

**EVALUACIÓN TÉCNICO – ECONÓMICA DE UN PROCESO PARA  
PROTEGER LA PLANTA DE DESHIDRATACIÓN DE CAÍDAS SÚBITAS DE  
PRESIÓN Y ARRASTRE DE GLICOL, DURANTE EL CARGUE DE  
MÓDULOS DE GAS COMPRIMIDO**

**DAVID JOSE MARTINEZ BARROS**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
MAESTRIA EN INGENIERÍA DE PETRÓLEOS Y GAS  
BUCARAMANGA  
2022**

**EVALUACIÓN TÉCNICO – ECONÓMICA DE UN PROCESO PARA  
PROTEGER LA PLANTA DE DESHIDRATACIÓN DE CAÍDAS SÚBITAS DE  
PRESIÓN Y ARRASTRE DE GLICOL, DURANTE EL CARGUE DE  
MÓDULOS DE GAS COMPRIMIDO**

**DAVID JOSE MARTINEZ BARROS**

**Trabajo de grado para optar por el título de  
Magister en Ingenierías de Petróleos y Gas**

**DIRECTOR  
MSc: MANUEL CABARCAS**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
2022**

## **DEDICATORIA**

*Este logro personal y profesional, va dedicado especialmente a Dios, donde he depositado toda mi fe y esmero, siendo mi soporte constante en la vida.*

*A mis padres, Sidis Barros y David Martínez, a quienes le debo las bases sólidas de mi carácter, educación y forma de ver la vida. A Quienes espero honrar y retribuir en forma de orgullo, toda su dedicación en mí, hoy puedo agradecerle a Dios, que de ellos recibí.*

*A mi pareja, María Alejandra Blanco, que, con su visión clara de objetivos y logros de vida, ha sabido darme fortaleza en la consecución de este logro, empujando siempre a dar todo de mí.*

*A mis hermanos, que me motivan en silencio, a dar lo mejor de mí para ser siempre un modelo para ellos.*

*A Gases del Caribe, en especial a Miguel Cepeda, Roberto Cure, Clementina Holguín y Ramón Dávila; donde he iniciado mi formación profesional con la confianza de haber conseguido una serie de habilidades blandas y duras con las que puedo llegar al éxito de manera segura y correcta.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A las Directivas de Gases del Caribe S.A. Empresa de Servicios Públicos, en especial al Dr. Ramón Dávila, Clementina Holguín y Roberto Cure por su apoyo constante, incondicional y la confianza puesta en mí, a fin de aportarle a la compañía mi crecimiento y conocimiento, fortaleciendo mi trayectoria profesional y personal. A la Universidad Industrial de Santander, por entregar durante tantos años el estándar más alto de educación en la Ingeniería.*

## CONTENIDO

<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>9</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>10</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>11</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>12</b>
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>13</b>
<b>1. OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
<b>2. MARCO REFERENCIAL .....</b>	<b>16</b>
2.1 DESHIDRATACIÓN POR ABSORCIÓN .....	17
2.2 DESHIDRATACIÓN POR ADSORCIÓN.....	20
2.3 DELICUESCENCIA .....	22
2.4 DESHIDRATACIÓN POR EXPANSIÓN-REFRIGERACIÓN.....	24
2.5 PERMEACIÓN DEL GAS .....	25
2.6 TECNOLOGÍA TWISTER .....	26
2.7 GENERALIDADES DESHIDRATACION EN UN CAMPO DE COLOMBIA .....	27
2.8 MODELOS DE SIMULACIÓN EN ESTADO ESTABLE Y EN ESTADO DINÁMICO.....	30
2.9 ALTERNATIVA ADECUADA PARA ATENUAR EL ARRASTRE DE GLICOL .....	33
<b>3. MARCO CONCEPTUAL.....</b>	<b>34</b>

3.1	GASODUCTOS VIRTUALES .....	34
3.2	DESHIDRATACIÓN DEL GAS .....	36
3.3	DESHIDRATACIÓN POR ABSORCIÓN .....	36
3.4	DESHIDRATACIÓN POR ADSORCIÓN.....	36
3.5	CAÍDAS SÚBITAS DE PRESIÓN Y ARRASTRE DE GLICOL .....	37
<b>4.</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN Y CARGUE DE MÓDULOS DE GAS COMPRIMIDO .....</b>	<b>38</b>
4.1	MODELO DIAGNOSTICO .....	38
4.2	ÁREAS DE PROCESO CAMPO DE COLOMBIA .....	39
4.2.1	Pozos.....	39
4.2.2	Separación.....	40
4.2.3	Deshidratación .....	40
4.2.4	Monitoreo de la Calidad del Gas.....	41
4.2.5	Patín de Medición Gas a Venta.....	45
4.2.6	Sistema de Compresión .....	46
4.3	SIMULACIÓN EN ESTADO ESTABLE PLANTA DE DESHIDRATACIÓN UN CAMPO DE COLOMBIA.....	47
4.3.1	Gas a Contactora .....	47
4.3.2	Glicol Pobre.....	48
4.3.3	Gas a Medición.....	48
4.3.4	Gas Comprimido.....	49
<b>5.</b>	<b>ESQUEMAS DE PROCESO PARA PROTEGER LA PLANTA DE DESHIDRATACIÓN DE CAÍDAS SÚBITAS DE PRESIÓN, DURANTE EL CARGUE DE MÓDULOS DE GAS COMPRIMIDO .....</b>	<b>50</b>
5.1	VÁLVULA REGULADORA DE PRESIÓN AGUAS DEBAJO DE PLANTA DESCOMPRESORA.....	51

5.2 TANQUE DE SUCCIÓN AGUAS ARRIBA DE SISTEMA DE COMPRESIÓN .....	53
<b>6. MODELOS DE SIMULACIÓN EN ESTADO ESTABLE Y EN ESTADO DINÁMICO PARA LOS DIFERENTES ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DE LA PLANTA DESHIDRATADORA .....</b>	<b>55</b>
<b>7. ESTADO DINÁMICO .....</b>	<b>60</b>
7.1 VÁLVULA REGULADORA .....	60
7.2 MODELACIÓN DINÁMICA VÁLVULA REGULADORA.....	63
7.3 LA MODELACIÓN DINÁMICA INICIA EN UN ESTADO DE FACILIDADES PRESURIZADAS Y CON FLUJO .....	65
7.4 TANQUE DE SUCCIÓN .....	66
7.5 LA MODELACIÓN DINÁMICA TANQUE DE SUCCIÓN .....	69
<b>8. DISEÑO A NIVEL BÁSICO DE LOS DIFERENTES EQUIPOS Y ACCESORIOS DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA PARA PROTEGER LA PLANTA DESHIDRATADORA DE CAÍDAS SÚBITAS DE PRESIÓN DURANTE EL CARGUE DE MÓDULOS DE GAS COMPRIMIDO.....</b>	<b>71</b>
<b>9. EVALUACIÓN ECONÓMICA MEDIANTE SENSIBILIDAD DE VARIABLES DE LA ALTERNATIVA MÁS ADECUADA .....</b>	<b>73</b>
9.1 ESCENARIO 1: SIN VÁLVULA REGULADORA DE PRESIÓN .....	73
9.2 ESCENARIO 2: CON VÁLVULA REGULADORA DE PRESIÓN: .....	75
9.3 COMPARATIVO ESCENARIOS ECONÓMICOS.....	77
<b>10. CONCLUSIONES .....</b>	<b>78</b>
<b>10.REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>81</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Especificaciones de Calidad del Gas Natural	28
Tabla 2. Propiedades del Gas a Deshidratadora	55
Tabla 3. Propiedades Gas a Deshidratadora pg.2	56
Tabla 4: Gas a Deshidratadora	57
Tabla 5. Propiedades Glicol Pobre pg. 2	58
Tabla 6. Propiedades Glicol Pobre continuación 2	59
Tabla 7. Listado de Materiales Valvula Reguladora	71
Tabla 8. Resultados Proyecto Sin Válvula Reguladora	75
Tabla 9. Resultados Proyecto Con Válvula Reguladora	75
Tabla 10. Comparativo Escenarios Económicos	77

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema: Planta de deshidratación con glicol.	18
Figura 2. Esquema proceso de deshidratación con desecantes sólidos.	21
Figura 3. Esquema del proceso de deliquesencia.	23
Figura 4. Concepto de un separador twister.	26
Figura 5. Esquema del proceso gasoducto virtual	34
Figura 6. Zonas no Interconectadas	35
Figura 7. Modelo diagnóstico	38
Figura 8. Áreas de proceso	39
Figura 9. Sistema de Calidad	41
Figura 10. Cromatografía	42
Figura 11. Condumax	43
Figura 12. Método análisis: óptico con RXN en cinta de acetato de plomo	44
Figura 13. Patín de Medición	45
Figura 14. Compresor	46
Figura 15. Modelo Estable	47
Figura 16. Torre Contactora	51
Figura 17. Esquema Válvula Reguladora	53
Figura 18. Esquema Tanque de Succión	54
Figura 19. Modelación Dinámica Válvula Reguladora	63
Figura 20. Resultados Modelación Dinámica Válvula Reguladora	64
Figura 21. Modelación dinámica de tanque de succión	69
Figura 22. Resultados Modelación Tanque de Succión	70
Figura 23. Tren de Regulación Vista Isométrica	71
Figura 24. Tren de Regulación Vista Planta	72
Figura 25. Escenario 1, CAPEX	74
Figura 26. Escenario 1, OPEX	74
Figura 27. Escenario 2, CAPEX	76
Figura 28. Escenario 2, OPEX	76

## GLOSARIO

**Absorción:** Es el proceso mediante el cual se realiza la transferencia de un componente soluble de una mezcla en fase gaseosa, a un absorbente líquido capaz de inmovilizar de manera selectiva otra sustancia.

**Adsorción:** Este término nos indica la característica de un componente a conectarse a la superficie de un sólido separándose de su original.

**Arrastre de líquido en gas:** Es el fenómeno que ocurre cuando un gas transporta gotas de líquido debido a una alta velocidad.

**Calor de regeneración:** Es el calor necesario para que una solución retorne a sus propiedades iniciales.

**Condensación:** Es el proceso de transformación de un gas a estado líquido.

**Cromatografía:** método de identificación de componentes de una sustancia, y sus cantidades molares, volumétricas o másicas.

**Degradación térmica:** Es la forma como se alteran las moléculas debido al efecto de la temperatura cambiando sus propiedades fisicoquímicas.

**PH:** Es la medición de acidez o alcalinidad de una sustancia o mezcla.

**Presión de Vapor:** presión que realiza la fase vapor de una sustancia, a a su recipiente contenedor, en el momento en que tanto líquido como vapor se encuentran en equilibrio por presión y temperatura. puro se encuentra a nivel de la presión y temperatura.

**MMscf:** Millón de pies cúbicos estándar

**Torre Contactora:** Sección de la planta de deshidratación en forma de columna donde se da la absorción. Se da el intercambio de masa y el contacto entre el gas y otra sustancia.

## RESUMEN

**TITULO:** EVALUACIÓN TÉCNICO – ECONÓMICA DE UN PROCESO PARA PROTEGER LA PLANTA DE DESHIDRATACIÓN DE CAÍDAS SÚBITAS DE PRESIÓN Y ARRASTRE DE GLICOL, DURANTE EL CARGUE DE MÓDULOS DE GAS COMPRIMIDO.

**AUTOR:** DAVID JOSE MARTINEZ BARROS

**PALABRAS CLAVE:** GAS NATURAL, GASODUCTO VIRTUAL, MÓDULOS DE TRANSPORTE DE GAS, DESHIDRATACIÓN DE GAS, COMPRESIÓN, ARRASTRE GLICOL, SISTEMA DE REGULACIÓN DE PRESIÓN

**DESCRIPCIÓN:** El trabajo de esta investigación se enfoca en el desarrollo de alternativas que mitiguen el arrastre de glicol en sistemas de deshidratación de gas natural que contenga sistemas de gasoductos virtuales como opción de desarrollo y explotación. Dado que los hallazgos de gas en el país, cada día se encuentran más alejados del sistema nacional de transporte (SNT), teniendo la necesidad de utilizar alternativas de desarrollo como gasoductos virtuales. Dicho sistema requiere de altas presiones en su proceso de compresión y llenado de módulos de transporte de gas natural, generando en planta inconvenientes como el arrastre de glicol en la torre contactora; y en consecuencia causando daños mayores a los sistemas de generación, calidad de gas, medición y pérdida de producción.

Mediante la modelación dinámica, se estableció una alternativa exitosa para la mitigación del riesgo y variaciones abruptas de presión que pudiesen generar arrastres de glicol. Se determina la necesidad de válvulas de regulación en los sistemas de deshidratación de gas a fin de mantener constantes las presiones en la torre contactora. Realizando una evaluación económica mediante sensibilidad de variables, se invita a la industria, a establecer como buena práctica, la protección del sistema de deshidratación mediante la utilización de válvulas reguladoras de presión.

## **ABSTRACT**

**TITLE:** TECHNICAL–ECONOMIC EVALUATION OF A PROCESS TO PROTECT THE DEHYDRATION PLANT FROM SUDDEN DROPS IN PRESSURE AND GLYCOL DRAG, DURING THE LOADING OF COMPRESSED GAS MODULES.

**AUTHOR:** DAVID JOSE MARTINEZ BARROS

**KEYWORDS:** NATURAL GAS, VIRTUAL GAS PIPELINE, GAS TRANSPORTATION MODULES, GAS DEHYDRATION, COMPRESSION, GLYCOL DRAG, PRESSURE REGULATION SYSTEM

**DESCRIPTION:** The work of this research focuses on the development of alternatives that mitigate glycol entrainment in natural gas dehydration systems containing virtual gas pipeline systems as a development and exploitation option. Given that the gas discoveries in the country are increasingly far from the national transport system (SNT), having the need to use development alternatives such as virtual gas pipelines. This system requires high pressures in its compression process and filling of natural gas transport modules, generating inconveniences in the plant such as the dragging of glycol in the contactor tower; and consequently, causing major damage to generation systems, gas quality, measurement, and loss of production.

Through dynamic modeling, a successful alternative was established for risk mitigation and abrupt pressure variations that could generate glycol drags. The need for regulation valves in gas dehydration systems is determined to keep the pressures in the contactor tower constant. By carrying out an economic evaluation through variable sensitivity, the industry is invited to establish as good practice, the protection of the dehydration system using pressure regulating valves.

## INTRODUCCION

A lo largo de la historia, el ser humano ha aprendido a dominar diversas herramientas que le permitan su existencia, desarrollo y evolución, siendo la utilización de la energía uno de los mayores logros. La obtención de la energía se puede lograr por distintos medios, sin embargo, una de las fuentes más importantes capaz de dotar al hombre de energía es el gas natural como combustible. Debido a las muchas propiedades fisicoquímicas que aporta el gas, a nivel mundial y en recientes años en Colombia, se ha presenciado un auge por impulsar la obtención del gas natural. Ya sea a través de perforaciones de yacimientos, importaciones de mediante gasoductos o importaciones mediante GNL. El gas natural, antes de ser comercializado debe ser tratado mediante varias etapas incluyendo la deshidratación donde se busca eliminar el vapor de agua presente en las corrientes de gas<sup>1</sup>.

Las empresas operadoras contemplan la explotación de campos con índices de productividad menores a los que la industria estaba acostumbrado. A raíz de esto, un campo de Colombia, ubicado en la Costa Atlántica, inicia su operación y producción. El campo consta de cuatro (4) pozos productores de gas libre de agua y condensados. Para el tratamiento del gas solo se requiere de métodos físicos de separación y una unidad deshidratadora. El gas es comprimido y transportado en módulos terrestres.

Actualmente, se ha detectado presencia de glicol en filtros aguas abajo de la unidad deshidratadora. Después de varios análisis se determinó que hay arrastre de glicol debido a cambios súbitos de presión en la torre contactora a raíz del cargue de módulos los cuales llevan a la torre a trabajar a condiciones por debajo de las variables de diseño generando altas velocidades del gas.

---

<sup>1</sup> MOHAMMAD A, 2009, Natural gas dehydration using triethy-lene glycol (TEG). M.Sc. Thesis, Pahang University, Malaysia. pp. 40-80.

Estos eventos de arrastre, además de perder glicol, pueden generar inconvenientes que atenten con la operación e integridad de los equipos. La presencia de glicol, de llegar, a los generadores y equipos de calidad de gas, podría dañar sensores y partes mecánicas vitales para el adecuado funcionamiento de los mismos; adicionalmente, la caída de presión generada en los cargues de los módulos, puede llegar a ocasionar daños a la torre contactora. Todos estos inconvenientes generan una pérdida de producción de gas considerable.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar una evaluación técnico–económica de un proceso para proteger la planta de deshidratación de caídas súbitas de presión y arrastre de glicol, durante el cargue de módulos de gas comprimido.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar el proceso de deshidratación y cargue de módulos de gas comprimido que se realiza en el campo de Colombia mediante un modelo diagnóstico que permita evaluar las variables claves.
- Plantear los diferentes esquemas de proceso que logren proteger la planta de deshidratación de caídas súbitas de presión, durante el cargue de módulos de gas comprimido.
- Desarrollar los modelos de simulación en estado estable y en estado dinámico para los diferentes esquemas de protección de la planta deshidratadora.
- Diseñar a nivel básico los diferentes equipos y accesorios de la alternativa seleccionada para proteger la planta deshidratadora de caídas súbitas de presión durante el cargue de módulos de gas comprimido.
- Evaluar de forma económica mediante sensibilidad de variables de la alternativa más adecuada para mitigar el arrastre de glicol y las caídas súbitas de presión en la planta deshidratadora.

## 2. MARCO REFERENCIAL

Es preciso tener claro que el alto contenido de agua que presenta el gas, bajo condiciones específicas de presión, volumen y temperatura, debe someterse a un proceso de deshidratación; es decir remoción parcial o total del vapor de agua, presente en el gas. El vapor de agua puede considerarse, la impureza más común en un flujo de gas. En campos con mayor presión, este proceso resulta de mayor importancia debido a que la cantidad de vapor de agua está directamente relacionada con la presión<sup>2</sup>.

Existen muchas causas por las cuales se hace estrictamente necesario la remoción del vapor de agua de las corrientes de gas:

- La presencia de vapor de agua en las corrientes de gas puede generar condensación y posteriormente congelación, formado hidratos que bloqueen o atenden la integridad de las tuberías o facilidades.
- El vapor de agua contiene componentes altamente corrosivos como CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S<sup>3</sup>.
- La remoción del vapor de agua permite una buena operación en los sistemas de compresión y descompresión de gas natural.
- Es un requerimiento a cumplir para poder dar paso a la comercialización de gas natural en el país. <sup>(6), (7)</sup>.

Los puntos mencionados, hacen necesaria la remoción de vapor de agua del gas natural, por lo cual se puede utilizar alguno de los siguientes métodos:

- Adsorción
- Absorción
- Delicuescencia
- Permeación del gas
- Expansión-Refrigeración
- Tecnología Twister

---

<sup>2</sup> BUCHAN, R.C. "Dehydration of Natural Gas". Presented at the Spring meeting of the South-western District, Division of Production, Dallas, 1950.

<sup>3</sup> HAVLIK, W. "Production of Wet Natural Gas Containing Corrosive Components: Four Case Histories". SPE 100219 (2006); p 1-5.

El proceso de deshidratación de gas natural hace parte importante del proceso de tratamiento del mismo, por lo cual se hace imprescindible, conocer cada uno de los métodos de deshidratación conocidos en la industria, a fin de determinar el más adecuado según el proceso específico de cada corriente de gas.

## **2.1 DESHIDRATACIÓN POR ABSORCIÓN**

Mediante la utilización de líquidos con altos niveles de higroscopicidad (Capacidad de remover agua), se logra la transferencia de masa partiendo de una fase gaseosa a una fase líquida.

De esta manera, la deshidratación por absorción es el proceso por el cual se remueve el vapor de agua del gas mediante el contacto con un desecante líquido. Donde, el contacto ejercido en estos dos elementos tiene lugar en una torre contactora, la cual puede ser de platos o bandejas, o empacada. Los desecantes líquidos, más utilizados en la industria son los glicoles, por su alta efectividad en la captura del vapor de agua. Los glicoles más comunes en este proceso de deshidratación son: etilenglicol, dietilenglicol, trietilenglicol (EG, DEG, TEG). El TEG o trietilenglicol es el más utilizado, debido a que no solo logra una deshidratación correcta, sino que adicionalmente alcanza los niveles de punto de rocío necesarios para la comercialización del gas<sup>4</sup>.

