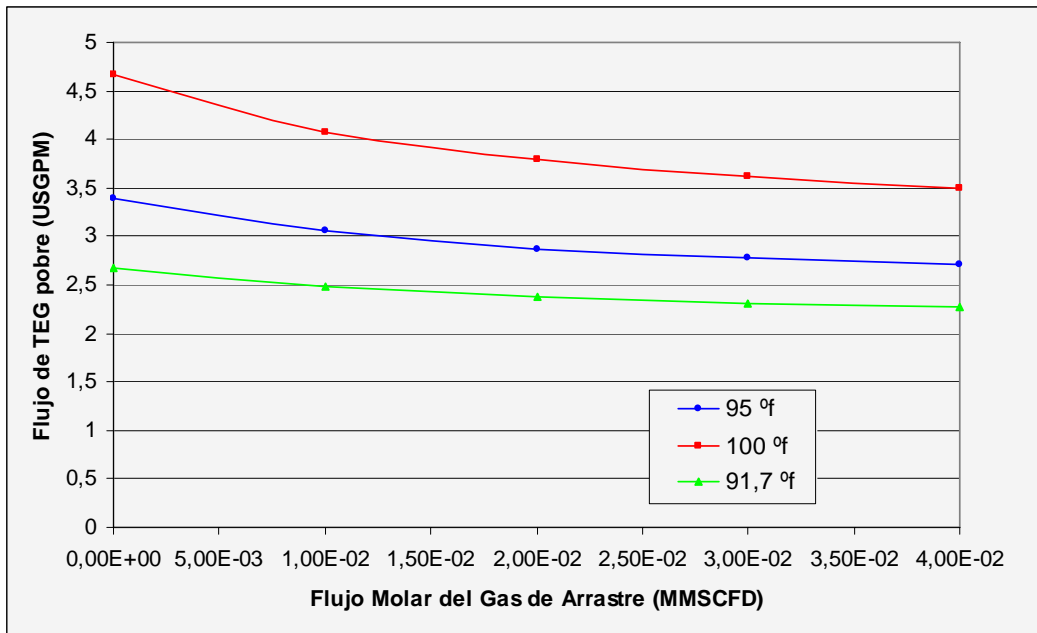
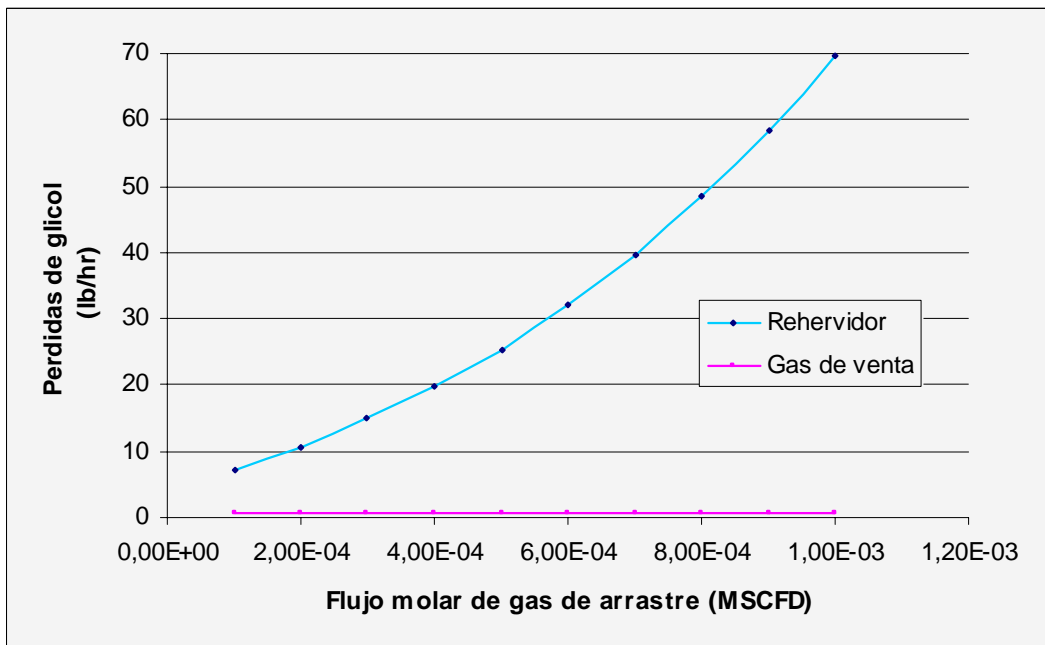


Figura 31. Perdida de glicol con la variación del flujo de gas de arrastre.



