

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
CURSOS ESPECIALES DE GRADO



**“ESTUDIO DEL EFECTO TENSOACTIVO DE UN AGENTE
ANTI-ESPUMANTE EN EL PROCESO DE
DESHIDRATACIÓN DE GAS NATURAL CON GLICOL”**

REALIZADO POR:

Ágela Andreína Rodríguez Elbittar

**Monografía presentada ante la Universidad de Oriente como
requisito parcial para optar al título de:**

Ingeniero Químico

Barcelona, Noviembre de 2013

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD
CURSOS ESPECIALES DE GRADO



**“ESTUDIO DEL EFECTO TENSOACTIVO DE UN AGENTE
ANTI-ESPUMANTE EN EL PROCESO DE
DESHIDRATACIÓN DE GAS NATURAL CON GLICOL”**

JURADO CALIFICADOR:

Isvelia Avendaño (M. Sc)
Asesor Académico

Isvelia Avendaño (M. Sc)
Jurado Principal

Ronald Arias (Ing. Esp.)
Jurado Principal

Barcelona, Noviembre de 2013

RESOLUCIÓN

Artículo Nro 41.

Del Reglamento de Trabajo de Grado.

“Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quién lo participará al Consejo Universitario”.

DEDICATORIA

A mi Dios todopoderoso.

A mis padres, José Rodríguez y Carmen Elbittar.

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

A mis padres por su apoyo incondicional.

A Julio Muñoz por estar siempre en los momentos difíciles.

A Miguel Moreno por ser mi amigo fiel.

A Ivelia Avendaño por su asesoría académica, amistad y apoyo moral.

RESUMEN

En el presente trabajo se estudió el efecto tensoactivo de un agente anti-espumante en el proceso de deshidratación de gas natural con glicol. Se describió el proceso de deshidratación de gas natural con glicol; de igual forma se definieron las variables que influyen en la formación de espumas en el proceso en estudio. Se explicó el efecto de un tensoactivo en la tensión superficial como agente anti-espumante en el proceso de deshidratación con glicol, y por último se estableció la clasificación de los antiespumantes. Es por ello que el proceso de deshidratación con glicol tiene la finalidad de retirar el vapor de agua contenido en el gas natural. Las variables que influyen en la formación de espumas en la deshidratación del gas natural son las velocidades de entrada de los fluidos a la torre de absorción, la presencia de impurezas, cambios de temperatura y presión en la torre. El efecto del antiespumante es reducir la tensión superficial de la película acuosa de la espuma. Los antiespumantes se clasifican en: Poliácridatos de alquilo, base de aceite, base de agua, base de silicona, basados EO/PO, en polvo.

ÍNDICE

RESOLUCIÓN	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTOS	V
RESUMEN.....	VI
ÍNDICE.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
INTRODUCCIÓN.....	XV
CAPÍTULO I.....	15
EL PROBLEMA	15
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1 <i>Objetivo General</i>	16
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	16
CAPÍTULO II.....	17
MARCO TEÓRICO	17
2.1 ANTECEDENTES	17
2.2 MARCO TEÓRICO.....	19
2.2.1 <i>Gas Natural</i>	19
2.2.2 <i>Contenidos De Agua</i>	19
2.2.3 <i>Problemas Que Ocasiona El Agua En El Gas</i>	20
2.2.3.1 <i>Formación De Ácidos</i>	20
2.2.3.2 <i>Peligro De Explosión</i>	20
2.2.3.3 <i>Obstrucción En La Tubería</i>	21
2.2.4 <i>Hidratos De Gas Natural</i>	21
2.2.5 <i>Métodos De Deshidratación De Gas Natural</i>	21
2.2.5.1 <i>Glicoles Utilizados En La Deshidratación Del Gas Natural</i>	22
2.2.5.2 <i>Criterios De Selección Del Glicol</i>	23
2.2.5.3 <i>Contaminantes En Circuitos De Glicoles</i>	24
2.2.5.3.1 <i>Pureza (Contenido De Glicol)</i>	25