- PR: 40-140°F
- P: 25-2500 psi
- T: 40-160°F

Es en este caso donde presentamos aquí las ventajas de usar TEG:

- Fácil regeneración mediante cambios térmicos.
- poca pérdida de TEG por vaporización.

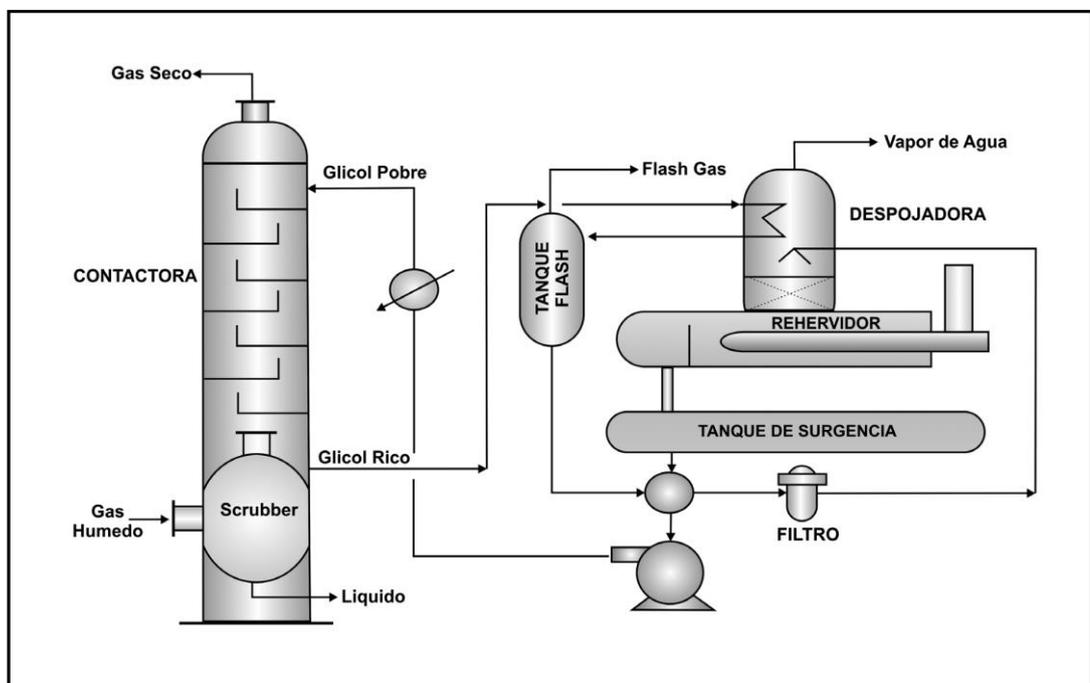
---

<sup>4</sup> PORTER, J.A. "Vapor-Liquid Equilibrium Data on the System Natural Gas-Water-Triethylene Glycol at Various Temperatures and Pressures". En Petroleum Transactions 2048(1950), Vol. 189, p 235-238.

- Bajo costo
- Alta eficiencia de deshidratación.

Estos componentes de la planta deshidratadora con desecante TEG (Figura 1), se compone de dos etapas: la etapa de deshidratación, la cual se favorece por bajas temperaturas y altas presiones; y la etapa de regeneración, la cual, en medio de su proceso, se favorece por altas temperaturas y bajas presiones.

**Figura 1. Esquema planta de deshidratación con glicol.**



Fuente: Tomado de GPSA Engineering Data Book, Gas Processors Suppliers Association, Tulsa, Oklahoma, 12th Edition, 2004.

Adicionalmente, encontramos dos procesos que complementan el método de deshidratación. El primer proceso es la captura de material particulado o agua libre en la corriente de gas húmedo y el segundo proceso es la captura de material particulado en el glicol. Es importante tener presente, que tanto la regeneración del glicol como la absorción de humedad o vapor de agua del gas natural, son procesos gobernados por el equilibrio líquido vapor.

Mediante un sistema de bombas, el glicol regenerado (glicol pobre) es bombeado a la zona superior de la torre contactora. Desde los platos superiores, el glicol va descendiendo y a su vez encontrándose en contacto continuo con el gas con vapor de agua que fluye en dirección contraria. A medida que se va dando el contacto entre glicol y gas, el vapor de agua va siendo removido del gas natural a medida que se da su ascenso por la torre<sup>5</sup>.

Así mismo, el glicol remueve componentes no deseados en el proceso de comercialización como los aromáticos: benceno, tolueno, etilbenceno y xileno BTEX Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylenes y componentes orgánicos.

Al momento de realizar un diseño de planta de deshidratación mediante la utilización de glicol como desecante líquido, es importante contar con la siguiente información: caudal de gas, gravedad específica de la corriente de gas natural a deshidratar, rangos de operación de presión y temperatura de la torre contactora, objetivo de humedad deseada. Así mismo, es necesario concentración de trietilenglicol y la relación glicol/agua. Una adecuada relación glicol/agua es de 2 a 6 galones de trietilenglicol por cada libra de agua removida.

Una buena concentración de trietilenglicol pobre debe estar entre 98 y 99,5% en peso, lo cual se obtiene principalmente mediante ajustes térmicos de la sustancia a 400 F a presión atmosférica.

Se pueden generar inconvenientes en las plantas de deshidratación de gas con glicol como:

1. Contaminación del trietilenglicol por materiales sólidos o líquidos no deseados, normalmente suspendidos en la superficie los cuales son causantes de espuma en la torre contactora y en consecuencia arrastre y pérdida de glicol en la corriente de gas de salida de la torre.

---

<sup>5</sup> LIEBERMAN, N.P. "Troubleshooting Process Operations". PenWells Books, Tulsa, Oklahoma, Third Edition, 1991, p 441-448.

2. Inconvenientes en el sistema de bombas debido a baja temperatura y aumento de la viscosidad del glicol.
3. Pérdidas de glicol superiores a 0.1 galón/MMPCS de gas natural deshidratado.
4. Problemas de bombeo en condiciones de baja temperatura, aumentando así la viscosidad del glicol.
5. Las pérdidas de glicol deben ser controladas. La pérdida máxima teórica permitida es de 0.1 galón/MMPCS.
6. En presencia de corrientes de gas ácido, el pH del glicol puede estar por debajo de 6<sup>6</sup>, lo cual lo hace altamente corrosivo. Es importante controlar el pH mediante el uso de aminas.

Aunque existen problemas operacionales a raíz de la utilización del glicol como desecante en el proceso de deshidratación, es el método más utilizado en la industria debido a su alta eficiencia para alcanzar los parámetros de calidad requeridos, y su bajo costo en insumos<sup>7</sup>.

## **2.2 DESHIDRATACIÓN POR ADSORCIÓN**

La deshidratación por adsorción utiliza principalmente desecantes sólidos. Donde se da la adhesión de partículas entre el desecante y el vapor de agua del gas natural. El proceso resulta en una mayor remoción del contenido de agua en comparación con la deshidratación mediante la utilización de glicoles, alcanzando contenidos de agua de alrededor de 0.05 libras de agua por MMPCS. La deshidratación con desecante sólidos resulta apropiada bajo los siguientes escenarios:

1. objetivos de rocío de agua entre - 40°C a -50°, utilizado principalmente en procesos de LNG.

---

<sup>6</sup> WYLDE, J.J. "Development and Field Deployment of a Novel Acidic Triethylene Glycol Buffer Chemical for Bringing Gas Dehydrators Back into Specification". NACE 08649 (2008), p3.

<sup>7</sup> Bothamley, M. "Offshore Processing Options for Oil Platforms". SPE 90325 (2004); p 7.



La fase de adsorción, el gas procesa a través de una sección de desecante, y el vapor de agua es capturada. Una vez el desecante se satura, se da paso a una corriente de gas caliente, que busca la regeneración del sólido.

Entre el proceso de adsorción y regeneración, el desecante debe disminuir su temperatura, y la manera en que se logra esta reducción es a través de la aplicación de una corriente de gas de baja temperatura a través del lecho en la dirección del flujo inicial. Este mismo gas, puede ser utilizado luego en la regeneración del desecante. Con ciclos de tiempos establecidos y mediante la utilización de un controlador de tiempo. Se pueden realizar los cambios de los lechos<sup>10</sup>.

Los tiempos por ciclo dependerán en gran medida del tamaño de los mismo, y en consecuencia el costo será directamente proporcional; no obstante, esta mayor inversión representaría un incremento en la vida útil del activo.<sup>11</sup>

## **2.3 DELICUESCENCIA**

Un delicuescente (hacerse líquido) es una sustancia con la capacidad de capturar el vapor de agua y disolverse posteriormente. Estas sustancias son normalmente sales<sup>12</sup>. Estas sales, tales como el cloruro férrico, el cloruro de calcio, el cloruro de zinc, entre otros, deshidratan las corrientes de gas natural a su contacto. La sustancia más empleada en la industria es el  $\text{CaCl}_2$ , cloruro de calcio.

A diferencia del proceso de deshidratación por adsorción, el proceso de delicuescencia presenta una combinación entre torre absorbidora de humedad y una unidad de desecante sólido.

---

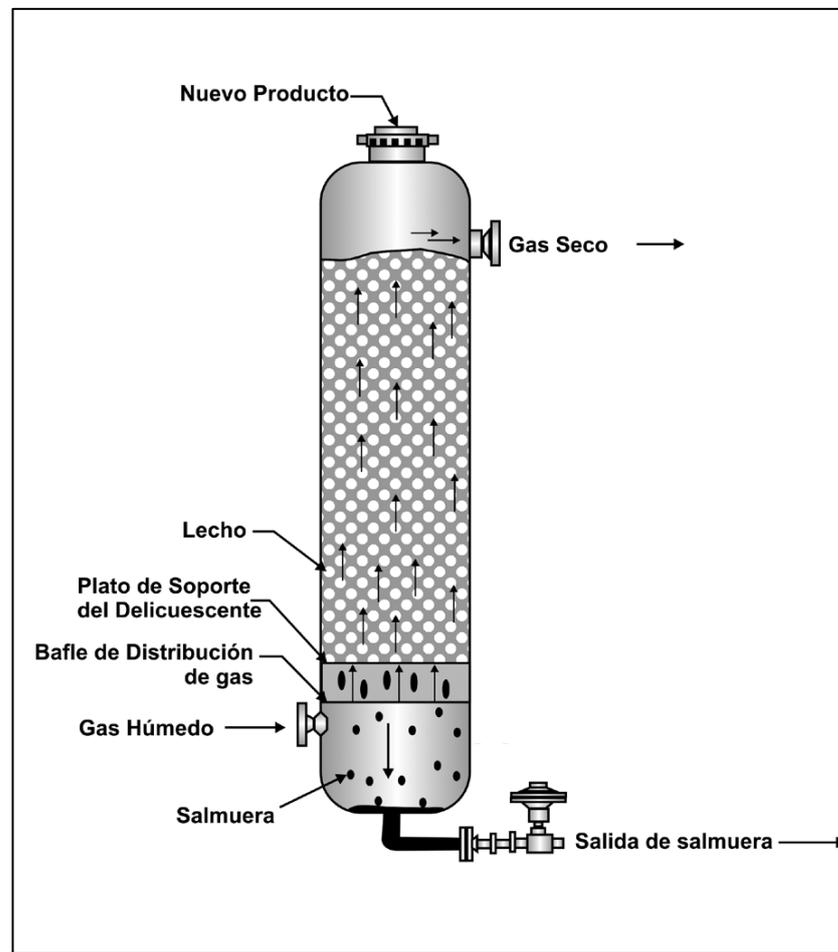
<sup>10</sup> Arnold, K. "Surface Production Operations: Design of Gas-Handling Systems and Facilities". Gulf Publishing. Houston, Texas, Second Edition, 1999, Vol 2, p 229-232.

<sup>11</sup> AL-KHAMIS, M.J. "A Success Story: Extending Molecular Sieve by Double". IPTC 11497 (2007)

<sup>12</sup> Real Academia Española, Diccionario de la lengua española, Vigésima segunda edición. ([http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?TIPO\\_BUS=3&LEMA=delicuescentes](http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=delicuescentes))

El contacto de gas y el lecho desecante de cloruro de calcio, genera una formación de salmuera de alta concentración y una gravedad específica de 1.4. El desecante se asienta y en mientras se ca consumiend el CaCl<sub>2</sub>, se va dando la deshidratación del gas. em dirección contraria el gas natural, va en ascenso y al entrar en contacto con el lecho, la humedad va siendo removida<sup>13</sup>. El contenido de humedad esperado posterior al proceso es de 2 lb H<sub>2</sub>O/MMPCS.<sup>14</sup>

**Figura 3. Esquema del proceso de deliquesencia.**



Tomado de BOWMAN, B. "Benefits of Using Deliquescing Desiccants for Gas Dehydration". SPE 60170 (2000); p 5.

<sup>13</sup> ODUNOWO, T. "Natural Gas Dehydration: The Suitability of Solid Desiccant Technology in Nigeria". SPE 106975-STU (2006); p 2-3  
<sup>14</sup> YOUNGER, A.H. "Natural Gas Processing Principles and Technology-Part II". University of Calgary (2004); Cap. 13, p 9

Los equipos de deshidratación por deliquesencia resultan más simples que los equipos por adsorción y absorción, por ende, los costos resultan menores<sup>15</sup>.

## **2.4 DESHIDRATACIÓN POR EXPANSIÓN-REFRIGERACIÓN**

La deshidratación por expansión se da mediante la utilización de procesos que permiten una reducción de presión abrupta, generando un proceso de enfriamiento debido al efecto Joule – Thomson, y en consecuencia una remoción de vapor de agua por condensación. <sup>16</sup>

El proceso consta de un enfriamiento adiabático, donde a consecuencia de una reducción fuerte de la temperatura, se presenta la condensación de la mayoría de los elementos de mayor peso en la corriente del gas, dentro de los cuales se encuentra el agua. Debido a la potencial formación de hidratos, en algunos casos, el proceso se da en acompañamiento con un inhibidor de hidratos como el metanol, evitando así su formación y los potenciales inconvenientes operativos<sup>17</sup>.

Mediante la deshidratación por expansión se tienen las siguientes ventajas:

- Rangos del punto de rocío entre -70°C y -100°C.
- el requerimiento de calor es mínimo y solo se da en los casos de la utilización de inhibidores de hidratos.

---

<sup>15</sup> ACOR, L.G. "Benefits of Using Deliquescing Desiccants for Gas Dehydration". SPE 82139 (2003); p 1-3.

<sup>16</sup> IKOKU, C.U. Natural Gas Production Engineering, Krieger Publishing Company, Malabar, Florida ,1992, p 146

<sup>17</sup> ELHADY. A. A. A. "Operating Experiences of DEG and MEG for Hydrate and Dewpoint Control in Gas Production Offshore Mediterranean". IPTC 10103 (2005); p 1-5.

## 2.5 PERMEACIÓN DEL GAS

Mediante la transferencia de más y la difusión de gas por membranas, se logra la deshidratación y remoción de la humedad del gas natural.

Se utiliza una membrana de barrera semipermeable, la cual permite el paso de distintos solutos a distintas tasas o caudales; así mismo, permite el paso de algunos componentes mientras retiene otros a la entrada, actuando como una filtración.<sup>18</sup> Los solutos son transportados a través de la membrana semipermeable como consecuencia de las fuerzas actuantes en ellos las cuales son determinadas con el gradiente de potencial.<sup>19</sup>

Las principales sustancias removidas a través de la utilización de membranas semipermeables son el agua, sulfuro de hidrogeno y el dióxido de carbono. En muchos casos, la remoción de estas sustancias se da en cabeza de pozo, llegando a los parámetros de calidad deseados para la comercialización del gas: CO<sub>2</sub> por debajo de 2%, H<sub>2</sub>S por debajo de 4 ppm, vapor de agua por debajo de 6 lb/MMPCS<sup>20</sup>.

La utilización de membranas representa una alta efectividad den la remoción de CO<sub>2</sub>, muchas veces presentas en procesos de producción que manejen recobro mejorado mediante la inyección de CO<sub>2</sub><sup>21</sup>. Así mismo, este mecanismo de deshidratación es el más utilizados en producción de campos costa afuera, debido a su simplicidad, tamaño y peso, lo cual es vital en estas operaciones<sup>22</sup>. Previo al paso de la corriente de gas natural por la membrana, se debe asegurar que este se encuentre libre de impurezas sólidas y liquidas precipitadas, con tamaño mayor a las 3 micras. Y la temperatura de entrada debe estar mínimo a 10°C superior al punto de rocío del agua.

---

<sup>18</sup> MARKIEWICZ, G.S. "The Membrane Alternative for Natural Gas Treating: Two Case Studies. SPE 18230 (1965).

<sup>19</sup> OHLROGGE, K. "Membranes Technology for Natural Gas Processing. SPE 75505 (2002); p 1-.

<sup>20</sup> Comisión Reguladora de Energía y Gas. "Actualización al Reglamento Único de Transporte de gas Natural-RUT". Documento CREG-053, 16 de agosto de 2007.

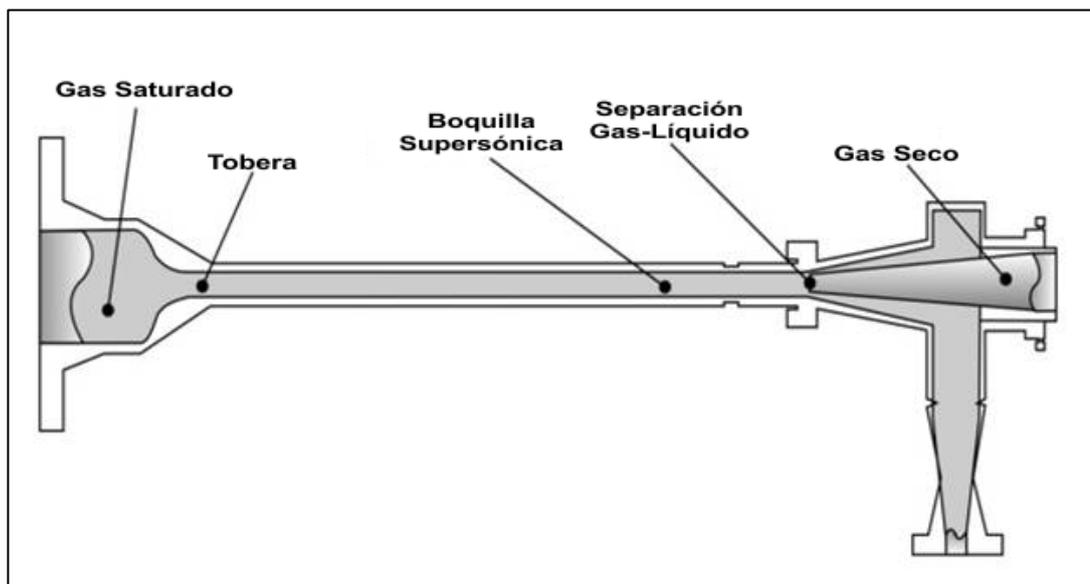
<sup>21</sup> BRUMBOIU, A.O. "Application of Semipermeable Membrane Technology in the Measurement of Hydrocarbon Gases in Drilling Fluids". SPE 62525 (2010); p 1-5.

<sup>22</sup> McKEE, R.L. "Offshore Dehydration of Natural Gas: An Evaluation of Alternatives". OTC 7595 (1994); p 1-8.

## 2.6 TECNOLOGÍA TWISTER

La tecnología twister es una de las más utilizadas en aplicaciones debido a su simplicidad, tamaño y peso por debajo que los equipos utilizados en otros métodos de deshidratación de gas natural. El separador twister supersónico (Figura 4), utiliza distintos principios en su proceso de deshidratación, como lo son la expansión, la separación ciclónica entre gas y líquido, recompresión, todo en un equipo compacto que permite la separación de hidrocarburos pesados y agua, del más liviano gas natural.

**Figura 4. Concepto de un separador twister.**



Tomado de GPSA Engineering Data Book, Gas Processors Suppliers Association, Tulsa, Oklahoma, 12th Edition, 2004.

Es de vital importancia lograr la condensación y separación al utilizar velocidades supersónicas a fin de en un solo proceso conjunto, se pueda tener optimizaciones en costo de operación, de mantenimiento y reducción en espacios. Las corrientes tienen un tiempo de residencia de milésimas de

segundos, pero es suficiente para su separación y evita la deposición de sólidos, la generación de hidratos y por ende no requiere de inhibidores<sup>23</sup>.