En las anteriores gráficas podemos observar la importante influencia que tiene el gas de despojo o gas de arrastre en el aumento de la concentración del glicol pobre y por lo tanto su influencia en el aumento de la eficiencia de la planta en general. Tomemos como ejemplo la concentración de glicol a la salida del rehervidor para un gas de entrada a 91.7°F. En este caso cuando no hay flujo de gas de despojo su concentración se encuentra en 99.13%; para que a estas condiciones el TEG aumente su concentración a 99.5%, que es una muy buena concentración para el TEG pobre, se tiene que inyectar 0.02 MMSCFD.

En el caso del flujo de gas de despojo, el flujo de TEG pobre es afectado considerablemente en compañía de la cantidad de humedad reducible a la cual tendrá que hacer frente, es decir, es claro que la utilización del gas de despojo en la regeneradora disminuye el flujo de glicol para mantener una humedad determinada debido al aumento en su concentración, pero además de esto y al igual que en el subtítulo anterior, la reducción en el flujo es mucho mayor cuanto mayor sea la temperatura de entrada del gas a la torre contactora.

Además de esto las gráficas arrojan un aumento en la pérdida de Glicol en el rehervidor conforme se aumenta el flujo de gas de despojo, esto nos hace pensar entonces que se debe tener un cuidado especial al momento de manejar el gas de despojo debido a que su aumento en la eficiencia trae consigo pérdidas significativas en el Glicol.

5.4 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD EN PARAMETROS DE DISEÑO

5.4.1 Numero de platos

La construcción de estas gráficas se hizo sin tener en cuenta la humedad del gas de venta, ya que es necesario analizar exclusivamente como varia la cantidad de agua que puede llevar consigo el glicol variando la cantidad de platos en la torre contactora.

Figura 32. Variación de la concentración (en fracción másica) del Glicol rico con el número de platos

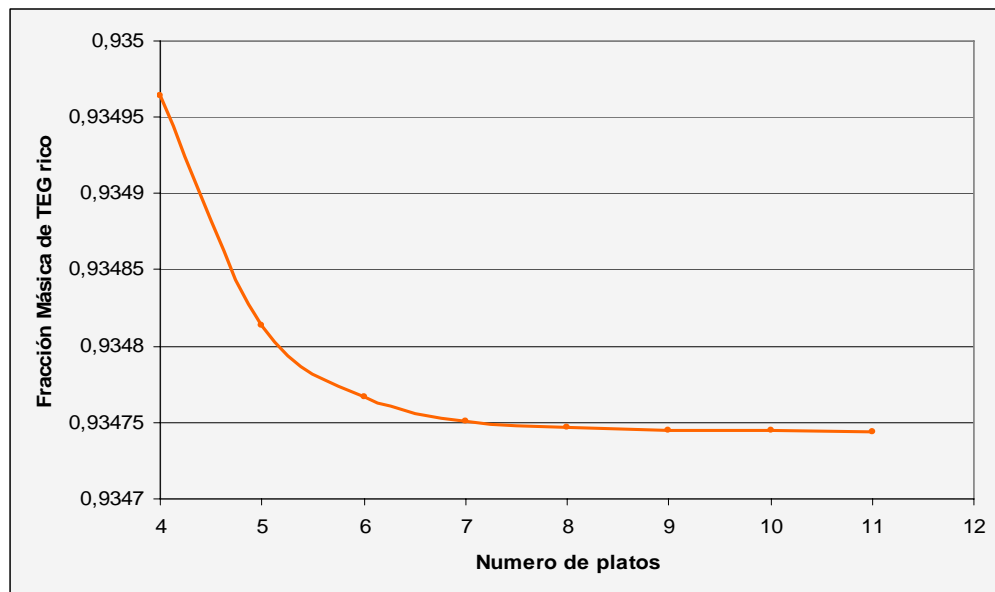
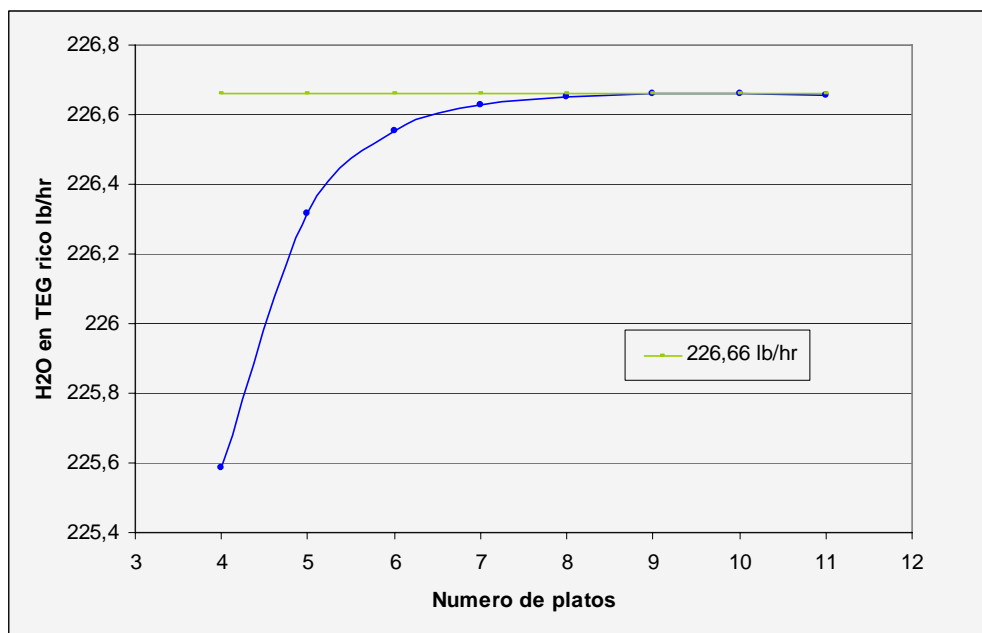