2.2.5.3.2 Degradación Del Glicol.....	25
2.2.5.3.3 Contenido De Sales	26
2.2.5.3.4 Contenido De Sólidos.....	26
2.2.5.3.5 Contenido De Hierro	26
2.2.5.3.6 Formación De Espumas	27
2.2.6 Descripción De Los Equipos Empleados Para Deshidratar Gas Natural Con Glicol	27
2.2.6.1 Depurador de entrada	27
2.2.6.2 Absorbedor	28
2.2.6.3 Tipo De Bandeja	30
2.2.6.3.1 Bandejas Con Casquetes De Burbujeo	30
2.2.6.3.2 Bandejas Perforadas	30
2.2.6.3.3 Intercambiador De Calor Glicol – Gas	31
2.2.6.3.4 Tanque De Almacenamiento De Glicol Pobre	32
2.2.6.3.5 Torre De Despojamiento.....	33
2.2.6.3.6 Rehervidor	35
2.2.6.3.7 Gas Despojamiento.....	38
2.2.6.3.8 Filtros.....	39
2.2.6.3.9 Bomba De Circulación.....	40
2.2.6.3.10 Torre Decantadora.....	41
2.2.6.3.11 Cubierta De Gas O Colchón De Gas.....	42
2.2.7 Variables En Proceso.....	42
2.2.8 Anfifilos.....	43
2.2.9 Surfactantes.....	44
2.2.9.1 Clasificación De Los Surfactantes	45
2.2.9.1.1 Surfactantes Aniónicos	45
2.2.9.1.2 Surfactantes Catiónicos	46
2.2.9.1.3 Surfactantes Anfóteros Ó Anfotéricos	46
2.2.9.1.4 Surfactantes Poliméricos	47
2.2.9.2 Estructura Y Propiedades De Los Surfactantes	47
2.2.9.2.1 Adsorción Y Orientación En Las Interfases.....	47
2.2.9.2.2 Fenómenos De Asociación.....	49
2.2.9.3 Surfactantes Y Operaciones De Separación	50
2.2.10 Espumas.....	51
2.2.10.1 Las Tres Etapas En La Vida De Una Espuma Y Los Fenómenos Asociados.....	51
2.2.10.1.1 Formación De La Espuma.....	52
2.2.10.1.2 Maduración De La Espuma	56
2.2.10.1.3 Espuma Persistente Con Películas Delgadas	60
2.2.11 Antiespumantes.....	64

2.2.11.1 Historia De Los Antiespumantes	65
CAPÍTULO III.....	66
MARCO METODOLÓGICO.....	66
3.1 ETAPAS DEL PROYECTO.....	66
3.1.1 Revisión Bibliográfica.....	67
3.1.2 Elaboración Del Trabajo De Grado	67
3.1.3 Describir El Proceso De Deshidratación De Gas Natural Con Glicol	68
3.1.4 Definir Las Variables Que Influyen En La Formación De Espumas En El Proceso En Estudio	68
3.1.5 Explicar El Efecto De Los Tensoactivos En La Tensión Superficial Como Agente Anti-Espumante En El Proceso De Deshidratación Con Glicol.....	68
3.1.6 Establecer La Clasificación De Los Antiespumantes.....	68
CAPÍTULO IV.....	69
DESARROLLO DE LA MONOGRAFÍA	69
4.1 DESCRIBIR EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DE GAS NATURAL CON GLICOL	69
4.2 DEFINIR LAS VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA FORMACIÓN DE ESPUMAS EN EL PROCESO EN ESTUDIO	73
4.2.1 Clasificación Y Formación De Las Burbujas	74
4.2.2 Generalidades.....	76
4.3 EXPLICAR EL EFECTO DE LOS TENSOACTIVOS EN LA TENSIÓN SUPERFICIAL COMO AGENTE ANTI-ESPUMANTE EN EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN CON GLICOL.....	80
4.4 ESTABLECER LA CLASIFICACIÓN DE LOS AGENTES ANTIESPUMANTES.....	81
4.4.1 Antiespumantes A Base De Aceite	81
4.4.1.1 Antiespumantes En Polvo	81
4.4.1.2 Antiespumantes A Base De Agua	82
4.4.1.3 Antiespumantes A Base De Silicona	82
4.4.1.3 Antiespumantes Basados EO/PO	82
4.4.1.4 Poliacrilatos De Alquilo	83
CAPITULO V.....	84
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	84
5.1 DESCRIBIR EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DE GAS NATURAL CON GLICOL	84
5.2 DEFINIR LAS VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA FORMACIÓN DE ESPUMAS EN EL PROCESO EN ESTUDIO	87
5.3 EXPLICAR EL EFECTO DE LOS TENSOACTIVOS EN LA TENSIÓN SUPERFICIAL COMO AGENTE ANTI-ESPUMANTE EN EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN CON GLICOL.....	88