Así mismo, al no requerir de regeneración de ningún tipo de químico adicionado al proceso, la presencia de aromáticos como benceno, tolueno, xileno entre otros, no se hacen presentes.

## **2.7 GENERALIDADES DESHIDRATACION EN UN CAMPO DE COLOMBIA**

En cuanto al gas natural posee la capacidad de almacenar vapor de agua; dependiendo de las condiciones operacionales de temperatura y/o presión la que se encuentre esta aumenta o disminuye. El agua almacenada debe ser separada del gas, de lo contrario se pueden generar consecuencias operacionales negativas en las líneas de flujo. Uno de los inconvenientes más comunes es la formación y presencia de hidratos de gas, se dan por la falta de control en el punto de rocío del gas.

Por ello, la presencia de estos sólidos puede generar gran traumatismo a nivel de producción, integridad de equipos y riesgos del personal. De esta teoría se describen distintos métodos de control del punto de rocío y se desarrollan simulaciones que determinen las condiciones a las que se presenta el fenómeno con el fin de tener un mejor manejo de las variables operacionales de proceso.<sup>24</sup>

Así mismo, un mal control del punto de rocío del gas puede generar agua libre en las tuberías el cual al entrar en contacto con el CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S, gases comunes en la producción de gas natural, se puede generar corrosión en las tuberías, causando daños materiales y riesgos de fugas, pérdidas de presión y riesgo de

---

<sup>23</sup> KARIMI, A. "Selective Removal of Water From Supercritical Natural Gas". SPE 100442 (2006); p 2-6.

<sup>24</sup> BENÍTEZ, L.A., COSTAMAGNA, J.V., Erdman, E., Ale Ruiz L., & Tarifa, E.E. (2013). Determinación de las condiciones de formación de hidratos empleando process ecology hydrate application. AAIQ Asociación Argentina de Ingenieros Químicos - CSPQ, Buenos Aires, Argentina.

explosiones; por ende, se estudia de manera detallada las velocidades de corrosión en los pozos con estos gases asociados a su producción.<sup>25</sup>

Adicionalmente, para que un gas pueda ser transportado y comercializado debe cumplir con ciertos parámetros de calidad. Estos parámetros se exigen bajo la Resolución No. 071 (diciembre 03 de 1999). Por la cual se establece el Reglamento Único de Transporte de Gas Natural - (RUT). El contenido de vapor de agua en el gas es uno de los parámetros de calidad más importantes; este, no debe superar las 6 lbH<sub>2</sub>O/MMPCS. Es por esta razón que el gas producido debe ser deshidratado.<sup>26</sup>

**Tabla No. 1 Especificaciones de Calidad del Gas Natural**

Especificaciones	Sistema Internacional	Sistema Inglés
Máximo poder calorífico bruto (GHV) (Nota 1)	42.8 MJ/m <sup>3</sup>	BTU/ft <sup>3</sup>
Mínimo poder calorífico bruto (GHV) (Nota 1)	35.4 MJ/m <sup>3</sup>	950 BTU/ft <sup>3</sup>
Contenido de Líquido (Nota 2)	Libre de líquidos	Libre de líquidos
Contenido total de H <sub>2</sub> S máximo	6 mg/m <sup>3</sup>	0.25 grano/100PCS
Contenido total de azufre máximo	23 mg/m <sup>3</sup>	1.0 grano/100PCS
Contenido CO <sub>2</sub> , máximo en % volumen	2%	2%
Contenido de N <sub>2</sub> , máximo en % volumen	3%	3%
Contenido de inertes máximo en % volumen (Nota	5%	5%
Contenido de oxígeno máximo en % volumen	0.1%	0.1%
Contenido máximo de vapor de agua	97 mg/m <sup>3</sup>	6.0 Lb/MPCS
Temperatura de entrega máximo	49 °C	120°F
Temperatura de entrega mínimo	7.2 °C	45 °F
Contenido máximo de polvos y material en suspensión (Nota 4)	1.6 mg/m <sup>3</sup>	0.7 grano/1000 pc

Fuente: Normatividad Gas Natural Normatividad Gas Natural regimenjuridico.grupovanti.com

Nota 1: los datos se encuentran bajo condiciones estándar.

Nota 2: los líquidos son agua, hidrocarburos y otros.

Nota 3: inertes: CO<sub>2</sub>, nitrógeno y oxígeno.

Nota 4: máximo tamaño de material particulado: 15 micrones.

<sup>25</sup> FUENTES, C., & PEÑA, D. (2007). Predicción de la corrosión por CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>S en tuberías de acero al carbono. *Scientia et Technica*, (36), 881–886.

<sup>26</sup> Resolución No. 071 (diciembre 03 de 1999)

En la literatura de revisión, existen diferentes procesos de deshidratación de gas natural y el impacto operacional en la industria de los hidrocarburos.<sup>27</sup> Los tipos de deshidratación de gas natural más comúnmente son; absorción, adsorción, deliquesencia, expansión - refrigeración, premiación del gas, tecnología twister.

El proceso estudiado en este proyecto es la deshidratación mediante la absorción utilizando Glicol en este estudio, presenta este método grandes ventajas a nivel tecno – económico sobre las demás, también trae consigo una serie de problemas operacionales para tener en cuenta. Los más comunes son: inundación de la torre por arrastre, inundación de la torre por flujo descendente, arrastre de glicol, presencia de espumas, contaminación por sal, descomposición térmica, cambio del ph, presencia de hidrocarburos livianos, entre otros.

Cabe señalar que el problema que resulta persistente en el proceso de deshidratación del gas de un campo de Colombia es el arrastre de glicol. Lo que contempla liquido transportado del plato inferior al plato inmediatamente superior debido a la velocidad del gas. Esto reduce la eficiencia de deshidratación de los platos; así mismo contamina el producto final, que en este caso es gas natural deshidratado. Si la velocidad es suficientemente alta, el glicol agitado por el gas genera espuma, y al desprenderse el gas de la espuma, arrastra consigo gotas de glicol generando inconvenientes en equipos aguas abajo de la torre<sup>28</sup>.

El principio de conservación de la materia expuesto por Bernoulli sugiere una relación inversamente proporcional entre velocidad y presión<sup>29</sup>. Aplicado para el caso de la deshidratación de gas mediante una torre contactora, implica que el arrastre de glicol puede ser mitigado controlando una de las dos variables.

---

<sup>36</sup>RIBÓN, H. M., SANTOS, N. S., & Cancino, O. O. (2010). MÉTODOS DE DESHIDRATACIÓN DE GAS NATURAL. Revista Fuentes, El Reventón Energético, 8(2), 55-64.

<sup>28</sup> ESPINEL, A. C., & HERNÁNDEZ, N. J. (2007). DISEÑO Y PROBLEMAS OPERACIONALES EN TORRES CONTACTORAS DE PLATOS EN PLANTAS DE DESHIDRATACIÓN DE GAS CON GLICOL. Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Bucaramanga, Colombia.

<sup>29</sup> The principle and applications of Bernoulli Equation Ruqiong Qin and Chunyi Duan 2017 J. Phys.: Conf. Ser. 916 012038

## 2.8 MODELOS DE SIMULACIÓN EN ESTADO ESTABLE Y EN ESTADO DINÁMICO

La alta demanda por el gas natural se ha dado a raíz de la dependencia generada por el ser humano frente a este tipo de combustible como una fuente principal de energía, y en paralelo con la reducción progresiva de la producción de petróleo. El gas es utilizado en mayor medida como combustible en plantas de generación eléctrica, procesos industriales de secado como en la industria de la cerámica, cementeras, ladrilleras; así mismo, el mercado residencial y comercial son quizás el sector más dependiente del hidrocarburo. Por lo cual el tratamiento bajo condiciones establecidas de comercialización del gas natural, son indispensables. Es por eso por lo que la deshidratación de gas natural, con la reducción casi total de la humedad o vapor de agua presente en el hidrocarburo es uno de los procesos claves para alcanzar las propiedades de gas natural requeridas en el mercado.<sup>30</sup>

Generalmente y debido a las condiciones normales de formación de los hidrocarburos, la producción de gas natural está permanentemente asociada a la producción de vapor de agua, ya que, bajo el escenario común de producción, la sustancia se encuentra bajo las condiciones de saturación<sup>31</sup>.

La producción de gas está asociada a la presencia de impurezas como el dióxido de carbono, arenas, sulfuro de hidrogeno, oxígeno, aromático, carbonatos, nitrógeno; sin embargo, el agua, es una impureza que siempre está presente, y que resulta estrictamente necesaria su remoción debido al impacto negativo que tiene en el gas natural como combustible, al mermar drásticamente sus propiedades calóricas, así como lo potenciales problemas asociados a la

---

<sup>30</sup> MOHAMMAD, 2009 Mohammad A, 2009, Natural gas dehydration using triethy-lene glycol (TEG). M.Sc. Thesis, Pahang University, Ma-laysia. pp. 40-80.

<sup>31</sup> RAHIMPOUR y col., 2013. Rahimpour M, Saidi M, Seifi M, 2013, Improvement of natural gas dehydration performance by optimization of operating conditions: a case study in Sarkhun gas processing plant, J. Nat. Gas. Sci. Eng. 15, pp. 118-126.

precipitación del vapor de agua y posterior congelamiento formado hidratos capaces de taponar tuberías, dañar estructuras, corroer equipos, etc.<sup>32</sup>.

El proceso de deshidratación más común empleado en la industria, es la absorción mediante la utilización de un solvente líquido, glicol. Lo anterior debido a los bajos costos económicos asociados a la operación, disponibilidad de insumos y facilidad de procesos<sup>33</sup>.

Existe una extensa variedad de glicoles, algunos utilizados en proceso industriales no relacionados con la deshidratación ni captura de agua, y los utilizados en la producción de gas y petróleo, los cuales tienen propiedades que les permite la captura de las moléculas de agua al contacto con la corriente de gas. Existen tres tipos de glicoles utilizados en la industria: etilenglicol, dietilenglicol y trietilenglicol<sup>34</sup>; siendo este último el de mayor empleabilidad debido a su buena captura de agua y bajo costo. Los tres tipos de glicoles requieren de procesos térmicos de regeneración que les permita un proceso cíclico así recuperando rápidamente sus propiedades fisicoquímicas. Se debe no solo tener en cuenta la eficiencia de los glicoles, área definida o presupuesto; también se debe tener una perspectiva ambiental frente a la formación de hidratos, corrosión y producción de aromáticos a la atmosfera<sup>35</sup>.

Los investigadores Partho y Ruhul en el año 2011, realizaron una simulación de una corriente de gas Bakhrabad, para una planta de tratamiento de gas natural, mediante la utilización de la herramienta de simulación Aspen Hysys. La simulación se realizó en estado estacionario, utilizando los datos reales de la planta, tanto en dimensiones como en especificaciones fisicoquímicas.

---

<sup>32</sup> OBANIJESU 2009. ObaniJesu E, 2009, Modeling the H<sub>2</sub>S contribution to internal corrosion rate of natural gas pipeline, *Energ. Sources, Part A*, 31, pp.348-363.

<sup>33</sup> HUBBARD y col., 2000 R, y Campbell J, 2000, An appraisal of gas dehy-dration processes. *Hydrocarbon Eng.* 5 pp.71-77.

<sup>34</sup> BAHADORI Y COL., 2008 A, Hajizadeh Y, Vuthaluru H, Tade M, Mokhatab S, 2008, Novel approaches for the prediction of density of glycol solutions. *Journal of Natural Gas Chemistry* 17 pp. 298-302.

<sup>35</sup> STEWART y col., (2011). Stewart M, Arnold K, 2011, *Gas dehydration Field Manual*. Houston: Gulf Professional Publishing, pp. 40-77.

Realizaron una comparativa entre la simulación (teórica) y la operación real buscando optimizaciones en los procesos. Lograron reducir las pérdidas en varios eslabones de la cadena de tratamiento y modificaron algunos elementos. Demostrando así la importancia de este tipo de herramientas incluso en operaciones ya existentes<sup>36</sup>.

En el año 2013, los investigadores Abdulrahman R y Sebastine, realizaron importantes aportes a nivel de simulaciones de procesos relacionados con el tratamiento de deshidratación de corrientes de gas natural. Se hicieron varios análisis con información referente al campo Khurmala en Iraq, y utilizaron la herramienta de simulación Aspen Hysys. Lograron una disminución del vapor de agua en corrientes de gas natural por debajo de 0,1 ppm. Adicionalmente, lograron realizar comparativos entre distintos tipos de glicol determinando sus eficiencias, perdidas, velocidades y relacionaron varias propiedades físicas con el tipo de glicol utilizado.

En 2009, Khosravanipour M y Col<sup>37</sup>. Lograron ejecutar un estudio teórico practico del equilibrio isobara de una fase cuya mezcla era entre agua y trietilengicol. Demostraron, a través de correlaciones de modelos como Van Laae y NRTL, que la pureza del trietilengicol luego de ser regenerado en el rehervidor y de la volatilidad del agua presente en la mezcla de agua y trietilengicol, se encuentran altamente afectados por la presencia del tolueno, convirtiéndolo en un agente promovedor de la deshidratación.

---

<sup>36</sup> PARTHO R Y RUHUL M (2011) Partho SR, Ruhul Amin M, 2011, Aspen-HYSYS Simula-tion of Natural Gas Processing Plant., Journal of Chemical Engineering, IEB Vol. ChE. 26, No. 1, December, pp 62-79.

<sup>37</sup> KHOSRAVANIPOUR M y col. (2009) Khosravanipour M, Rahimpour M, Shariati A, 2009, Va-por-liquid Equilibria of water TriethyleneGlycol (TEG) and water + TEG + toluene at 85 kPa. J. Chem. Eng. Data 54, pp. 876-881.

## **2.9 ALTERNATIVA ADECUADA PARA ATENUAR EL ARRASTRE DE GLICOL**

A fin de poder realizar una adecuada reducción de arrastre de glicol, es importante inicialmente cuantificar las pérdidas por evaporación salientes de la torre contactora, así como las pérdidas ocasionadas en el proceso de regeneración del glicol, por evaporación principalmente. La cuantificación resulta teórica, debido a la complejidad de contar con un dato real y medido en campo, teniendo en cuenta que las condiciones de diseño de la planta difícilmente se logren bajo un escenario real. Debido a la generación de espuma o una regeneración no adecuada por temperatura, y sumado a la cuantificación teórica de pérdidas del equipo; se pueden determinar desviaciones de arrastre o pérdida de glicol.

Se tienen en cuenta que el consumo total del glicol puede presentar pérdidas en el rehervidor debido a la temperatura de regeneración, por evaporación en algún punto del proceso, pero con mayor presencia en el rehervidor, arrastre debido a generación de espumas, fugas en la instrumentación o en el sistema de bombeo y errores operativos en el proceso de reposición de glicol.

La pérdida más común de glicol se da en el rehervidor.

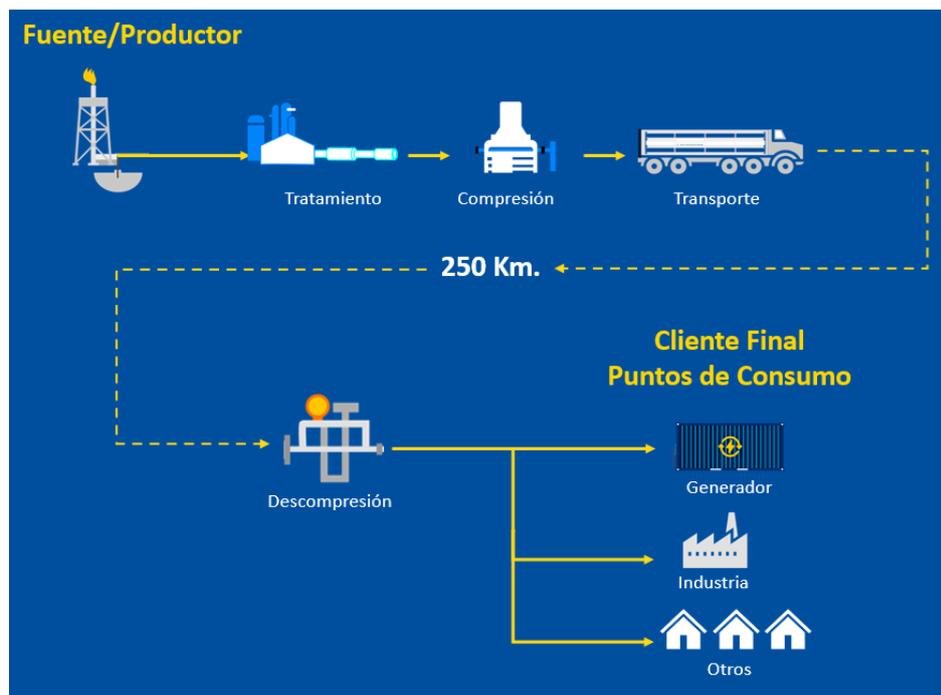
### 3. MARCO CONCEPTUAL

#### 3.1 GASODUCTOS VIRTUALES

Sistemas de módulos de gas natural comprimidos que pueden ser transportados vía terrestre o fluvial de manera independiente al sistema nacional de transporte o red de distribución de gas. Requieren de los siguientes elementos para su existencia:

1. Sistema de compresión de gas, a través del cual se cargan los módulos a presiones máximas de 3.600 psi.
2. Módulos de gas natural comprimido, almacenan el gas con rangos de volumen entre 2.000 m<sup>3</sup> hasta 10.000 m<sup>3</sup> de acuerdo con el tipo de tecnología a utilizar.
3. Sistema de transporte o logístico, consta de tractocamión y tráiler, mediante el cual se transporta el módulo de gas natural comprimido.
4. Sistema de descompresión, punto de recibo del gas. donde se descomprime el gas y se entrega a la red de distribución o destinatario final. Las presiones de descompresión pueden llegar a mínimos de 30 psi.
5. Gas natural.

**Figura 5. Esquema del proceso gasoducto virtual**



Fuente: Elaborado por el autor

La utilización de gasoductos virtuales nace de la necesidad de limitaciones que existen a nivel de infraestructura en los sistemas nacionales de transporte de gas y la cantidad de hallazgos de gas en zonas no interconectadas. De esta forma, se logra el desarrollo de campos de gas aislados, a través de este mecanismo, buscando atender la creciente demanda de gas natural del país.

**Figura 6. Zonas no Interconectadas**



Fuente: Elaborado por el autor

## **3.2 DESHIDRATACIÓN DEL GAS**

El gas natural, al salir del pozo de producción, tiene elementos no aptos para su comercialización. Un elemento presente, es el vapor de agua en la corriente del gas. Esta impureza debe ser retirada mediante procesos de deshidratación. Los más utilizados en la industria son la deshidratación por absorción y deshidratación por adsorción; no obstante, existen otros métodos como la utilización de membranas o procesos de fraccionamiento de líquidos, que permiten este objetivo<sup>38</sup>.

## **3.3 DESHIDRATACIÓN POR ABSORCIÓN**

La utilización de desecantes líquidos es el método más económico para lograr los parámetros requeridos de deshidratación. Los líquidos desecantes, más comúnmente utilizados en la industria para deshidratar corrientes de gas natural con altos contenidos de humedad, son el dietilenglicol, y el trietilenglicol. Es clave tener en cuenta que estos desecantes líquidos, pertenecientes a la familia de los glicoles, son utilizados mayormente en procesos que requieren puntos de rocío entre 60F y 120F <sup>39</sup>.

## **3.4 DESHIDRATACIÓN POR ADSORCIÓN**

El método utiliza desecantes sólidos que capturan el vapor de agua en las corrientes de gas natural mediante adsorción, condensación capilar o reacción química.

Frente a otros métodos de deshidratación, este método puede presentar en algunos casos situaciones desfavorables como: una mayor inversión inicial, los elementos desecantes son fácilmente contaminados por otras sustancias causando pérdida de sus propiedades fisicoquímicas, potencial caída de presión,

---

<sup>38</sup> ZAMORA, M. (2015). CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE LA INGENIERIA DE PRODUCCION DE GAS NATURAL. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

<sup>39</sup> LEMUS, M. I. (2014). DESHIDRATACION DE GAS NATURAL POR ABSORCIÓN. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

entre otros. Sin embargo, es muy útil en alcanzar los puntos de rocío necesarios de las corrientes de gas<sup>40</sup>.