Figura 33. Variación de libras de agua en glicol rico con el número de platos.



En el diseño de la torre contactora el número de platos juega un papel muy importante ya que es por medio de estos que se lleva a cabo la absorción del agua, de hecho es el primer paso que se da en el momento de diseñar la torre. Las gráficas anteriores nos muestran como aumenta la eficiencia de la torre cuando se aumentan la cantidad de platos dentro de esta.

En la **Figura 32** se muestra como decae la concentración del TEG rico, es decir que a mayor número de platos en la torre contactora el TEG rico va a extraerle al gas una mayor cantidad de agua.

En la primera figura al parecer el aumento en la eficiencia no es muy evidente, pero lo podemos ver más evidente si detallamos la variación de la cantidad de agua presente en el TEG rico a medida que se van variando los platos.

Teniendo en cuenta las gráficas se debe resaltar un aspecto muy importante en el diseño, y es que cuando se aumenta la cantidad de platos en la torre contactora su eficiencia, tiende a ser limitada por una asíntota. Como vemos, en la figura cuando la torre tiene 8 platos la cantidad de agua en el TEG rico es de 226.65 lb/hr, si aumentamos el número de platos a 10 la cantidad de agua solo aumentará 0.01 lb/hr y permanecerá constante en 226.66 lb/hr aun cuanto mas se aumente la cantidad de platos. En el caso real la torre contactora, teniendo en cuenta las propiedades con las que llega el gas a la planta, debe llevar 8 platos; si tenemos en cuenta la conclusión anterior construir una torre con una cantidad de platos mayor sería un desperdicio ya que su eficiencia no aumentará considerablemente, pero si al contrario reducimos el número de platos, su eficiencia decaería considerablemente.

6. CONCLUSIONES

La saturación del gas con agua depende de la presión y la temperatura en el yacimiento, en la planta de deshidratación el aumento de esta temperatura tiene su principal influencia en la necesidad de aumentar el flujo de glicol pobre, el aumento de flujo de calor en el rehervidor y en el aumento en la concentración de glicol pobre. Debe haber un correcto manejo de estas tres variables dependiendo de las necesidades y posibilidades específicas de la planta.

Se puede hacer un aumento por ejemplo de la concentración del glicol aumentando el flujo de calor en el rehervidor y/o el aumento de flujo de gas de despojo, como también por separado se puede hacer un aumento del flujo de glicol pobre a una concentración determinada, como también se puede hacer de manera combinada un aumento del flujo de glicol además del aumento de su concentración a la entrada de la torre contactora que trae consigo el aumento en el flujo de calor en el rehervidor.

Para el caso de la disminución de la presión la planta actúa de la misma manera que con el aumento de la temperatura y es necesario variar el flujo y la concentración del glicol pobre de manera equilibrada y dinámica atendiendo a las necesidades y características de la planta, cabe anotar que es de suma importancia que la presión en la torre contactora sea controlada ya que un aumento brusco genera arrastres y daño en los platos.