5.4 ESTABLECER LA CLASIFICACIÓN DE ESTOS AGENTES ANTIESPUMANTES	89
CONCLUSIONES	91
RECOMENDACIONES	92
BIBLIOGRAFÍA	93
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:	94

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. DEPURADOR DE ENTRADA EN UN SISTEMA DE DESHIDRATACIÓN DE GAS NATURAL CON GLICOL (SDGC).....	28
FIGURA 2. TORRE CONTACTORA O ABSORBEDORA EN UN SDGC.	29
FIGURA 3. BANDEJAS CON CASQUETES DE BURBUJEO USADAS EN UN SDGC.....	30
FIGURA 4. BANDEJAS PERFORADAS.	31
FIGURA 5. SISTEMA DE INTERCAMBIADOR DE CALOR GLICOL – GAS.....	32
FIGURA 6. TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GLICOL POBRE	33
FIGURA 7. TORRE DE DESPOJAMIENTO	35
FIGURA 8. REHERVIDOR	36
FIGURA 9. TORRE DE GASES DE DESPOJAMIENTO.	39
FIGURA 10. FILTROS	40
FIGURA 11. BOMBA DE CIRCULACIÓN	41
FIGURA 12. TORRE DECANTADORA	42
FIGURA 13: REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE UNA MOLÉCULA DE SURFACTANTE, Y DE SU ADSORCIÓN EN LAS INTERFASES Y SU ASOCIACIÓN EN SOLUCIÓN.....	48
FIGURA 14: EFECTO GIBBS-MARANGONI.....	55
FIGURA 15: VARIACIÓN TÍPICA DE LA ESPUMABILIDAD CON LA CONCENTRACIÓN DEL TENSOACTIVO EN FASE LÍQUIDA.	56
FIGURA 16: SEGREGACIÓN DE LAS BURBUJAS Y DRENAJE DEL LÍQUIDO EN LA ESPUMA HÚMEDA.....	57
FIGURA 17: SUCCIÓN CAPILAR DEL LÍQUIDO DEL CENTRO DE LA PELÍCULA HASTA LOS BORDES DE PLATEAU	58
FIGURA 18: DIFUSIÓN GASEOSA INTRA-BURBUJA.....	59
FIGURA 19: ASPECTOS DE LA EVOLUCIÓN DE UNA ESPUMA POR DIFUSIÓN GASEOSA INTRA-BURBUJA.....	60
FIGURA 20: REPULSIÓN PRODUCIDA POR LA INTERACCIÓN ENTRE LAS CAPAS DE SURFACTANTE ADSORBIDO DE UNA PARTE Y DE LA OTRA DE LA PELÍCULA DELGADA.	61

FIGURA 21: OSCILACIÓN DE LA FUERZA ENTRE DOS SUPERFICIES QUE SE APROXIMAN CUANDO LA PELÍCULA LÍQUIDA CONTIENE OBJETOS COLOIDALES SÓLIDOS.....	62
FIGURA 22: POTENCIAL DE FLUJO Y ELECTRO-VISCOSIDAD.	63
FIGURA 23: EFECTO DE LA VISCOSIDAD SUPERFICIAL.	64
FIGURA 24. DIAGRAMA DE PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DE GAS NATURAL CON GLICOL. ...	73
FIGURA 25. APROXIMACIÓN DE LAS BURBUJAS POR CAUSA DEL EFECTO DE DRENAJE	75
FIGURA 26. DISTORSIÓN DE LAS CAPAS ESFÉRICAS RESPECTO A UNA FORMA GEOMÉTRICA OCTAÉDRICA	75
FIGURA 27. APROXIMACIÓN DE LAS MONOCAPAS Y REPULSIÓN ELECTROSTÁTICA.....	76
FIGURA 28. ANTIESPUMANTE BASE SILICÓN.	89