### **3.5 CAÍDAS SÚBITAS DE PRESIÓN Y ARRASTRE DE GLICOL**

En los procesos de deshidratación de corrientes de gas se esperan pérdidas teóricas de glicol, y no deben sobre pasar el 0,1 galón de glicol por cada millón de pie cubico tratado. La pérdida de glicol puede generar innumerables problemas en todo el proceso, como por ejemplo la corrosión en las facilidades de tratamiento. Lo anterior debido a que es una sustancia altamente corrosiva cuando su pH está por debajo de 6. El control de pH en los glicoles se puede controlar mediante la utilización de aminos que balanceen la ecuación química y mantenga el glicol dentro de parámetros de operación.

A pesar de los inconvenientes operativos que se puedan generar al utilizar la absorción como método de deshidratación, resulta el método más utilizado en la industria debido a la baja complejidad de los controles que permiten una operación estable. Adicionalmente, la deshidratación con este método resulta altamente efectiva y de bajo costo.

---

<sup>40</sup> LEMUS, M. I. (2014). DESHIDRATACION DE GAS NATURAL POR ABSORCIÓN. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

## 4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN Y CARGUE DE MÓDULOS DE GAS COMPRIMIDO

### 4.1 MODELO DIAGNOSTICO

Figura 7. Modelo diagnóstico



Fuente: Elaborada por el autor

Se evidencia en campo que las variables de mayor impacto en la deshidratación de gas y la presencia de arrastre de glicol en el proceso de producción de gas natural, son la presión de entrada de gas y la presión de salida de gas; más específicamente la diferencia entre ambas. En las simulaciones dinámicas, se confirma esta afirmación. Dentro de todas las variables, las presiones, resultan con espacios de mejora importante, a diferencias de otras variables, cuyos rangos limitados de acción no concluyen en impactos positivos del proceso.

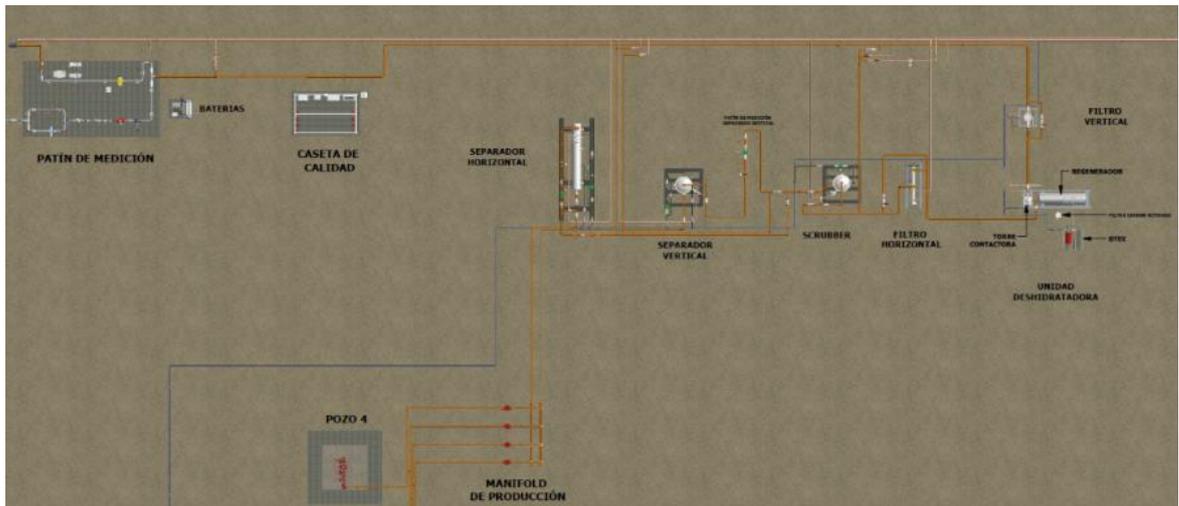
La temperatura también tiene un papel importante en el proceso de deshidratación del gas; no obstante, no representa un impacto sustancial en el arrastre de glicol.

## 4.2 ÁREAS DE PROCESO CAMPO DE COLOMBIA

El campo se encuentra alejado de cualquier sistema nacional de transporte, por este motivo, se recurre a la utilización de gasoducto virtual para el fin de comercializar el gas.

Facilidades de Producción y planta de tratamiento y deshidratación de gas natural.

**Figura 8. Áreas de proceso**



Fuente: Elaborada por el autor

### 4.2.1 Pozos

En relación con este tema, un campo de Colombia cuenta con cuatro pozos dentro de una sola locación donde los cabezales se encuentran a 25 metros de distancia el uno del otro y la producción total del campo aproximada es de cuatro millones de pies cúbicos día, con una presión en cabeza de los pozos de 1000 psig a una temperatura promedio de 100 F.

El gas producido es seco y sin presencia de H<sub>2</sub>S ni CO<sub>2</sub>, por lo cual, el único proceso realizado en campo para su tratamiento es la deshidratación. Los cuatro pozos convergen en un manifold de producción el cual dirige las corrientes al separador de prueba y/o al separador de producción dependiendo de los requerimientos operacionales.

#### **4.2.2 Separación**

Se tiene en campo dos separadores, separador vertical (producción), separador y horizontal (prueba). El manifold de producción permite direccionar los pozos de manera deseada a separadores de prueba y/o producción. Se busca retener cualquier fluido distinto al gas, sobre todo el agua producida al momento de enviar todo el proceso a tea por paradas de planta o recuperaciones de presión. Los separadores de prueba y producción cuentan con medidores platina de orificio para cuantificar el caudal de gas proveniente de los pozos.

#### **4.2.3 Deshidratación**

Para el proceso de deshidratación del gas proveniente de un campo de Colombia, se eligió inicialmente deshidratación de absorción mediante glicol. Para el caso puntual, se utiliza trietilenglicol para la extracción de la humedad del gas. Al inicio de la planta se tiene un filtro horizontal para retención de partículas desde 1 micra. Posteriormente se utiliza una torre contactora de 8 platos y un diámetro de 16 pulgadas.

Así mismo se cuenta con un regenerador de glicol para la evaporación del agua absorbida por el TEG. La corriente de gas de entrada a la contactora viene con una humedad aproximada entre 45 LbH<sub>2</sub>O/MMSCF y 60 LBH<sub>2</sub>O/MMSCF dependiendo de la temperatura ambiente. Gas de salida (gas seco) pasa por un filtro con capacidad de filtración a partir de 0,3 micra para evitar material particulado en el gas de venta.

Los rangos operacionales de la planta son los siguientes:

Caudal: 2 MMSCFD – 6 MMSCFD

Presión: 900 Psig – 1200 Psig

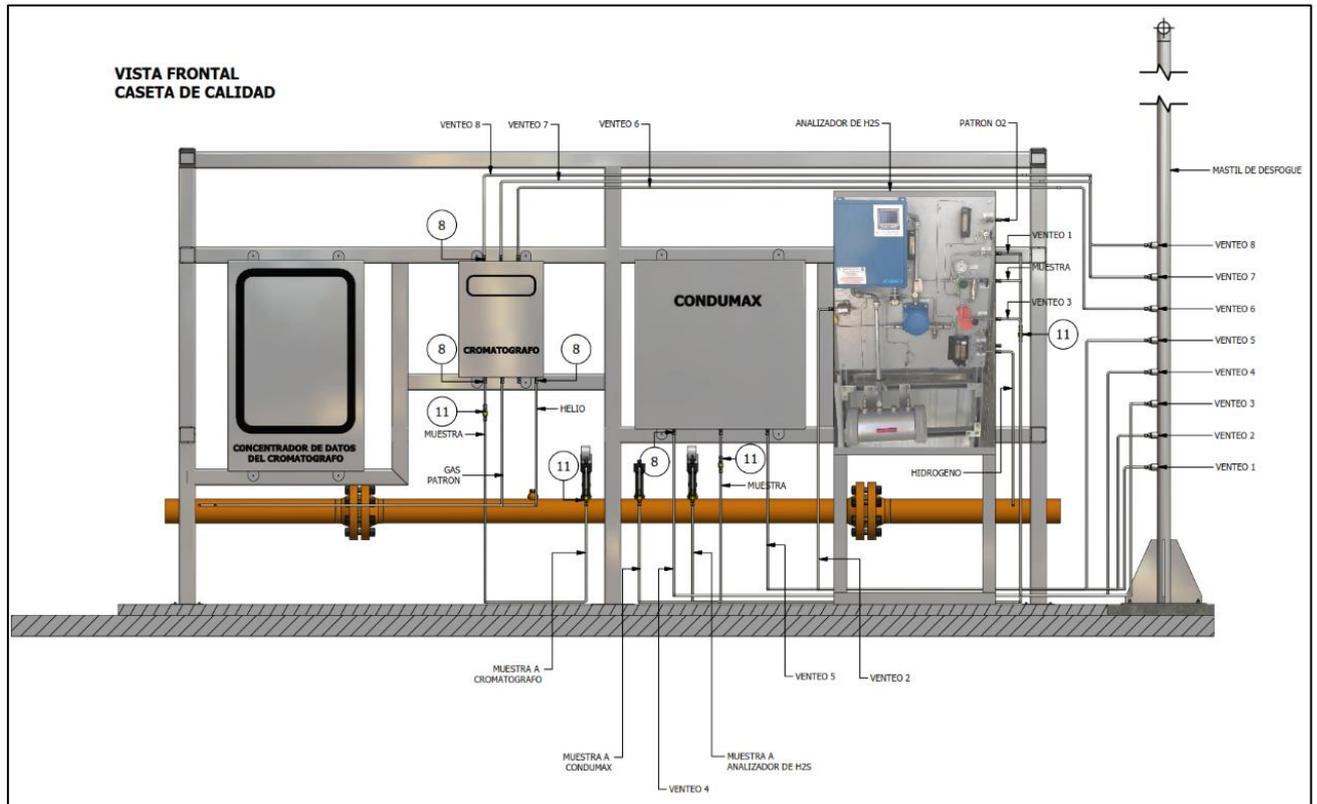
Temperatura: 77 F – 113 F

La planta de tratamiento se encuentra a nivel del mar.

#### 4.2.4 Monitoreo de la Calidad del Gas

El área de calidad se encuentra a 80 metros aguas debajo de la planta deshidratadora.

**Figura 9. Sistema de Calidad**



Fuente: Elaborada por el autor

Se instalaron los siguientes equipos para analizar de manera constante la calidad de gas deshidratado.

**Cromatógrafo: Marca: Yamatake.**

Modelo: HGC 303.

Método de análisis: TCD.

Variables analizadas: C1, C2, C3, C4, I-C4, C5, I-C5, C6+, N2, CO2, gravedad específica, densidad y poder calorífico.

**Figura 10. Cromatógrafo**



Fuente: Cromatografía de gases - Wikipedia, la enciclopedia libre es.wikipedia.org

#### Variables a Monitorear

La cromatografía, es un método de separación que nos permite evaluar el % de los hidrocarburos que conforman el gas, así como su poder calorífico, densidad, gravedad específica. El cromatógrafo instalado es el siguiente: Poder calorífico, es la cantidad de energía liberada por unidad de combustible durante el proceso de combustión. Las unidades comúnmente usadas BTU/P3, MJ/m3, Kcal/Kg. Y finalmente: Gravedad específica, es la relación que existe entre la densidad absoluta de una sustancia y otra (sustancia referente). Para el caso de los líquidos se usa el agua como sustancia referente y para los gases se utiliza el aire.

## Analizador de humedad y HCDP

Marca: Michell

Modelo: Condumax II.

Método de análisis: espejo enfriado para HCDP y celda electroquímica para contenido de H<sub>2</sub>O.

**Figura 11. Condumax**



**Fuente:** Analizador de gas natural - Condumax II - Process Sensing Technologies - de agua / de hidrocarburo / del punto de rocío Analizador de gas natural - Condumax II - Process Sensing Technologies - de agua / de hidrocarburo / del punto de rocío [directindustry.es](http://directindustry.es)

Variables analizadas: HCDP, y contenido de H<sub>2</sub>O.

Variables a Monitorear

Temperatura de Dew point de hidrocarburo, Es la temperatura del gas, a una presión puntual, donde los componentes del mismo pasan de estado gaseoso a líquido. (punto de inicio de condensación).

Humedad, Es la cantidad de vapor de agua presente en el gas. Se establece como una relación entre la cantidad del agua presente por unidad de volumen de gas. [mg/m<sup>3</sup>], [Lb/MMSCF], [ppm].

## Analizador de H<sub>2</sub>S y Azufre total

Marca: Envent

Modelo: 331 y 331S.

**Figura 12. Método de análisis: óptico con RXN en cinta de acetato de plomo**



Fuente: Fotografía tomada por el autor

### Variables a Monitorear

- El Ácido Sulfhídrico; es un gas altamente tóxico presente en algunas cadenas de hidrocarburos. Por su toxicidad y corrosividad, es fuertemente regulado por las entidades gubernamentales y controlado por los productores y transportadores de hidrocarburos.
- El azufre total afecta el poder calorífico del gas y el rendimiento en la combustión de motores de GNV.

#### 4.2.5 Patín de Medición Gas a Venta

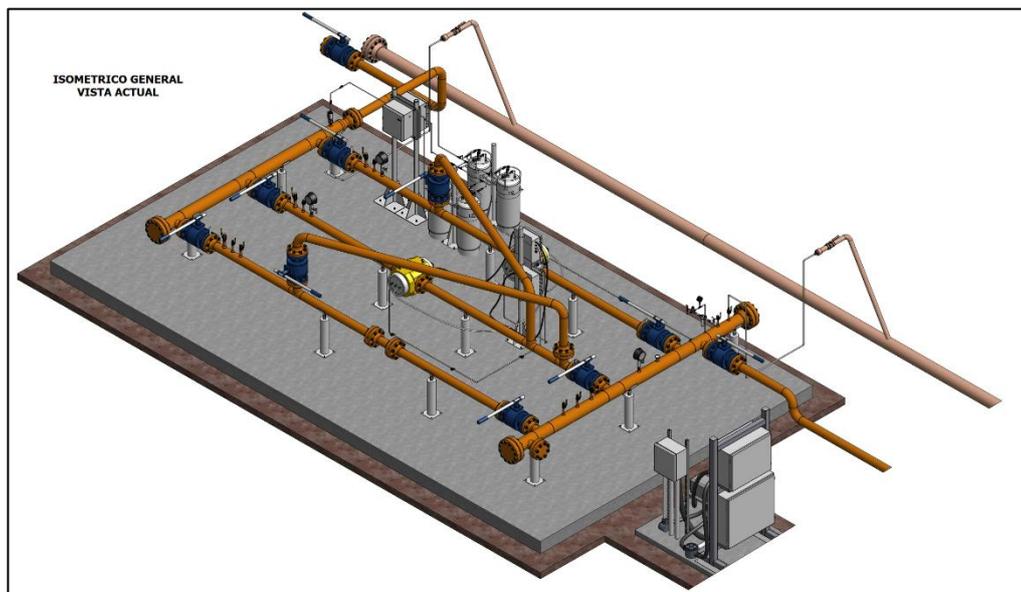
La medición de un campo de Colombia para el gas de comercialización está constituida por dos medidores rotatorios FMG G250 ANSI 600 de 4 pulgadas, monitoreados en línea a través de comunicación GPRS y radio.

Se tiene aguas abajo del sistema de medición, un sistema de odorización del gas con una mezcla de 80% terbutilmercaptano (TBM) y 20% sulfuro de metiletilo (MES) mediante un sistema de inyección controlado vía SCADA.

Variables a Monitorear

- Presión entrada.
- Presión salida.
- Temperatura.
- Volumen corregido y no corregido.
- Voltaje.
- Nivel de odorización del gas (concentración).

**Figura 13. Patín de Medición**



Fuente: Elaborada por el autor

#### 4.2.6 Sistema de Compresión

El área está conformada por compresores recíprocos de gas de dos etapas. Se cuenta en total con 4 compresores marca Aspro de la siguiente manera:

- 3 compresores de rangos operativos (2 etapas):

Presión mínima de succión: 290 psi

Presión máxima de succión: 870 psi

Presión máxima de descarga: 3625 psi

Caudal máximo: 2500 Nm<sup>3</sup>/H

- 1 compresor Twin (2 etapas): paquetizado dos compresores en un solo skid.

Presión mínima de succión: 290 psi

Presión máxima de succión: 870 psi

Presión máxima de descarga: 3625 psi

**Figura 14. Compresor**



Fuente: Caudal máximo por unidad: 2500 Nm<sup>3</sup>/H Operadores de Compresores de Gas y de Estaciones de Bombeo de Gas mproximopaso.org



crítica. Bajo una operación estable, la corriente aporta un volumen de 3.100 KPCD a una presión de 940 PSIG y una temperatura de 90 F.

Bajo las condiciones de presión y temperatura del proceso, el gas alcanza una humedad de 44 lb/MMSCF, por lo que requiere de un proceso de deshidratación para su comercialización como gas natural.

#### **4.3.2 Glicol Pobre**

Este elemento posee un porcentaje de pureza superior al 95%, es la corriente de glicol de entrada a la torre contactora, aporta el volumen trietilenglicol necesario para la deshidratación de gas natural. Impacta al proceso en las variables de pureza, temperatura y volumen. Partiendo de una pureza correcta, la variable volumen tiende a ser la más crítica ya que se requiere la ocupación de más del 80% del volumen del sistema para el buen funcionamiento, dentro de los parámetros de diseño.

#### **4.3.3 Gas a Medición**

Este proceso es la corriente resultante del proceso de deshidratación. Bajo un escenario optimo, la corriente aporta gas natural dentro de parámetros RUT, los cuales definen si el gas se encuentra en condiciones de comercialización. Las variables aguas arriba afectan directamente la composición del hidrocarburo.

La corriente de gas a medición debe mantener una presión estable, de lo contrario puede afectar directamente la velocidad del gas, causando arrastres de glicol y por ende perdidas del mismo. Los arrastres de glicol se dan generalmente al tener una reducción de presión súbita en la corriente de gas a medición. los baches de glicol afectan directamente la integridad de los equipos de control y monitoreo de calidad, los cuales se encuentran aguas abajo del sistema de deshidratación. La variable crítica por mantener en esta corriente es la presión.

#### **4.3.4 Gas Comprimido**

Corriente resultante del proceso de compresión y llenado de módulos de gas natural comprimido a 3.600 PSIG. Las variaciones de presión en esta etapa del proceso impactan directamente en todo el sistema. Si la compresión se detiene, todo el sistema se presuriza y se da una igualación de presiones con el cabezal del pozo; por el contrario, si la compresión aumenta su tasa de flujo, la presión de todo el sistema disminuye, generando potenciales daños en el subsuelo, fallas en la instrumentación de las facilidades de producción, y arrastres de glicol desde la planta deshidratadora debido al incremento en la velocidad del gas generado por los altos diferenciales de presión entre la planta y la corriente de gas a medición.

Debido a la configuración del sistema de compresión, no se contemplan ajustes en esta etapa. Sin embargo, se recomienda que los sistemas de compresión para gas natural comprimido cuenten con variadores de revoluciones por minutos con lo cual se pueda mantener de manera estable las variables de presión y velocidad de flujo.