Lo anterior se relaciona con la variación de la temperatura en el rehervidor ya que entre más temperatura tenga el rehervidor mayor podrá ser el flujo de calor que se le podrá inyectar al rehervidor, de tal manera que si deseamos mayor eficiencia en el desempeño del rehervidor, como parte del desempeño de la planta, la temperatura deberá ser mayor para que podamos adicionarle mayor flujo de calor

teniendo en cuenta, claro esta, que sin sobrepasar la temperatura de 400°F ya que después de esta temperatura el TEG pobre se degrada.

La variación de la temperatura y el aumento en la eficiencia del rehervidor con esta variable también depende de la temperatura del gas de entrada por la variación de la humedad en el gas de entrada. Se tiene entonces que tener en cuenta que cuanto mayor sea la humedad que trae el gas de entrada la eficiencia del rehervidor disminuye a una temperatura determinada.

Para un aumento bastante representativo en la concentración del glicol y como complemento al despojo de agua en el rehervidor, el gas de despojo juega un papel muy importante y es una variable que se debe tener en cuenta en el momento de manejar las variables manipuladas para aumentar la eficiencia del rehervidor y de la planta, teniendo en cuenta también que esta variable también se ve afectada por la temperatura a la cual entra el gas a deshidratar de la misma manera que se ven afectadas las variables arriba mencionadas. Además de esto, en el momento de manejar las variables manipuladas se debe tener en cuenta que el aumento en el gas de despojo produce una pérdida significativa de TEG en el gas de venta.

El diseño de la planta se basa principalmente en el diseño de la torre contactora y es aquí donde el software de procesos (HYSYS) se puede utilizar como herramienta que ayuda a utilizar variables de diseño como variables manipuladas, este es el caso de el número de platos, que pueden ser manipulados de manera virtual para predecir sus efectos.

La variación en aumento de la cantidad de platos en la torre contactora aumenta la eficiencia de la planta, disminuyendo el flujo de TEG necesario y su concentración de manera combinada, pero es muy importante resaltar que la cantidad de platos en la torre contactora no debe ser desmedida ya que luego de cierta cantidad de

platos el aumento de estos en la torre no significa mayor adsorción de agua en el TEG y por lo tanto sería desperdicio innecesario.

Para el aumento en la eficiencia de la planta de deshidratación, es necesario tener en cuenta todas las variables manipulables o manipuladas y que su manejo o modificación se haga de manera dinámica y combinada, es decir, que el manejo de estas variables no se hacen de manera descontextualizada ya que el aumento en el flujo de TEG pobre, temperatura y calor en el rehervidor, y gas de despojo conducen todos al aumento de la eficiencia de la planta y por lo tanto el aumento en una variable hace innecesario el aumento en otra variable determinada. Además de esto el manejo de estas variables debe tener en cuenta que su manipulación aumenta las pérdidas de glicol ya sea en el gas de despojo, gas de venta o separador. Es entonces cuando podemos observar la gran ayuda que nos brinda el software de procesos para adelantarnos a las consecuencias que pueden traer los cambios en diferentes puntos de la planta.

7. BIBLIOGRAFIA

1. BALLARD, Don. Operator talks ... glycol dehydration. Hydrocarbon processing, abril, 1977.
2. BON, L y POURADIER, Yves. Glycol dehydration tower conditions can be optimized whit accurate behavior predictions. Oil & Gas Journal.
3. CARSON, D.W. and KATZ, D.L., Natural gas hydrates, Trans. AIME, 146, 1941.
4. DESING CRITERIA FOR GLYCOL DEHYDRATORS (SEC 900). SIVALLS Inc., Odessa, Texas.
5. GAS PROCESSORS SUPPLIERS ASSOCIATION (GPSA). Engineering data book. Volumen II. 11a. Edicion, 1998.
6. HYPROTECH LTD. CALGARY. Manuales Técnicos Programa de Simulación de Procesos Hysys Plant, Versión 3.1, 2002.
7. SIVALLS, Richard. Glycol dehydration design manual. Texas, Sivalls inc., 1982 (Technical bulletin No. 112, revision 3, section 900).
8. TREYBAL, Robert E. Operaciones de transferencia de masa. México, Editorial Mc. Graw Hill, 2ª Edición, 1998.