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DE LOS GLICOLES	23
TABLA 2: TEMPERATURA DE LOS TIPOS DE GLICOL	37

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se estudió el efecto tensoactivo de un agente anti-espumante en el proceso de deshidratación de gas natural con glicol. Se describió el proceso de deshidratación de gas natural con glicol; de igual forma se definieron las variables que influyen en la formación de espumas en el proceso en estudio. Se explicó el efecto de un tensoactivo en la tensión superficial como agente anti-espumante en el proceso de deshidratación con glicol, y por último se estableció la clasificación de los antiespumantes. Es por ello que el proceso de deshidratación con glicol tiene la finalidad de retirar el vapor de agua contenido en el gas natural. Las variables que influyen en la formación de espumas en la deshidratación del gas natural son las velocidades de entrada de los fluidos a la torre de absorción, la presencia de impurezas, cambios de temperatura y presión en la torre. El efecto del antiespumante es reducir la tensión superficial de la película acuosa de la espuma. Los antiespumantes se clasifican en: Poliacrilatos de alquilo, base de aceite, base de agua, base de silicona, basados EO/PO, en polvo.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento Del Problema

El gas natural que se obtiene de la explotación de los yacimientos está constituido por metano con proporciones variables de otros hidrocarburos (etano, propano, butano, pentano y gasolina natural) y dióxido de carbono, sulfuro de hidrogeno, vapor de agua, entre otros. Representa aproximadamente el 47 % de los combustibles utilizados en el país y el 72 % de nuestra petroquímica se deriva del metano y etano contenido en el gas, de ahí la importancia de este recurso energético.

El vapor de agua asociado al gas natural, es una de las impurezas más comunes en el gas dado por los inconvenientes que puede ocasionar tanto en procesos posteriores a los que pudiere estar sometido, como para su transporte a áreas de tratamiento y consumo. Bajo condiciones normales de producción, el gas natural está saturado con agua. Por los incrementos de presión o reducción de temperatura, el agua en el gas natural se condensa. Cuando el agua libre se combina con las moléculas de gas (metano, etano, propano), esta forma hidratos, los cuales pueden taponar válvulas, equipos y algunas líneas de gas. La presencia de agua líquida puede incrementar la corrosividad del gas natural, especialmente cuando el gas contiene H_2S y CO_2 . Sin embargo, el contenido de agua en el gas natural se reduce mediante procesos de deshidratación con: tamices moleculares, sólidos desecantes y glicoles. El empleo de uno u otro dependerá de las especificaciones requeridas del gas.

Durante el proceso de deshidratación con glicol, se forman espumas en la torre absorbadora, la cual es uno de los problemas más

comunes en estas plantas. Un cambio abrupto en la presión diferencial del absorbedor podría indicar la formación de espuma. Esto ocurre cuando se pone en contacto el gas con el glicol pobre. Puede ser de tipo: mecánica, la cual es producida por velocidades altas y la química, dada por efecto de los contaminantes. Es por ello que es necesario el uso de los antiespumantes, los cuales tienen afinidad con la superficie aire-líquido, desestabilizando las laminillas de espuma, provocando así la ruptura de las burbujas de aire y la descomposición de la espuma de la superficie.