## **5. ESQUEMAS DE PROCESO PARA PROTEGER LA PLANTA DE DESHIDRATACIÓN DE CAÍDAS SÚBITAS DE PRESIÓN, DURANTE EL CARGUE DE MÓDULOS DE GAS COMPRIMIDO**

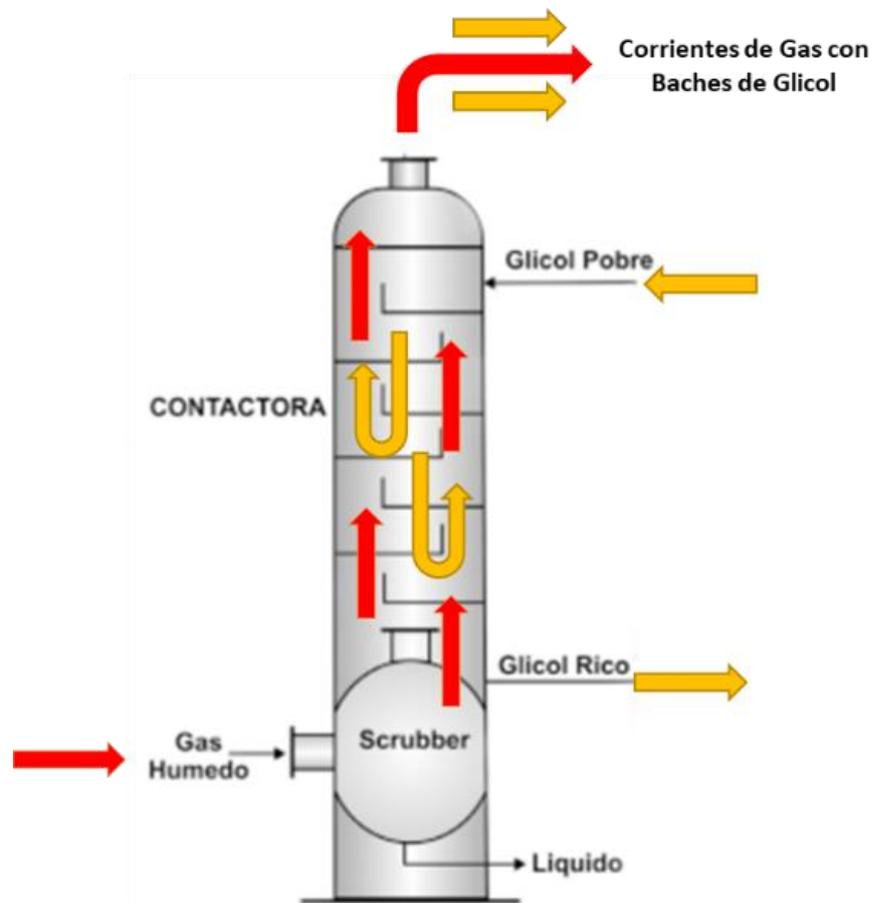
Una de las variables más importantes en el proceso de deshidratación del gas natural, es la presión dentro de la torre contactor. Esta presión controla el proceso de absorción o adsorción de vapor de H<sub>2</sub>O por el glicol. Para el caso de estudio, la planta deshidratadora es de características absorbentes y el tipo de glicol utilizado es el trietilenglicol. El tiempo de retención del gas y trietilenglicol en la torre contactora debe ser lo suficiente para que las moléculas hidrofílicas del glicol logren la retención de agua de la corriente del gas. Si la presión del sistema varía, por fuera de los parámetros de diseño establecidos por el fabricante, el contacto gas-TEG no resulta suficiente y la deshidratación pierde eficiencia. Como resultado se presentan humedades de gas no deseadas.

Si la presión del gas dentro de la torre contactora disminuye drásticamente, las corrientes de gas y de glicol, aumentan proporcionalmente su velocidad, lo cual reduce el tiempo de contacto entre ambas. En adición a la pérdida de eficiencia de deshidratación, la alta velocidad del gas en la torre contactora, puede derivar en problemas de arrastre de glicol.

Al obtener altas de velocidades, el gas, que va desde la parte inferior de la torre hacia la parte superior, choca bruscamente con la corriente de glicol que va en sentido contrario. Las colisiones de ambos fluidos provocan de partículas de glicol salgan por la parte superior de la torre. Si la situación es persistente y la velocidad es muy severa, el resultado serán cantidades importantes de glicol mezcladas con la corriente de gas natural, saliendo por la parte superior de la torre contactora hacia el sistema de medición y venta.

## Torre Contactora

Figura 16. Torre Contactora



Fuente: 3M™ Liqui-Cel™ Contactador de membrana serie industrial EXF-10x28 para el diseño de sistemas de eliminación de CO<sub>2</sub> a un coste más reducido

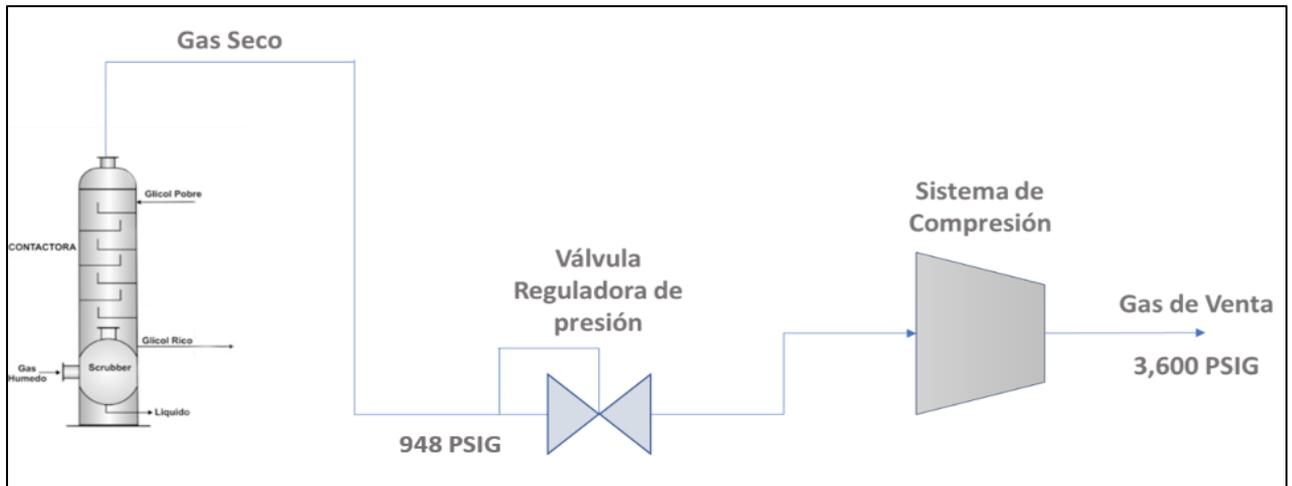
### 5.1 VÁLVULA REGULADORA DE PRESIÓN AGUAS DEBAJO DE PLANTA DESCOMPRESORA

Una de las formas más eficaces de regular presión, es mediante la restricción misma del flujo a través de cambios de diámetros internos en el medio conductivo. La utilización de una válvula reguladora permite precisamente esto, variar el diámetro del orificio de paso, buscando mantener presiones constantes.

Esto de la mano con un sistema de censado y control calibrado, permite que el operador, ajuste la presión del sistema de manera muy precisa. Son el censado y el control, las partes más complejas del sistema, y su instalación y calibración debe realizarse por personal calificado. El censado, para cumplir con la necesidad de mantener la presión de la torre contactora estable, se debe tomar la presión entre la torre contactora y la válvula reguladora. De esta manera la válvula se accionará con los cambios de presión aguas arriba y no con las variaciones de presión aguas abajo. Es de vital importancia, que la escogencia de la válvula sea la correcta. Se sugiere que la escogencia de esta sea realizada por el propio fabricante. La escogencia partiría de una serie de factores operacionales y de diseño como lo son: presión del sistema aguas arriba, presión esperada aguas abajo, volumen, diámetro, tipo de tubería, espesor, temperatura ambiente, cromatografía del gas, humedad del gas, dew point del gas, entre muchos otros factores, que el fabricante tendrá en cuenta para el adecuado seleccionar de la válvula. Así mismo, se sugiere que la instalación de la válvula, puesta en marcha y ajuste, sea realizado por el propio fabricante, adicionado a una capacitación al personal operativo del campo.

Como recomendación, y teniendo en cuenta que el sistema es mecánico y electrónico, lo cual requiere de mantenimientos preventivos y correctivos, donde en muchos de los casos, es necesario sacar de operación el equipo; es de buena práctica, la instalación de dos trenes de regulación, es decir, dos válvulas en paralelo. De esta manera el sistema de regulación tendrá una válvula principal y una secundaria, donde la válvula principal, operará la mayor parte del tiempo, y la secundaria entraría en operación en los casos de mantenimientos preventivos, mantenimientos correctivos, daños mecánicos, des calibración del sistema de control, o por cualquier necesidad que requiera sacar de servicio la válvula principal. De esta manera, el servicio o entrega del gas no se verá interrumpido por estos eventos y la operación tendrá mayor confiabilidad.

**Figura 17. Esquema Válvula Reguladora**



Fuente Elaborada por el autor

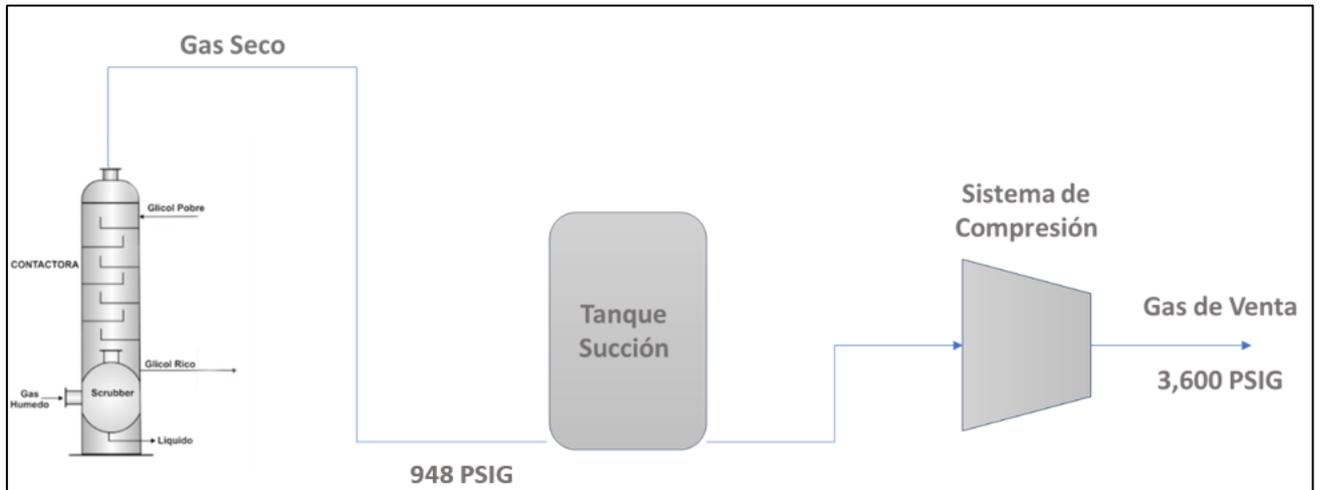
## **5.2 TANQUE DE SUCCIÓN AGUAS ARRIBA DE SISTEMA DE COMPRESIÓN**

En cuanto a los tanques de succión suelen ser instalados en los sistemas de compresión aguas arriba de los compresores. Su función principal es mantener un flujo de gas estable. Así mismo, permiten tener oscilaciones de presión cortas a la entrada de los compresores, permitiendo así una operación estable. De no contar con estos equipos, una operación estresada, podría incurrir en daños en equipos de regulación del sistema de compresión, desgaste en correas por los niveles de temperatura y sobre esfuerzos, cambios de aceites más frecuentes, y mantenimientos correctivos no esperados.

Es por eso, que la instalación del tanque de succión requiere de una ingeniería detallada, la cual garantice el tamaño, espesor de paredes, diámetro de vasija, diámetros de entrada y salida, ANSI de bridas, entre otras especificaciones, que garanticen que el tanque cumpla con su función. Todos los estudios previos al montaje y puesta en marcha deben considerar las condiciones operativas actuales del campo y las condiciones proyectadas, ya que el reemplazo de este tipo de infraestructura requiere de parada total de planta.

Sin embargo, el equipo debe contar con válvula de drenaje y válvula de seguridad PSV, que protejan la integridad de la estructura y en consecuencia una operación segura.

**Figura 18. Esquema Tanque de Succión**



Fuente: Elaborada por el autor

## 6. MODELOS DE SIMULACIÓN EN ESTADO ESTABLE Y EN ESTADO DINÁMICO PARA LOS DIFERENTES ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DE LA PLANTA DESHIDRATADORA

Se reportan las cuatro corrientes principales del proceso: gas a contactora, gas a medición, glicol pobre y gas a compresión. De estas se determinan las variables principales que están directamente relacionadas con la deshidratación del gas natural.

**Tabla 2. Propiedades Gas a Deshidratadora pg.1**

Company Name Not Available Bedford, MA USA		Case Name: PlantaCampoArjona 13 agosto.hsc	
		Unit Set: Dehydration1c2	
		Date/Time: Fri Jan 03 11:29:24 2020	
<b>Material Stream: Gas a Deshidratadora</b>		Fluid Package: Basis-1	Property Package: Peng-Robinson
<b>CONDITIONS</b>			
	Overall	Vapour Phase	
Vapour / Phase Fraction	1.0000	1.0000	
Temperature: (F)	90.00	90.00	
Pressure: (psig)	940.0	940.0	
Molar Flow (MMSCFD)	3.103	3.103	
Mass Flow (lb/hr)	5499	5499	
Std Ideal Liq Vol Flow (USGPM)	36.42	36.42	
Molar Enthalpy (Btu/lbmole)	-3.258e+004	-3.258e+004	
Molar Entropy (Btu/lbmole-F)	35.18	35.18	
Heat Flow (Btu/hr)	-1.110e+007	-1.110e+007	
Liq Vol Flow @Std Cond (USGPM)	1.605e+004	1.605e+004	
<b>PROPERTIES</b>			
	Overall	Vapour Phase	
Molecular Weight	16.14	16.14	
Molar Density (lbmole/ft3)	0.1829	0.1829	
Mass Density (lb/ft3)	2.952	2.952	
Act. Volume Flow (barrel/day)	7963	7963	
Mass Enthalpy (Btu/lb)	-2018	-2018	
Mass Entropy (Btu/lb-F)	2.180	2.180	
Heat Capacity (Btu/lbmole-F)	10.39	10.39	
Mass Heat Capacity (Btu/lb-F)	0.6440	0.6440	
LHV Molar Basis (Std) (Btu/lbmole)	3.437e+005	3.437e+005	
HHV Molar Basis (Std) (Btu/lbmole)	3.788e+005	3.788e+005	
HHV Mass Basis (Std) (Btu/lb)	2.347e+004	2.347e+004	
CO2 Loading	---	---	
CO2 App Ml. Con (lbmole/ft3)	---	---	
CO2 App WT Con (lbmol/lb)	---	---	
LHV Mass Basis (Std) (Btu/lb)	2.130e+004	2.130e+004	
Phase Fraction [Vol. Basis]	1.000	1.000	
Phase Fraction [Mass Basis]	1.000	1.000	
Phase Fraction [Act. Vol. Basis]	1.000	1.000	
Mass Exergy (Btu/lb)	266.9	---	
Partial Pressure of CO2 (psig)	-14.28	---	
Cost Based on Flow (Cost/s)	0.0000	0.0000	
Act. Gas Flow (ACFM)	31.05	31.05	
Avg. Liq. Density (lbmole/ft3)	1.166	1.166	
Specific Heat (Btu/lbmole-F)	10.39	10.39	
Std. Gas Flow (MMSCFD)	3.097	3.097	
Std. Ideal Liq. Mass Density (lb/ft3)	18.82	18.82	
Act. Liq. Flow (USGPM)	---	---	
Z Factor	0.8849	0.8849	
Watson K	19.40	19.40	
User Property	---	---	
Partial Pressure of H2S (psig)	-14.70	---	
Cp/(Cp - R)	1.236	1.236	
Cp/Cv	1.516	1.516	
Ideal Gas Cp/Cv	1.298	1.298	
Ideal Gas Cp (Btu/lbmole-F)	8.659	8.659	
Mass Ideal Gas Cp (Btu/lb-F)	0.5365	0.5365	
Heat of Vap. (Btu/lbmole)	3144	---	
Kinematic Viscosity (cSt)	0.2766	0.2766	
Liq. Mass Density (Std. Cond) (lb/ft3)	4.272e-002	4.272e-002	
Liq. Vol. Flow (Std. Cond) (barrel/day)	5.502e+005	5.502e+005	
Liquid Fraction	0.0000	0.0000	
Molar Volume (ft3/lbmole)	5.468	5.468	
Mass Heat of Vap. (Btu/lb)	194.8	---	
Phase Fraction [Molar Basis]	1.0000	1.0000	

Fuente: Elaborada por el autor

**Tabla 3. Propiedades Gas a Deshidratadora pg.2**

 Company Name Not Available Bedford, MA USA		Case Name: PlantaCampoArjona 13 agosto.hsc
		Unit Set: Dehydration1c2
		Date/Time: Fri Jan 03 11:41:04 2020
<b>Material Stream: Glicol Pobre</b>		Fluid Package: Basis-1
		Property Package: Peng-Robinson
<b>CONDITIONS</b>		
	Overall	Liquid Phase
Vapour / Phase Fraction	0.0000	1.0000
Temperature: (F)	101.9	101.9
Pressure: (psig)	945.0	945.0
Molar Flow (MMSCFD)	1.477e-002	1.477e-002
Mass Flow (lb/hr)	225.7	225.7
Std Ideal Liq Vol Flow (USGPM)	0.4000	0.4000
Molar Enthalpy (Btu/lbmole)	-3.230e+005	-3.230e+005
Molar Entropy (Btu/lbmole-F)	36.01	36.01
Heat Flow (Btu/hr)	-5.237e+005	-5.237e+005
Liq Vol Flow @Std Cond (USGPM)	0.4004	0.4004
<b>PROPERTIES</b>		
	Overall	Liquid Phase
Molecular Weight	139.2	139.2
Molar Density (lbmole/ft3)	0.5013	0.5013
Mass Density (lb/ft3)	69.77	69.77
Act. Volume Flow (barrel/day)	13.83	13.83
Mass Enthalpy (Btu/lb)	-2320	-2320
Mass Entropy (Btu/lb-F)	0.2587	0.2587
Heat Capacity (Btu/lbmole-F)	72.90	72.90
Mass Heat Capacity (Btu/lb-F)	0.5238	0.5238
LHV Molar Basis (Std) (Btu/lbmole)	1.281e+006	1.281e+006
HHV Molar Basis (Std) (Btu/lbmole)	1.396e+006	1.396e+006
HHV Mass Basis (Std) (Btu/lb)	1.003e+004	1.003e+004
CO2 Loading	---	---
CO2 App ML Con (lbmole/ft3)	3.500e-007	3.500e-007
CO2 App WT Con (lbmol/lb)	5.016e-009	5.016e-009
LHV Mass Basis (Std) (Btu/lb)	9204	9204
Phase Fraction [Vol. Basis]	0.0000	1.0000
Phase Fraction [Mass Basis]	0.0000	1.0000
Phase Fraction [Act. Vol. Basis]	0.0000	1.0000
Mass Exergy (Btu/lb)	6.892	---
Partial Pressure of CO2 (psig)	-14.70	---
Cost Based on Flow (Cost/s)	0.0000	0.0000
Act. Gas Flow (ACFM)	---	---
Avg. Liq. Density (lbmole/ft3)	0.5054	0.5054
Specific Heat (Btu/lbmole-F)	72.90	72.90
Std. Gas Flow (MMSCFD)	1.474e-002	1.474e-002
Std. Ideal Liq. Mass Density (lb/ft3)	70.35	70.35
Act. Liq. Flow (USGPM)	0.4033	0.4033
Z Factor	0.3177	0.3177
Watson K	8.816	8.816
User Property	---	---
Partial Pressure of H2S (psig)	-14.70	---
Cp/(Cp - R)	1.028	1.028
Cp/Cv	1.045	1.045
Ideal Gas Cp/Cv	1.039	1.039
Ideal Gas Cp (Btu/lbmole-F)	53.24	53.24
Mass Ideal Gas Cp (Btu/lb-F)	0.3825	0.3825
Heat of Vap. (Btu/lbmole)	---	---
Kinematic Viscosity (cSt)	15.96	15.96
Liq. Mass Density (Std. Cond) (lb/ft3)	70.28	70.28
Liq. Vol. Flow (Std. Cond) (barrel/day)	13.73	13.73
Liquid Fraction	1.0000	1.0000
Molar Volume (ft3/lbmole)	1.995	1.995
Mass Heat of Vap. (Btu/lb)	---	---
Phase Fraction [Molar Basis]	0.0000	1.0000
Aspen Technology Inc.		Aspen HYSYS Version 10
		Page 1 of 2

Fuente: Elaborada por el autor

**Tabla 4: Gas a Deshidratadora**

 Company Name Not Available Bedford, MA USA		Case Name: PlantaCampoArjona 13 agosto.hsc				
		Unit Set: Dehydration1c2				
		Date/Time: Fri Jan 03 11:29:24 2020				
<b>Material Stream: Gas a Deshidratadora (continuo)</b>		Fluid Package: Basis-1 Property Package: Peng-Robinson				
<b>PROPERTIES</b>						
	Overall	Vapour Phase				
Surface Tension (dyne/cm)	---	---				
Thermal Conductivity (Btu/hr-ft-F)	2.360e-002	2.360e-002				
Bubble Point Pressure (psig)	---	---				
Viscosity (cP)	1.308e-002	1.308e-002				
Cv (Semi-Ideal) (Btu/lbmole-F)	8.408	8.408				
Mass Cv (Semi-Ideal) (Btu/lb-F)	0.5210	0.5210				
Cv (Btu/lbmole-F)	6.856	6.856				
Mass Cv (Btu/lb-F)	0.4248	0.4248				
Cv (Ent. Method) (Btu/lbmole-F)	---	---				
Mass Cv (Ent. Method) (Btu/lb-F)	---	---				
Cp/Cv (Ent. Method)	---	---				
Reid VP at 37.8 C (psig)	---	---				
True VP at 37.8 C (psig)	---	---				
Liq. Vol. Flow - Sum(Std. Cond) (barrel/day)	5.502e+005	5.502e+005				
Viscosity Index	---	---				
Water Content(Gas) (lb/MMSCF)	44.13	44.13				
<b>COMPOSITION</b>						
<b>Overall Phase</b>		Vapour Fraction 1.0000				
COMPONENTS	MOLAR FLOW (lbmole/hr)	MOLE FRACTION	MASS FLOW (lb/hr)	MASS FRACTION	LIQUID VOLUME FLOW (barrel/day)	LIQUID VOLUME FRACTION
Methane	338.1914	0.9926	5425.5701	0.9867	1240.8536	0.9937
Ethane	0.4658	0.0014	14.0071	0.0025	2.6965	0.0022
Propane	0.0598	0.0002	2.6366	0.0005	0.3563	0.0003
H2S	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Nitrogen	1.4863	0.0044	41.6367	0.0076	3.5356	0.0028
CO2	0.1498	0.0004	6.5916	0.0012	0.5469	0.0004
n-Hexane	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
i-Pentane	0.0084	0.0000	0.6042	0.0001	0.0664	0.0001
n-Pentane	0.0038	0.0000	0.2746	0.0000	0.0299	0.0000
i-Butane	0.0246	0.0001	1.4282	0.0003	0.1740	0.0001
n-Butane	0.0047	0.0000	0.2746	0.0000	0.0322	0.0000
H2O	0.3173	0.0009	5.7164	0.0010	0.3922	0.0003
TEGlycol	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Total	340.7119	1.0000	5498.7402	1.0000	1248.6835	1.0000
<b>Vapour Phase</b>		Phase Fraction 1.0000				
COMPONENTS	MOLAR FLOW (lbmole/hr)	MOLE FRACTION	MASS FLOW (lb/hr)	MASS FRACTION	LIQUID VOLUME FLOW (barrel/day)	LIQUID VOLUME FRACTION
Methane	338.1914	0.9926	5425.5701	0.9867	1240.8536	0.9937
Ethane	0.4658	0.0014	14.0071	0.0025	2.6965	0.0022
Propane	0.0598	0.0002	2.6366	0.0005	0.3563	0.0003
H2S	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Nitrogen	1.4863	0.0044	41.6367	0.0076	3.5356	0.0028
CO2	0.1498	0.0004	6.5916	0.0012	0.5469	0.0004
n-Hexane	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
i-Pentane	0.0084	0.0000	0.6042	0.0001	0.0664	0.0001
n-Pentane	0.0038	0.0000	0.2746	0.0000	0.0299	0.0000
i-Butane	0.0246	0.0001	1.4282	0.0003	0.1740	0.0001
n-Butane	0.0047	0.0000	0.2746	0.0000	0.0322	0.0000
H2O	0.3173	0.0009	5.7164	0.0010	0.3922	0.0003
TEGlycol	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Total	340.7119	1.0000	5498.7402	1.0000	1248.6835	1.0000
Aspen Technology Inc.		Aspen HYSYS Version 10		Page 2 of 2		

Fuente: Elaborada por el autor

**Tabla 5. Propiedades Glicol Pobre pg. 2**

 Company Name Not Available Bedford, MA USA		Case Name: PlantaCampoArjona 13 agosto.hsc	
		Unit Set: Dehydration1c2	
		Date/Time: Fri Jan 03 11:41:04 2020	
<b>Material Stream: Glicol Pobre</b>		Fluid Package: Basis-1	Property Package: Peng-Robinson
CONDITIONS			
	Overall	Liquid Phase	
Vapour / Phase Fraction	0.0000	1.0000	
Temperature: (F)	101.9	101.9	
Pressure: (psig)	945.0	945.0	
Molar Flow (MMSCFD)	1.477e-002	1.477e-002	
Mass Flow (lb/hr)	225.7	225.7	
Std Ideal Liq Vol Flow (USGPM)	0.4000	0.4000	
Molar Enthalpy (Btu/lbmole)	-3.230e+005	-3.230e+005	
Molar Entropy (Btu/lbmole-F)	36.01	36.01	
Heat Flow (Btu/hr)	-5.237e+005	-5.237e+005	
Liq Vol Flow @Std Cond (USGPM)	0.4004	0.4004	
PROPERTIES			
	Overall	Liquid Phase	
Molecular Weight	139.2	139.2	
Molar Density (lbmole/ft3)	0.5013	0.5013	
Mass Density (lb/ft3)	69.77	69.77	
Act. Volume Flow (barrel/day)	13.83	13.83	
Mass Enthalpy (Btu/lb)	-2320	-2320	
Mass Entropy (Btu/lb-F)	0.2587	0.2587	
Heat Capacity (Btu/lbmole-F)	72.90	72.90	
Mass Heat Capacity (Btu/lb-F)	0.5238	0.5238	
LHV Molar Basis (Std) (Btu/lbmole)	1.281e+006	1.281e+006	
HHV Molar Basis (Std) (Btu/lbmole)	1.396e+006	1.396e+006	
HHV Mass Basis (Std) (Btu/lb)	1.003e+004	1.003e+004	
CO2 Loading	---	---	
CO2 App ML Con (lbmole/ft3)	3.500e-007	3.500e-007	
CO2 App WT Con (lbmol/lb)	5.016e-009	5.016e-009	
LHV Mass Basis (Std) (Btu/lb)	9204	9204	
Phase Fraction [Vol. Basis]	0.0000	1.000	
Phase Fraction [Mass Basis]	0.0000	1.000	
Phase Fraction [Act. Vol. Basis]	0.0000	1.000	
Mass Exergy (Btu/lb)	6.892	---	
Partial Pressure of CO2 (psig)	-14.70	---	
Cost Based on Flow (Cost/s)	0.0000	0.0000	
Act. Gas Flow (ACFM)	---	---	
Avg. Liq. Density (lbmole/ft3)	0.5054	0.5054	
Specific Heat (Btu/lbmole-F)	72.90	72.90	
Std. Gas Flow (MMSCFD)	1.474e-002	1.474e-002	
Std. Ideal Liq. Mass Density (lb/ft3)	70.35	70.35	
Act. Liq. Flow (USGPM)	0.4033	0.4033	
Z Factor	0.3177	0.3177	
Watson K	8.816	8.816	
User Property	---	---	
Partial Pressure of H2S (psig)	-14.70	---	
Cp/(Cp - R)	1.028	1.028	
Cp/Cv	1.045	1.045	
Ideal Gas Cp/Cv	1.039	1.039	
Ideal Gas Cp (Btu/lbmole-F)	53.24	53.24	
Mass Ideal Gas Cp (Btu/lb-F)	0.3825	0.3825	
Heat of Vap. (Btu/lbmole)	---	---	
Kinematic Viscosity (cSt)	15.96	15.96	
Liq. Mass Density (Std. Cond) (lb/ft3)	70.28	70.28	
Liq. Vol. Flow (Std. Cond) (barrel/day)	13.73	13.73	
Liquid Fraction	1.000	1.000	
Molar Volume (ft3/lbmole)	1.995	1.995	
Mass Heat of Vap. (Btu/lb)	---	---	
Phase Fraction [Molar Basis]	0.0000	1.0000	

Fuente: Elaborada por el autor

**Tabla 6. Propiedades Glicol Pobre continuación 2**

 Company Name Not Available Bedford, MA USA	Case Name: PlantaCampoArjona 13 agosto.hsc					
	Unit Set: Dehydration1c2					
	Date/Time: Fri Jan 03 11:41:04 2020					
<b>Material Stream: Glicol Pobre (continued)</b>		Fluid Package: Basis-1				
		Property Package: Peng-Robinson				
<b>PROPERTIES</b>						
	Overall	Liquid Phase				
Surface Tension (dyne/cm)	44.07	44.07				
Thermal Conductivity (Btu/hr-ft-F)	0.1130	0.1130				
Bubble Point Pressure (psig)	-14.45	---				
Viscosity (cP)	17.83	17.83				
Cv (Semi-Ideal) (Btu/lbmole-F)	70.91	70.91				
Mass Cv (Semi-Ideal) (Btu/lb-F)	0.5095	0.5095				
Cv (Btu/lbmole-F)	69.74	69.74				
Mass Cv (Btu/lb-F)	0.5011	0.5011				
Cv (Ent. Method) (Btu/lbmole-F)	67.87	67.87				
Mass Cv (Ent. Method) (Btu/lb-F)	0.4877	0.4877				
Cp/Cv (Ent. Method)	1.074	1.074				
Reid VP at 37.8 C (psig)	-14.51	-14.51				
True VP at 37.8 C (psig)	-14.45	-14.45				
Liq. Vol. Flow - Sum(Std. Cond) (barrel/day)	13.73	13.73				
Viscosity Index	26.04	---				
<b>COMPOSITION</b>						
<b>Overall Phase</b>		Vapour Fraction	0.0000			
COMPONENTS	MOLAR FLOW (lbmole/hr)	MOLE FRACTION	MASS FLOW (lb/hr)	MASS FRACTION	LIQUID VOLUME FLOW (barrel/day)	LIQUID VOLUME FRACTION
Methane	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000
Ethane	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Propane	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
H2S	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Nitrogen	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
CO2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
n-Hexane	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
i-Pentane	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
n-Pentane	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
i-Butane	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
n-Butane	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
H2O	0.1348	0.0831	2.4286	0.0108	0.1666	0.0122
TEGlycol	1.4868	0.9169	223.2681	0.9892	13.5476	0.9878
Total	1.6216	1.0000	225.6970	1.0000	13.7143	1.0000
<b>Liquid Phase</b>		Phase Fraction	1.0000			
COMPONENTS	MOLAR FLOW (lbmole/hr)	MOLE FRACTION	MASS FLOW (lb/hr)	MASS FRACTION	LIQUID VOLUME FLOW (barrel/day)	LIQUID VOLUME FRACTION
Methane	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000
Ethane	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Propane	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
H2S	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Nitrogen	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
CO2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
n-Hexane	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
i-Pentane	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
n-Pentane	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
i-Butane	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
n-Butane	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
H2O	0.1348	0.0831	2.4286	0.0108	0.1666	0.0122
TEGlycol	1.4868	0.9169	223.2681	0.9892	13.5476	0.9878
Total	1.6216	1.0000	225.6970	1.0000	13.7143	1.0000
Aspen Technology Inc.			Aspen HYSYS Version 10		Page 2 of 2	

Fuente: Elaborada por el autor

## **7. ESTADO DINÁMICO**

Las modelaciones de estado dinámico de las alternativas de mitigación de arrastre de glicol en el gas natural buscan identificar que alternativa logra mantener una presión de la torre contactora constante y en el menor tiempo posible. Evitando así altas velocidades del gas generado por la diferencia de presión entre la entrada y salida del gas en la torre contactora.

### **7.1 VÁLVULA REGULADORA**

Inicio y estabilización de planta deshidratadora y válvula de regulación de presión de torre contactora.

Para iniciar la apertura y funcionamiento de la válvula de regulación se debe haber dado apertura y estabilización de presión de los sistemas aguas arriba.

- El pozo se debe encontrar con la válvula de choque con la apertura.
- Mínima de arranque (definida por el departamento de yacimientos del operador).
- El sistema de separación debe estar presurizado, esto incluye el scrubber de producción.
- Así mismo, los sistemas de medición de cada separador deben estar calibrado y probado, las válvulas de seguridad seteadas a la presión determinada en el diseño de las facilidades de producción.
- La salida a tea de cada uno de los sistemas de separación debe estar seteado y probado, realizar manipulación de válvulas y ajuste de controladores de presión y temperatura.

- Los sistemas de drenaje de los separadores deben ajustarse bajo los parámetros de nivel establecidos por cada fabricante de las vasijas. Es vital, confirmar el sello hidráulico en las válvulas de drenaje de los sistemas para evitar presencia de gas en el tanque de recibo de líquidos/agua.
- La puesta en marcha de la planta de deshidratación debe realizarse bajo la supervisión del fabricante. se confirman los niveles de trietilenglicol en las vasijas de la planta y rehervidor. Se confirma encendido del rehervidor y su temperatura objetivo de operación. Tener en cuenta que el rehervidor debe encender y apagar al alcanzar límites de temperatura establecidos por el fabricante y se debe confirmar el buen funcionamiento de este. De lo contrario no habrá una deshidratación efectiva. Válvulas de seguridad de la planta deben tener su certificado de calibración.
- Todos los sistemas de instrumentos, drenajes, venteos, bridas, seguridad, medición, deben haberse probado y puesto en operación por personal calificado bajo la supervisión del operador del campo. Así mismo, se debe realizar un monitoreo detallado de todo el recorrido del gas con sistemas de detección de fugas de gas debidamente calibrados y certificados por una entidad avalada ante la ONAC. Es indispensable que la operación tenga cero fugas de gas.

Una vez presurizado todo el sistema aguas arriba se procede a dar paso de gas por la válvula de regulación, se le da apertura controlada hasta un 80%, con el fin de poder continuar presurizando el sistema aguas abajo de esta.

- Se presuriza el tren de toma muestra del sistema de calidad de gas sin dar apertura a las válvulas de muestreo. Lo anterior debido a que aún el gas se encuentra fuera de parámetros de calidad.
- Se presuriza el sistema de medición de ventas de gas, se prueban válvulas de corte, regulación y drenaje del sistema. se confirma funcionamiento de los

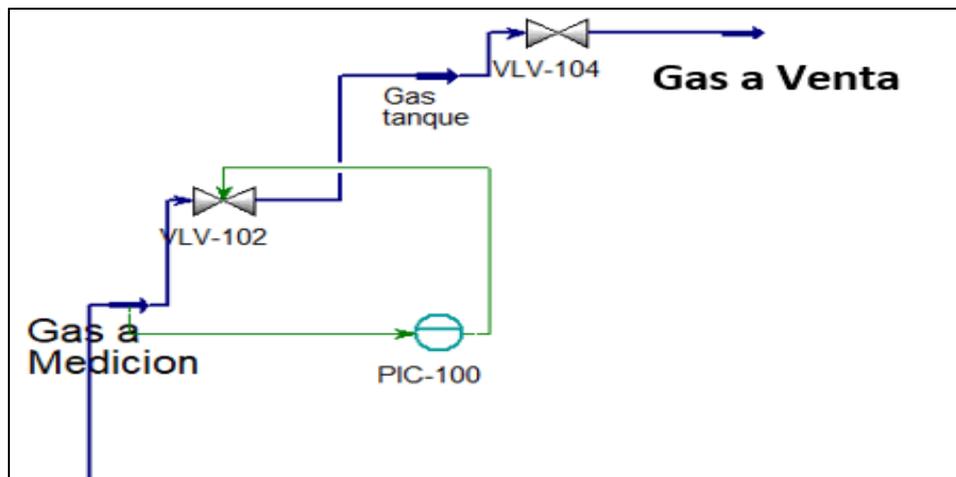
medidores de flujo y se configura telemetría del sistema, confirmando comunicación con centro de control.

- Se presuriza todo el sistema hasta la presión deseada (970 psi). Es posible que de deba dar mayor apertura a los pozos para lograr la presión.
- Se direcciona todo el gas del proceso a salida a tea, desde válvula de direccionamiento aguas abajo del sistema de medición. se presuriza el KO Drum.
- Se recomienda como buena práctica instalar válvula de seguridad en el KO Drum, aunque la presión en el este sistema es cercana a la atmosférica, existen riesgos de sobrepresiones por taponamientos o fallas en el arrestador de llamas, por lo que la instalación de una PSV es una buena práctica operacional.
- El gas es enviado a tea, donde se verifica que los pilotos de esta tengas un buen funcionamiento. Así mismo, se ajusta el sistema de medición y regulación del gas piloto de la tea.
- Es posible la necesidad de realizar ajuste a la válvula de choque del pozo para mantener las presiones del sistema.
- Bajo la operación del fabricante de los equipos de calidad, se da apertura a las válvulas de toma muestra de cada uno de los equipos de medición, donde se verifican parámetros como humedad del gas, dew point, H<sub>2</sub>S, % de oxígeno, cromatografía del gas, entre otras variables que deben obedecer a La Resolución CREG 071 de 1999, la cual, establece el Reglamento Único de Transporte de Gas Natural, RUT, y reglamenta el acceso al SNT y sus servicios. Se recomienda realizar mediciones con tubos de medición, antes de dar apertura a las toma muestra. Con esto se puede confirmar que el gas que entre a los equipos de calidad no sature las celdas de muestreo con gas muy contaminado.

- De encontrarse fugas en el proceso de apertura, se recomienda detener el proceso, corregir fuga, despresurizar todo el sistema si es necesario, y continuar una vez se confirme la anulación de la fuga y su debida documentación.
- Una vez presurizado y estabilizado el sistema con gas direccionado a tea, se inicia la operación de compresión. A través de una válvula de regulación, se direcciona el gas a compresión y se operando los motores a la mínima capacidad.
- En este punto, el fabricante de la válvula de regulación de presión de la torre contactora, realiza los ajustes correspondientes en el controlador de esta. Ajustando la apertura a la presión deseada. De manera paralela se va incrementando capacidad de compresión, sin que la presión del todo el sistema caiga por debajo de 930 psi.