Ante esta situación, es importante el estudio del efecto tensoactivo de ciertos agentes antiespumantes y su interacción en el proceso de deshidratación de gas natural con glicol, y de esta manera evitar problemas operacionales causados por la presencia de esas espumas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Estudiar el efecto tensoactivo de un agente anti-espumante en el proceso de deshidratación de gas natural con glicol.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Describir el proceso de deshidratación de gas natural con glicol.
- Definir las variables que influyen en la formación de espumas en el proceso en estudio.
- Explicar el efecto de un tensoactivo en la tensión superficial como agente anti-espumante en el proceso de deshidratación con glicol.
- Establecer la clasificación de los antiespumantes.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Rebolledo (2007) realizaron la evaluación de un tren de deshidratación existente mediante el software PRO/II, con la finalidad de determinar, si dicho tren, podía tratar la corriente de gas a procesar en el centro operacional UDO-1, dicha corriente es de 79,9868 MMPCND, a una presión de 950 psig y 105 °F con una gravedad específica de 0,7. El tren de deshidratación consta de dos (2) torres contactoras de ocho (8) platos con campanas, dos intercambiadores de calor, un tanque flash, una caja de fuego empacada, una bomba y dos (2) filtros; este tren fue diseñado para procesar 80 MMPCND de gas, con una gravedad específica de 0,61, a una presión de 820 psig y una temperatura de 110 °F. Las estimaciones iniciales se realizaron por medio de las gráficas y ecuaciones del libro deshidratación de Marcías Martínez y el data book de la GPSA. Con las dimensiones y los parámetros de operación sugeridos por el fabricante, se determinó la capacidad de las torres de absorción, a condiciones de operación, la cual es de 86.64 MMPCND y se calculó la longitud requerida por el pirotubo para regenerar el caudal de glicol rico obteniéndose un valor de 5,14 pies, siendo la disponible de 33,05 pies, por lo cual se concluye que el tren de deshidratación disponible puede tratar la corriente de gas a procesar. Las pérdidas de glicol en el sistema (0.0841 GAL de TEG/MMPCN de gas tratado) y la cantidad de agua en el gas deshidratado (4.35 Lb de H₂O/ MMPCN de gas tratado) se determinaron mediante el software, así como la concentración de TEG rico la cual es de 94.5 % P/P y la concentración del TEG pobre la cual arrojó un valor de 98.9 % P/P.

Rodriguez (2002) Estableció los requerimientos de mantenimiento de los sistemas de deshidratación con Trietilenglicol de la Planta de Extracción San Joaquín, PDVSA-GAS. Para el desarrollo de este proyecto utilizaron herramientas basadas en confiabilidad operacional, de manera de comenzar a impulsar en la empresa una conducta de mantenimiento de clase mundial, involucrando a la confiabilidad de los equipos como el parámetro fundamental para la evaluación de la gestión de mantenimiento. En este sentido, se comenzó por clasificar los equipos en dos grupos, (Equipos dinámicos y equipos estáticos), con la finalidad de aplicar a cada uno de ellos la metodología que permitiese sacar el mayor provecho de la información obtenida en planta, dando como resultado la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), como la que mejor describe a los equipos dinámicos, como las bombas de glicol, y la de Inspecciones Basadas en Riesgo (IBR), para el estudio de los equipos estáticos. Todo esto presentado, bajo el formato establecido en cada caso, como una propuesta final de mantenimiento para todos los equipos asociados a estos sistemas.

Sánchez (2008) En este caso se logro llevar el punto de rocío de 225 °F a 98 °F. Se hizo la simulación con la corriente de alimentación, en la herramienta de simulación HYSYS 3.1, los equipos como el aeroenfriador y el intercambiador de calor de carcasa y tubo se diseñaron a través del simulador HEXTRAN 8.11, el separador trifásico se realizo a través de cálculos matemáticos, en el cual se propuso dos tipos de separadores, uno con control de liquido en la bota y el otro con control de liquido con bolsillo, del cual se tomo el que mejor se adaptara al caso, y fue el de control en la bota por su capacidad de trabajar mejor con menos cantidad de agua y su cómodo diseño.

2.2 Marco Teórico

2.2.1 Gas Natural

El gas natural es una de las varias e importantes fuentes de energía no renovables formada por una mezcla de gases ligeros que se encuentra libre o asociado en yacimientos de petróleo. Aunque su composición varía en función del yacimiento del que se extrae, está compuesto principalmente por metano en cantidades que comúnmente pueden superar el 90 %, vapor de agua y suele contener otros gases como nitrógeno, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno y helio.

2.2.2 Contenidos De Agua

El gas que viene del yacimiento se considera saturado con vapor de agua, es decir, toda corriente de gas natural proveniente de los pozos de producción contiene agua en forma de vapor, junto con otros componentes que integran la mezcla de hidrocarburos.

La presión y/o la temperatura de los hidrocarburos inciden en la cantidad de agua que éste puede retener; por tal razón cualquier incremento en la temperatura del sistema aumentará la presión de vapor del agua en el mismo, aumentando así, el contenido de vapor en la corriente gaseosa.