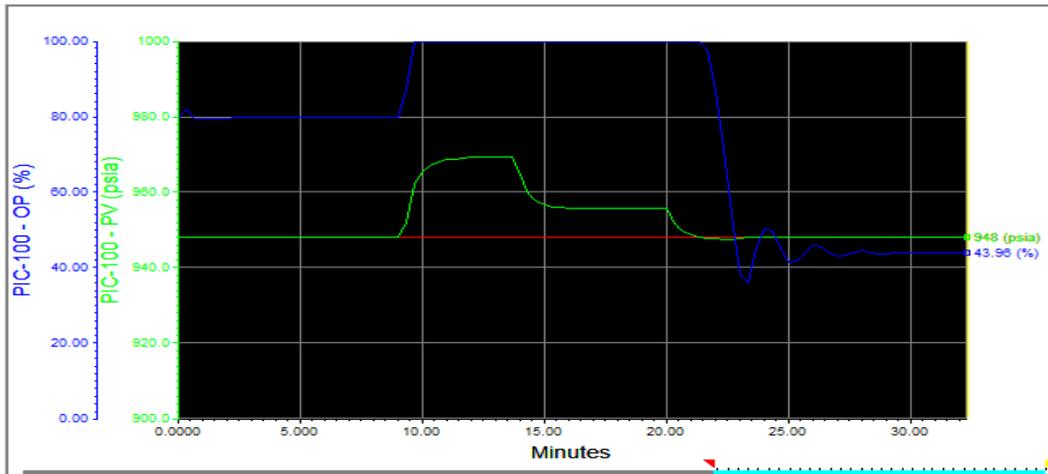
## 7.2 MODELACIÓN DINÁMICA VÁLVULA REGULADORA

**Figura 19. Modelación Dinámica Válvula Reguladora**



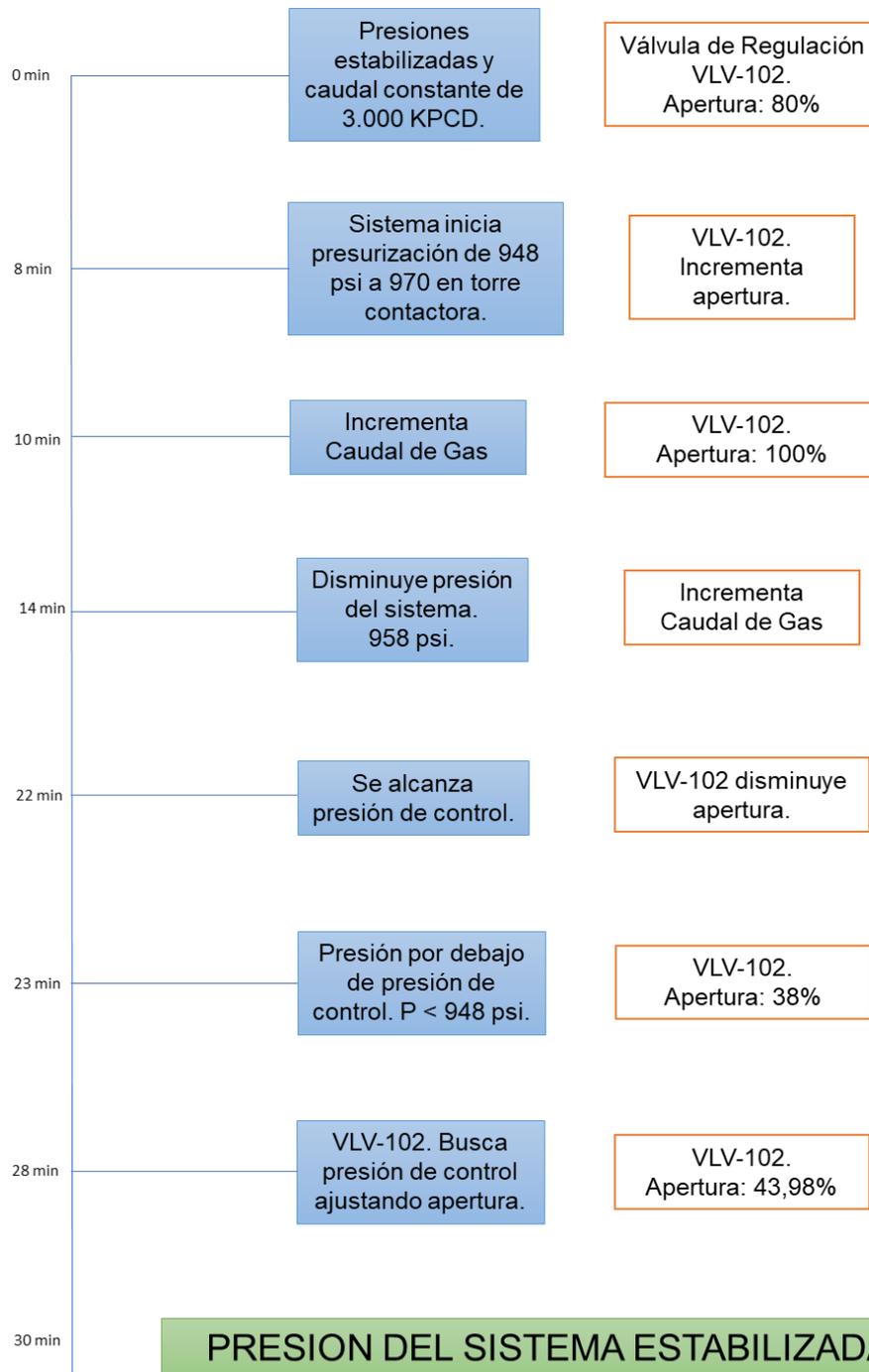
Fuente: Elaborada por el autor

Figura 20. Resultados Modelación Dinámica Válvula Reguladora



Fuente: Elaborada por el autor

### 7.3 LA MODELACIÓN DINÁMICA INICIA EN UN ESTADO DE FACILIDADES PRESURIZADAS Y CON FLUJO



En la práctica, la válvula reguladora, mediante su controlador ya sea eléctrico o neumático, ajustara su apertura partiendo de los cambios de flujo y presión que puedan ocasionar la fuente del gas (los pozos) o los procesos aguas debajo de esta (los compresores). Así mismo, reaccionará a cualquier accionar de válvula que cambio las presiones en el censado.

## 7.4 TANQUE DE SUCCIÓN

En este momento se inicia la estabilización de planta deshidratadora y tanque de succión aguas abajo de torre contactora. Para iniciar la apertura y funcionamiento del tanque de succión se debe haber dado apertura y estabilización de presión de los sistemas aguas arriba.

- El pozo se debe encontrar con la válvula de choque con la apertura mínima de arranque (definida por el departamento de yacimientos del operador).
- El sistema de separación debe estar presurizado, esto incluye el scrubber de producción.
- Así mismo, los sistemas de medición de cada separador deben estar calibrado y probado, las válvulas de seguridad seteadas a la presión determinada en el diseño de las facilidades de producción.
- La salida a tea de cada uno de los sistemas de separación debe estar seteados y probados, realizar manipulación de válvulas y ajuste de controladores de presión y temperatura.
- Los sistemas de drenaje de los separadores deben ajustarse bajo los parámetros de nivel establecidos por cada fabricante de las vasijas. Es vital, confirmar el sello hidráulico en las válvulas de drenaje de los sistemas para evitar presencia de gas en el tanque de recibo de líquidos/agua.
- La puesta en marcha de la planta de deshidratación debe realizarse bajo la supervisión del fabricante. se confirman los niveles de trietilengicol en las vasijas de la planta y rehervidor. Se confirma encendido del rehervidor y su temperatura objetivo de operación. Tener en cuenta que el rehervidor debe encender y apagar al alcanzar límites de temperatura establecidos por el fabricante y se debe confirmar el buen funcionamiento de este. De lo contrario no habrá una

deshidratación efectiva. Válvulas de seguridad de la planta deben tener su certificado de calibración.

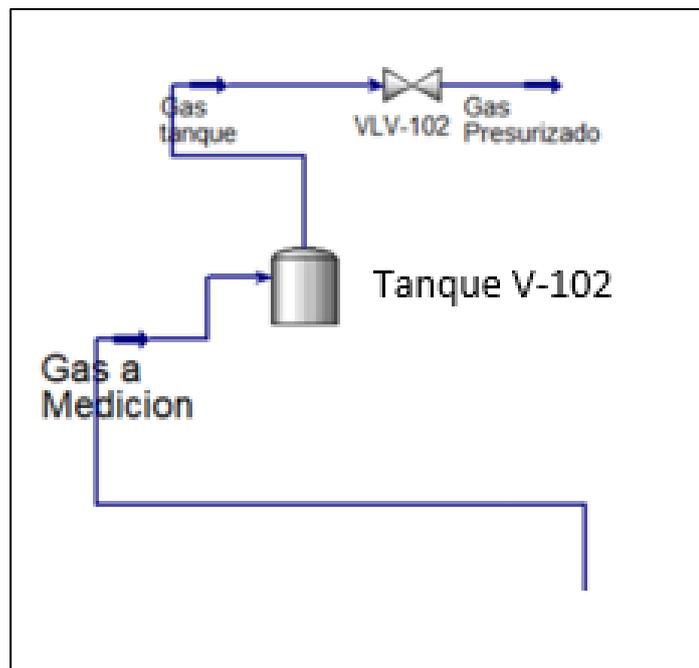
- Todos los sistemas de instrumentos, drenajes, venteos, bridas, seguridad, medición, deben haberse probado y puesto en operación por personal calificado bajo la supervisión del operador del campo.
- Así mismo, se debe realizar un monitoreo detallado de todo el recorrido del gas con sistemas de detección de fugas de gas debidamente calibrados y certificados por una entidad avalada ante la ONAC. Es indispensable que la operación tenga cero fugas de gas.
- Se agiliza el tren de toma muestra del sistema de calidad de gas sin dar apertura a las válvulas de muestreo. Lo anterior debido a que aun el gas se encuentra fuera de parámetros de calidad.
- Así mismo, se aligera el sistema de medición de ventas de gas, se prueban válvulas de corte, regulación y drenaje del sistema. se confirma funcionamiento de los medidores de flujo y se configura telemetría del sistema, confirmando comunicación con centro de control.
- Se presuriza todo el sistema hasta la presión deseada (970 psi). Es posible que de deba dar mayor apertura a los pozos para lograr la presión.
- Se direcciona todo el gas del proceso a salida a tea, desde válvula de direccionamiento aguas abajo del sistema de medición. se presuriza el KO Drum.
- Además, se recomienda como buena práctica instalar válvula de seguridad en el KO Drum, aunque la presión en el este sistema es cercana a la atmosférica, existen riesgos de sobrepresiones por taponamientos o fallas en el arrestador de llamas, por lo que la instalación de una PSV es una buena práctica operacional.

- Seguidamente el gas es enviado a tea, donde se verifica que los pilotos de esta tengan un buen funcionamiento. Así mismo, se ajusta el sistema de medición y regulación del gas piloto de la tea.
- Luego es posible entender la necesidad de realizar ajuste a la válvula de choque del pozo para mantener las presiones del sistema. Una vez presurizado todo el sistema aguas arriba se procede a dar paso de gas por el tanque de succión, se le da apertura controlada de la válvula de corte o entrada del tanque de succión, con el fin de poder continuar presurizando el sistema aguas abajo de esta.
- Bajo la operación del fabricante de los equipos de calidad, se da apertura a las válvulas de toma muestra de cada uno de los equipos de medición, donde se verifican parámetros como humedad del gas, dew point, H<sub>2</sub>S, % de oxígeno, cromatografía del gas, entre otras variables que deben obedecer a La Resolución CREG 071 de 1999, la cual, establece el Reglamento Único de Transporte de Gas Natural, RUT, y reglamenta el acceso al SNT y sus servicios. Se recomienda realizar mediciones con tubos de medición, antes de dar apertura a las tomas muestra. Con esto se puede confirmar que el gas que entre a los equipos de calidad no sature las celdas de muestreo con gas muy contaminado.
- De encontrarse fugas en el proceso de apertura, se recomienda detener el proceso, corregir fuga, despresurizar todo el sistema si es necesario, y continuar una vez se confirme la anulación de la fuga y su debida documentación.
- Una vez presurizado y estabilizado el sistema con gas direccionado a tea, se inicia la operación de compresión. A través del tanque de succión. Se direcciona el gas a compresión, operando los motores a la mínima capacidad.
- En este punto, el operador de campo verifica presiones, temperaturas y niveles registrados en los indicadores del tanque de succión y ordena ajustes

correspondientes aguas arriba de ser necesario. De manera paralela se va incrementando capacidad de compresión, sin que la presión del todo el sistema caiga por debajo de 930 psi.

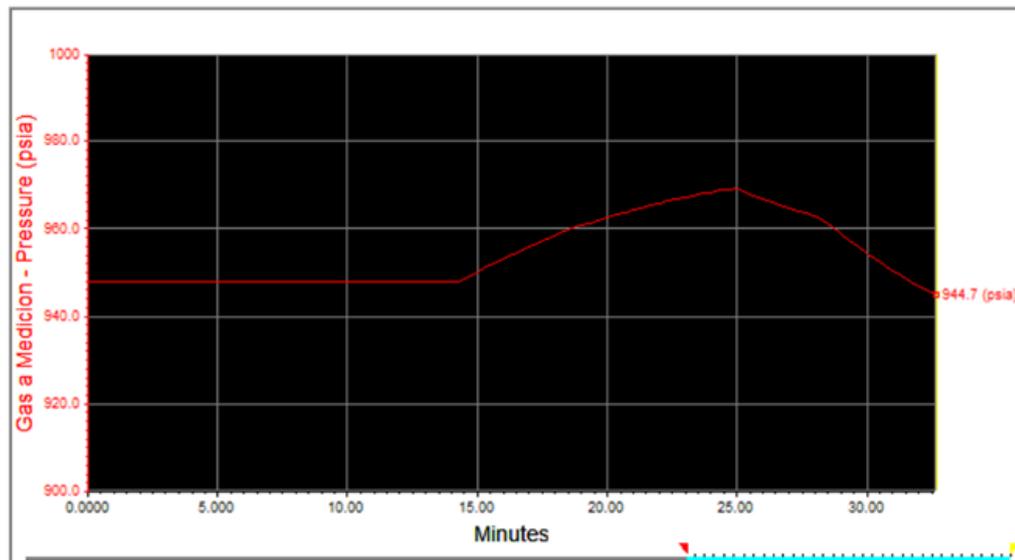
## 7.5 LA MODELACIÓN DINÁMICA TANQUE DE SUCCIÓN

FIGURA 21. MODELACION DINÁMICA DE TANQUE DE SUCCION



Fuente: Elaborada por el autor

**Figura 22. Resultados Modelación Tanque de Succión**



Fuente, Elaborada por el autor

Se Inicia a partir de un estado de facilidades presurizadas y con flujo. La simulación dinámica del sistema de deshidratación con la utilización de un tanque de succión no logra estabilizar. A pesar de tener un comportamiento típico, de incremento de presión y posterior disminución, la simulación no logra sostenerse en el tiempo.

- Se sugiere realizar estudios cambiando las variables operacionales de presión inicial, flujo, temperatura, entre otras, las cuales no se ajustan para el caso de estudio.

## 8. DISEÑO A NIVEL BÁSICO DE LOS DIFERENTES EQUIPOS Y ACCESORIOS DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA PARA PROTEGER LA PLANTA DESHIDRATADORA DE CAÍDAS SÚBITAS DE PRESIÓN DURANTE EL CARGUE DE MÓDULOS DE GAS COMPRIMIDO.

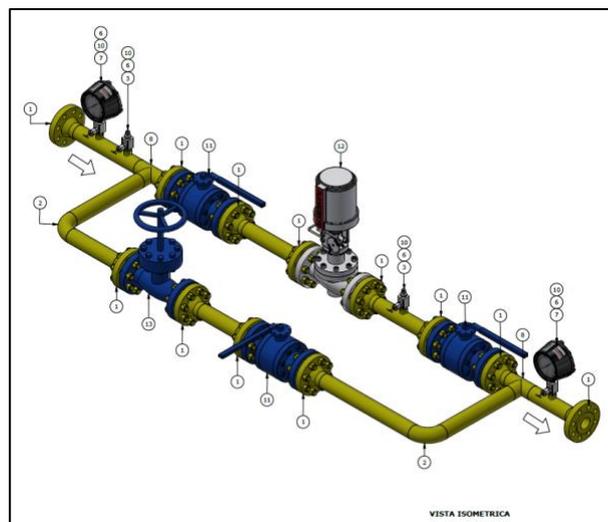
**Tabla 7. Listado de Materiales Valvula Reguladora**

LISTADO DE MATERIALES			
ITEM	CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
1	12	UND	Brida 2", WN, RF, CS, ANSI 600, A-105, dimensions ASME B16.5
2	2	UND	Codo 2"x90° RL, Soldable, SCH 40, A234 WPB, Dimensiones de acuerdo con ANSI B16.9, Bisel de acuerdo con ANSI B 16.25
3	2	UND	Conector ½" MNPT X ¼" OD. T X 3000#, SS-316 Swagelok
4	10	UND	EMPAQUE ESPIROMETÁLICO 2"x600 RW, DIMENSIONES DE ACUERDO A ASME B16.20
5	80	UND	Esparragos acero carbón roscado a todo lo largo 5/8" x 4-1/4", ASTM A-193 GR B7, con dos tuercas hexagonales ASTM A194 GR 2H. De acuerdo con ASME B1.1, ASME B18.2.1 y ASME B18.2.2
6	4	UND	HALF COUPLING 1/2" #3000 FTH ASTM A105 Gr.II, DIMENSIONES DE ACUERDO A ASME B16.11
7	2	UND	Manometro 0-1500 Psig, Bourdon, Presión de diseño: 1440 PSIG, accuracy Grado 2A, Conexiones por debajo, 1/2" M-NPT, carátula 4-1/2", Dual scale Psig (Bar)
8	2	UND	Tee 2", Soldable, SCH 40, Sin costura, Material A234 WPB, Dimensiones de acuerdo con ANSI B16.9, Bisel de acuerdo con ANSI B 16.25
9	6	MTS	TUBERÍA 2" SCH 40 API 5LX42 SEAMLESS O ERW
10	4	UND	Válvula aguja, 1/2" 4000#, con drenaje, SS 316, Conexión: IN-MNPT OUT-FNPT
11	3	UND	Válvula de bola, 2" ANSI 600, RF, con palanca, CS, ASTM A-216 GR. WCB.
12	1	UND	Válvula de control de flujo Flowserve Mark-One Diam. 2" ANSI 600, Cv: 31
13	1	UND	Válvula de globo, 2" ANSI 600, RF, con actuador manual, CS, ASTM A-216 GR. WCB

Fuente: Elaborada por el autor

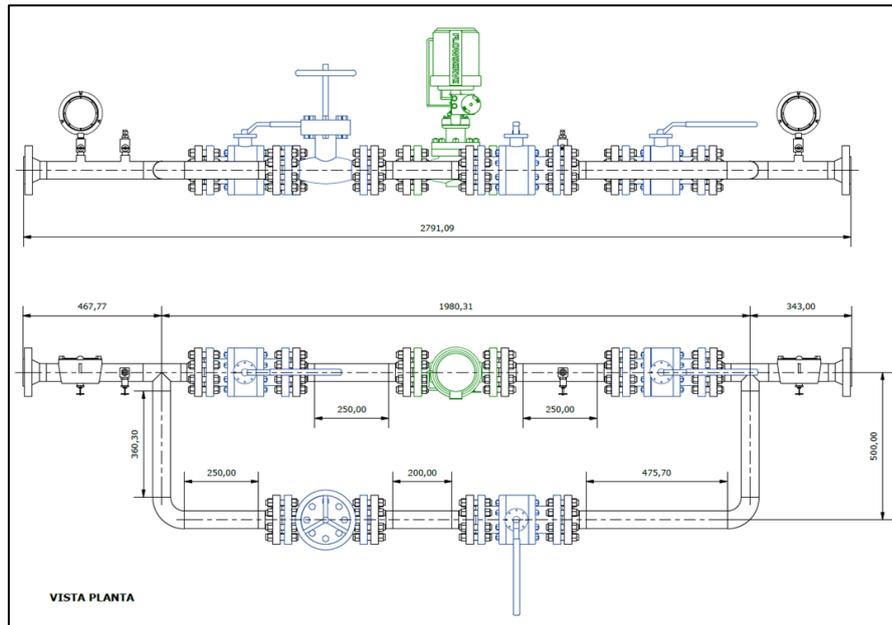
Se recomienda realizar la instalación de dos válvulas reguladoras del mismo tipo de manera paralela para mejorar la confiabilidad del proceso. No obstante, la segunda válvula, puede ser tipo globo si el presupuesto del proyecto es limitado.

**Figura 23. Tren de Regulación Vista Isométrica**



Fuente: Elaborada por el autor

Figura 24. Tren de Regulación Vista Planta



Fuente: Fuente: Elaborada por el autor

## **9. EVALUACIÓN ECONÓMICA MEDIANTE SENSIBILIDAD DE VARIABLES DE LA ALTERNATIVA MÁS ADECUADA**

Según los análisis realizados mediante la simulación dinámica de las alternativas de mitigación de caídas abruptas de presión de torre contactora de la unidad de deshidratación de gas natural, la válvula reguladora de presión aguas abajo de la torre contactora resulta adecuada para el proceso.

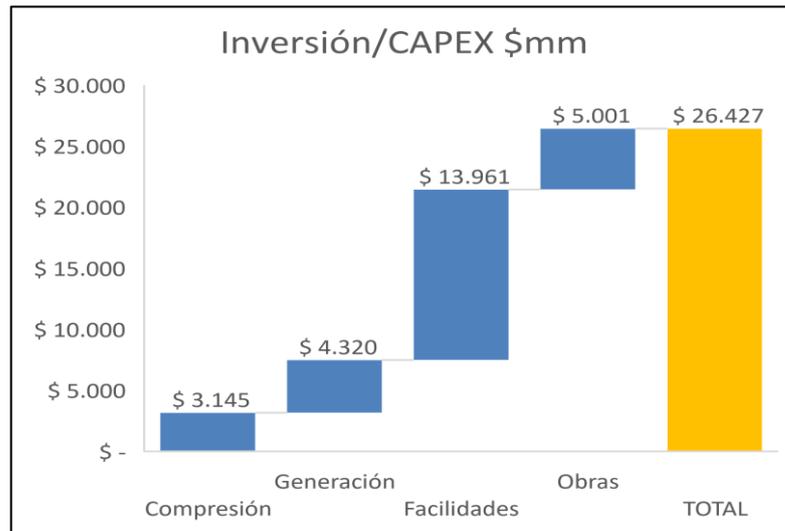
A continuación, se realiza una evaluación económica del impacto que genera la implementación de un sistema de regulación de presión con su respectivo back up o respaldo; es decir, dos trenes de regulación en paralelo.

Se toma como base los lineamientos iniciales del proyecto que incluye ingresos costos y gastos, desde dos análisis, con y sin válvula de regulación de presión.

### **9.1 ESCENARIO 1: SIN VÁLVULA REGULADORA DE PRESIÓN**

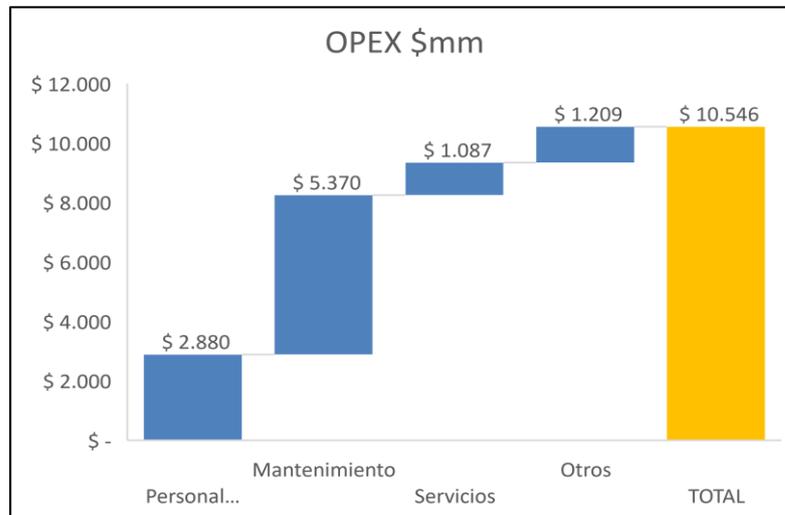
El proceso actual no contempla una válvula de regulación de presión que mantenga la presión de la torre contactora dentro de los parámetros operacionales ideales. Por tal motivo, se presenta con regularidad arrastres de glicol, lo cual afecta distintos procesos a nivel de producción. Algunos ejemplos de paradas ocasionadas por el arrastre de glicol son: daño de celdas toma muestras en el horno del cromatógrafo, daños en bujías del generador a gas, pérdida de glicol por debajo del nivel óptimo del rehervidor, daño en piloto del rehervidor unidad deshidratadora, falla en sellos de instrumentación de sistemas neumáticos, etc. Al realizar un análisis de producción en los últimos 45 meses de operación, se registra un promedio de producción de 2.760 MBTUd debido a paradas ocasionadas por el arrastre de glicol.

**Figura 25. Escenario 1, CAPEX**



Fuente: Elaborada por el autor

**Figura 26. Escenario 1, OPEX**



Fuente: Elaborada por el autor

**Tabla 8. Resultados Proyecto Sin Valvula Reguladora**

Resultados Proyecto sin Válvula Reguladora		Tarifa Venta USD/MBTU
<b>Tarifa de GN (COP/m3)</b>	\$ 929,93	\$ 6,57
CAPEX	\$ 26.427	
OPEX	\$ 10.546	
TIR (%)	17,5%	
VPN (\$mm)	\$ 2.578	
Utilidad Neta Mensual (\$mm)	\$ 531	
Margen Neto (%)	23,6%	
Margen Bruto (%)	54,3%	

Fuente: Elaborada por el autor

## 9.2 ESCENARIO 2: CON VÁLVULA REGULADORA DE PRESIÓN:

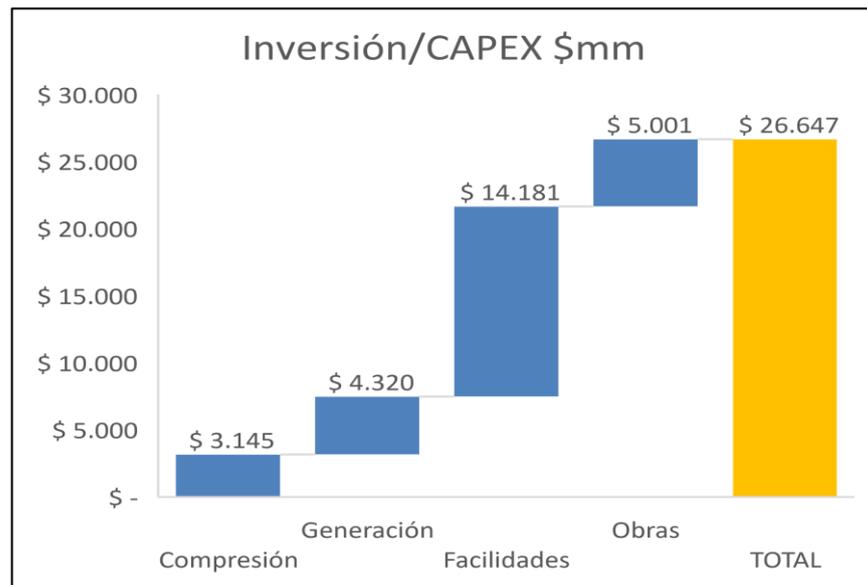
La utilización de la válvula reguladora de presión aguas abajo de la torre contactora disminuye las paradas ocasionadas por arrastre de glicol. Por lo que la operación logra una estabilidad tal que las entregas de gas manejan un volumen energético estimado de 3.000 MBTUd.

**Tabla 9. Resultados Proyecto Con Valvula Reguladora**

Resultados Proyecto con Válvula Reguladora		Tarifa Venta USD/MBTU
<b>Tarifa de GN (COP/m3)</b>	\$ 929,93	\$ 6,57
CAPEX	\$ 26.647	
OPEX	\$ 10.617	
TIR (%)	20,9%	
VPN (\$mm)	\$ 4.325	
Utilidad Neta Mensual (\$mm)	\$ 599	
Margen Neto (%)	24,6%	
Margen Bruto (%)	54,3%	

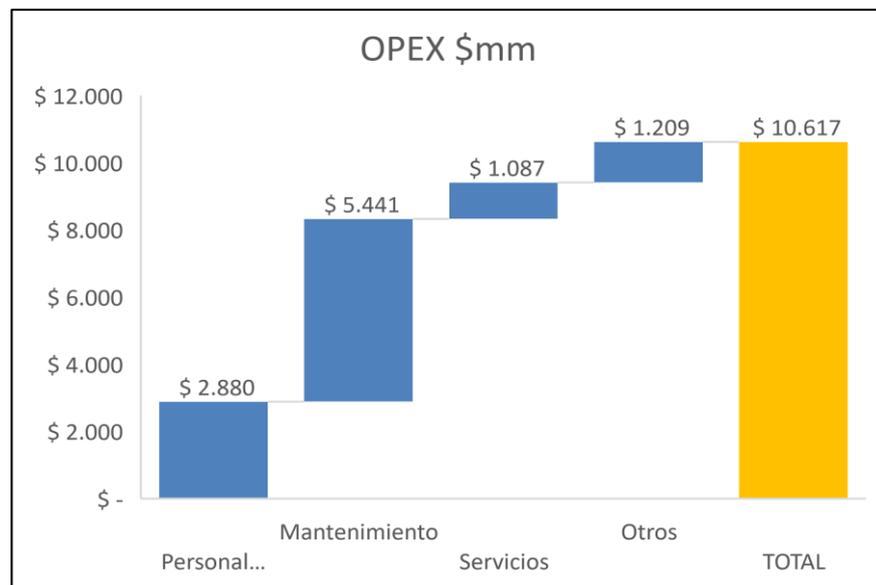
Fuente: Elaborada por el autor

**Figura 27. Escenario 2, CAPEX**



Fuente: Elaborado por el autor

**Figura 28. Escenario 2, OPEX**



Fuente: Elaborada por el autor

### 9.3 COMPARATIVO ESCENARIOS ECONÓMICOS

Tabla 10. Comparativo Escenarios Económicos

Resultados Proyecto sin Válvula Reguladora		Resultados Proyecto con Válvula Reguladora		DIFF
Tarifa de GN (COP/m3)	\$ 929,93	Tarifa de GN (COP/m3)	\$ 929,93	
CAPEX	\$ 26.427	CAPEX	\$ 26.647	\$ 220
OPEX	\$ 10.546	OPEX	\$ 10.617	\$ 70
TIR (%)	17,5%	TIR (%)	20,9%	3,5%
VPN (\$mm)	\$ 2.578	VPN (\$mm)	\$ 4.325	\$ 1.747
Utilidad Neta Mensual (\$mm)	\$ 531	Utilidad Neta Mensual (\$mm)	\$ 599	\$ 68
Margen Neto (%)	23,6%	Margen Neto (%)	24,6%	1%
Margen Bruto (%)	54,3%	Margen Bruto (%)	54,3%	0%

Fuente: Elaborada por el autor

En este aspecto, la utilización de la válvula reguladora de presión aguas debajo de la torre contactora permite unos resultados económicos mucho más favorables, ya que los ingresos por unidad de volumen son muy superiores al escenario actual. El Valor Presente Neto, es la variable económica más favorecida, con un incremento de \$ 1.747 mmCOP. Lo anterior demuestra que el CAPEX y OPEX necesarios para la implementación de la válvula, no afectan negativamente el proyecto, por el contrario, lo mejora sustancialmente.

El análisis anterior, no tiene en cuenta los sobre costos generados por reparaciones de equipos y contratación de personal especializado para el reacondicionamiento de equipos como el sistema de calidad y medición en casos de requerir mantenimientos correctivos ocasionados arrastres de glicol. Lo cual impactaría fuertemente en el OPEX, inclinándolo favorablemente la decisión a la utilización de la válvula de regulación de presión.

## 10. CONCLUSIONES

- Los sistemas de transporte de gas natural a través de gasoductos virtuales con sistemas de gas natural comprimido son completamente viables, pero se debe considerar el impacto que genera la compresión al sistema de tratamiento del gas. En especial las variaciones en las presiones que se pueden generar, donde en muchos de los casos los equipos se ven forzados a trabajar por fuera de sus variables de diseño. La descripción de los procesos de una Campo de Colombia, permiten concluir que mediante un adecuado control de las variables claves de los distintos sistemas, en especial las de la deshidratación de gas, es posible la implementación segura y estable de sistemas de gasoductos virtual con mitigación de arrastres de glicol.
- La simulación dinámica amplía el espectro de evaluación de procesos; debido a la limitante en las simulaciones de estado estable; ya que en un estado estable no es posible la variación de parámetros en el tiempo y como resultado, se obtiene un análisis de un instante, dejando por fuera el contexto de los procesos.
- La simulación de estado estable permite realizar análisis de procesos cuyas variables tengan un comportamiento constante o de poca variación, es por eso por lo que para procesos donde se utilices gasoductos virtuales, cuyos flujos y presiones cambian constantemente, se deben realizar estudios de simulación dinámica.
- Es necesario proteger los sistemas de calidad, instrumentación, control, generación y medición de líquidos no deseados como el glicol, ya que puede generar daños a elementos sensibles de alto costo. Así mismo, se generaría una pérdida de glicol considerable, lo cual representa sobrecostos importantes y pérdida de producción en cada relleno.

- La utilización de un tanque de succión para evitar la caída de presión del sistema resulta inadecuada, pues la simulación dinámica falla a los 30 segundos, lo cual concluye que el proceso es inestable. Se sugiere, en estudios posteriores, simular el esquema cambiando las variables operativas a fin de determinar bajo que escenarios es posible su utilización. De esta manera se podría realizar una caracterización de campos de producción donde esta alternativa resulte adecuada.
- La utilización de una válvula reguladora aguas abajo de la planta deshidratadora resulta la opción más eficaz para la mitigación del arrastre de glicol por caídas de presión, ya que, en menos de 30 segundos, la modelación arrojó estabilidad en el proceso controlando totalmente la variable presión.
- La utilización de la válvula de regulación permite un proceso estable de comercialización de gas, lo cual da como resultado una mayor rentabilidad del proyecto con un incremento en la VPN de \$ 1.747 mmCOP y un incremento de 3,5% en la TIR.
- Se concluye que la utilización de un tanque de succión no es la alternativa adecuada para lograr la estabilidad del proceso de deshidratación al utilizar gasoductos virtuales en la producción de gas natural.
- La evaluación técnico-económica arroja como resultado que la utilización de una válvula reguladora de presión, aguas abajo de la torre contactora, permite un control de la variable presión permitiendo una deshidratación estable y la mitigación de arrastres de glicol en las corrientes de gas natural de venta.
- Todo sistema de tratamiento, que contemple un sistema de compresión para llenados de módulos de gas comprimido a 3.600 psi, debe ser protegido con una válvula de regulación aguas abajo de la planta deshidratadora. De lo contrario, se corre el riesgo de evidenciar arrastres de glicol en el sistema.

- Para estudios futuros, se sugiere realizar modelaciones que permita identificar bajo que rangos de presión, posterior a la compresión, es necesaria la válvula de regulación, con lo cual se pueda establecer una regla que permita determinar la utilización de la válvula de regulación o no bajo ciertos escenarios.
- La utilización de la válvula de regulación evita daños en los sistemas de calidad, instrumentación, control, generación y medición, evitando mantenimientos correctivos no presupuestados.

## 10.REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. MOHAMMAD A, 2009, Natural gas dehydration using triethy-lene glycol (TEG). M.Sc. Thesis, Pahang University, Malaysia. pp. 40-80.
2. (GPSA 2004) Gas processors and suppliers association engi-neering databook. Tulsa, OK, USA.
3. HUBBARD R, y Campbell J, 2000, An appraisal of gas dehy-dration processes. Hydrocarbon Eng. 5 pp.71–77.
4. BAHADORI A, HAJIZADEH Y, VUTHALURU H, TADE M, MOKHATAB S, 2008, Novel approaches for the prediction of density of glycol solutions. Journal of Natural Gas Chemistry 17 pp. 298–302.
5. STEWART M, ARNOLD K, 2011, Gas dehydration Field Manual. Houston: Gulf Professional Publishing, pp. 40–77.
6. BUCHAN, R.C. “Dehydration of Natural Gas”. Presented at the Spring meeting of the South-western District, Division of Production, Dallas, 1950.
7. HAVLIK, W. “Production of Wet Natural Gas Containing Corrosive Components: Four Case Histories”. SPE 100219 (2006); p 1-5.
8. PORTER, J.A. “Vapor-Liquid Equilibrium Data on the System Natural Gas-Water-Triethylene Glycol at Various Temperatures and Pressures”. En Petroleum Transactions 2048(1950), Vol. 189, p 235-238.
9. LIEBERMAN, N.P. “Troubleshooting Process Operations”. PenWells Books, Tulsa, Oklahoma, Third Edition, 1991, p 441-448.
- 10.WYLDE, J.J. “Development and Field Deployment of a Novel Acidic Triethylene Glycol Buffer Chemical for Bringing Gas Dehydrators Back into Specification”. NACE 08649 (2008), p3.
- 11.Bothamley, M. “Offshore Processing Options for Oil Platforms”. SPE 90325 (2004); p 7.
- 12.YAN, T. “Formation of Carbonyl Sulfide During Molecular Sieve Dehydration Process from High Sour Natural Gas in China”. SPE 131908 (2010); p 1-2.
- 13.GPSA Engineering Data Book, Tulsa, Oklahoma, 11th Edition, 1998, Chapter20.

14. Arnold, K. "Surface Production Operations: Design of Gas-Handling Systems and Facilities". Gulf Publishing. Houston, Texas, Second Edition, 1999, Vol 2, p 229-232.
15. AL-KHAMIS, M.J. "A Success Story: Extending Molecular Sieve by Double". IPTC 11497 (2007)
16. Real Academia Española, Diccionario de la lengua española, Vigésima segunda edición.
17. ODUNOWO, T. "Natural Gas Dehydration: The Suitability of Solid Desiccant Technology in Nigeria". SPE 106975-STU (2006); p 2-3
18. YOUNGER, A.H. "Natural Gas Processing Principles and Technology-Part II". University of Calgary (2004); Cap. 13, p 9
19. ACOR, L.G. "Benefits of Using Deliquescent Desiccants for Gas Dehydration". SPE 82139 (2003); p 1-3.
20. IKOKU, C.U. Natural Gas Production Engineering, Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, 1992, p 146
21. ELHADY, A. A. A. "Operating Experiences of DEG and MEG for Hydrate and Dewpoint Control in Gas Production Offshore Mediterranean". IPTC 10103 (2005); p 1-5.
22. MARKIEWICZ, G.S. "The Membrane Alternative for Natural Gas Treating: Two Case Studies. SPE 18230 (1965).
23. OHLROGGE, K. "Membranes Technology for Natural Gas Processing. SPE 75505 (2002); p 1-.
24. Comisión Reguladora de Energía y Gas. "Actualización al Reglamento Único de Transporte de gas Natural-RUT". Documento CREG-053, 16 de agosto de 2007.
25. BRUMBOIU, A.O. "Application of Semipermeable Membrane Technology in the Measurement of Hydrocarbon Gases in Drilling Fluids". SPE 62525 (2010); p 1-5.
26. McKEE, R.L. "Offshore Dehydration of Natural Gas: An Evaluation of Alternatives". OTC 7595 (1994); p 1-8.
27. KARIMI, A. "Selective Removal of Water From Supercritical Natural Gas". SPE 100442 (2006); p 2-6.

- 28.** BENÍTEZ, L.A., COSTAMAGNA, J.V., Erdman, E., Ale Ruiz L., & Tarifa, E.E. (2013). Determinación de las condiciones de formación de hidratos empleando process ecology hydrate application. AAIQ Asociación Argentina de Ingenieros Químicos – CSPQ, Buenos Aires, Argentina.
- 29.** FUENTES, C., & PEÑA, D. (2007). Predicción de la corrosión por CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>S en tuberías de acero al carbono. *Scientia et Technica*, (36), 881–886.
- 30.** Resolución No. 071 (diciembre 03 de 1999)
- 31.** RIBÓN, H. M., SANTOS, N. S., & Cancino, O. O. (2010). MÉTODOS DE DESHIDRATACIÓN DE GAS NATURAL. *Revista Fuentes, El Reventón Energético*, 8(2), 55-64.
- 32.** ESPINEL, A. C., & HERNÁNDEZ, N. J. (2007). DISEÑO Y PROBLEMAS OPERACIONALES EN TORRES CONTACTORAS DE PLATOS EN PLANTAS DE DESHIDRATACIÓN DE GAS CON GLICOL. Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Bucaramanga, Colombia.
- 33.** The principle and applications of Bernoulli Equation Ruqiong Qin and Chunyi Duan 2017 *J. Phys.: Conf. Ser.* 916 012038
- 34.** MOHAMMAD, 2009 Mohammad A, 2009, Natural gas dehydration using triethy-lene glycol (TEG). M.Sc. Thesis, Pahang University, Ma-laysia. pp. 40-80.
- 35.** RAHIMPOUR y col., 2013. Rahimpour M, Saidi M, Seifi M, 2013, Improvement of natural gas dehydration performance by optimization of operating conditions: a case study in Sarkhun gas processing plant, *J. Nat. Gas. Sci. Eng.* 15, pp. 118-126.
- 36.** OBANIJESU 2009. ObaniJesu E, 2009, Modeling the H<sub>2</sub>S contribution to internal corrosion rate of natural gas pipeline, *Energ. Sources, Part A*, 31, pp.348-363.
- 37.** HUBBARD y col., 2000 R, y Campbell J, 2000, An appraisal of gas dehydration processes. *Hydrocarbon Eng.* 5 pp.71–77.
- 38.** BAHADORI Y COL., 2008 A, Hajizadeh Y, Vuthaluru H, Tade M, Mokhatab S, 2008, Novel approaches for the prediction of density of glycol solutions. *Journal of Natural Gas Chemistry* 17 pp. 298–302.

39. STEWART y col., 2011). Stewart M, Arnold K, 2011, Gas dehydration Field Manual. Houston: Gulf Professional Publishing, pp. 40–77.
40. PARTHO R Y RUHUL M (2011) Partho SR, Ruhul Amin M, 2011, Aspen-HYSYS Simula-tion of Natural Gas Processing Plant., Journal of Chemical Engineering, IEB Vol. ChE. 26, No. 1, December, pp 62-79.
41. KHOSRAVANIPOUR M y col. (2009) Khosravanipour M, Rahimpour M, Shariati A, 2009, Va-por-liquid Equilibria of water TriethyleneGlycol (TEG) and water + TEG + toluene at 85 kPa. J. Chem. Eng. Data 54, pp. 876-881.
42. ZAMORA, M. (2015). CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE LA INGENIERIA DE PRODUCCION DE GAS NATURAL. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
43. LEMUS, M. I. (2014). DESHIDRATACION DE GAS NATURAL POR ABSORCIÓN. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
44. LEMUS, M. I. (2014). DESHIDRATACION DE GAS NATURAL POR ABSORCIÓN. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.