Si éste es enviado a un sistema de transporte; el agua condensa y se deposita en forma líquida en las tuberías (gasoducto) lo que reduce la capacidad de flujo o de transmisión y aumento en la caída de presión. Además la presencia de agua e hidrocarburo permite a condiciones favorables de presión y temperatura la formación de hidratos, permitiendo taponamiento, roturas en piezas rotatorias y además de otros problemas operacionales.

Por otra parte, los componentes ácidos en presencia de agua generan compuestos corrosivos que atacan la metalurgia y reducen la vida útil de tuberías, equipos y accesorios.

2.2.3 Problemas Que Ocasiona El Agua En El Gas

Un aspecto que suele complicar el manejo del gas producido, es conocer con certeza el volumen de agua, que puede estar disperso en el gas natural, (generalmente se encuentra saturado con agua en forma de vapor). Los cambios en la temperatura y presión condensan este vapor que altera el estado físico de gas a líquido y luego a sólido dentro de las tuberías, válvulas, entre otros; generando así problemas que pudieran llegar a ser graves, como en los sistemas criogénicos que no tienen ninguna tolerancia al agua, ya que estos trabajan a temperaturas comprendidas entre -100 -300°F y el agua podría causar problemas a nivel operacional.

Este vapor de agua debe ser removido para evitar en el sistema los siguientes inconvenientes: Formación de ácidos, peligro de explosión y obstrucción en la tubería.

2.2.3.1 Formación De Ácidos

Cuando hay presencia de CO_2 y H_2S , conjuntamente con agua libre, se formaran compuestos ácidos que corroen las tuberías y restos de los componentes metálicos del sistema.

2.2.3.2 Peligro De Explosión

Si un bache de agua que se haya formado en la tubería entra a una caldera, habrá una explosión. La magnitud depende de la cantidad de líquido que llegue y de la temperatura que encuentre. El agua, al evaporarse aumenta 1.700 veces su volumen.

2.2.3.3 Obstrucción En La Tubería

Los hidratos de gas natural producen taponamiento en las tuberías y obstruyen el flujo de gas.

2.2.4 Hidratos De Gas Natural

Los hidratos de gas natural son sustancias sólidas en forma de cristales de color blanco formadas cuando el agua líquida y algunos hidrocarburos ligeros, principalmente metano, etano, propano, se combinan físicamente bajo ciertas condiciones de presión y temperatura.

Las moléculas de agua, en presencia de gases ligeros pueden formar una estructura cristalina que contiene cavidades donde las moléculas del gas son atrapadas. Se ha determinado la existencia de 3 estructuras cristalinas las cuales pueden formar cavidades grandes y pequeñas.

2.2.5. Métodos De Deshidratación De Gas Natural

Existen dos métodos para deshidratar el gas natural: absorción y adsorción. La adsorción utiliza un desecante sólido como alúmina activada, gel de sílice y tamices moleculares; la absorción emplea un desecante líquido como el glicol. El líquido seleccionado como el más deseable para la absorción de agua debe poseer las siguientes propiedades:

- Alta eficiencia de absorción.
- Debe ser no corrosivo a los tubos y válvulas y ser no tóxico.
- No debe haber interacción con la parte de hidrocarburos de los gases y ninguna contaminación por gases ácidos.

Los glicoles, especialmente etilenglicol, dietilenglicol, trietilenglicol, se acercan más a la satisfacción de los criterios antes mencionados. Agua y glicoles muestran solubilidad mutua en la fase líquida.

2.2.5.1 Glicoles Utilizados En La Deshidratación Del Gas Natural

Los glicoles son alcoholes múltiples, es decir, son compuestos químicos que poseen dos grupos terminales $-OH$, los cuales presentan muchas características afines con el agua. La más importante es formar puentes de hidrógeno que es un tipo de enlace molecular que favorece la solubilidad del agua con otro compuesto. Existen muchas clases de glicoles, pero los más utilizados en la deshidratación del gas natural son: el etilenglicol (EG), dietilenglicol (DEG) y trietilenglicol (TEG), sin embargo, casi un 100 % de los deshidratadores con glicol usan TEG.

Los glicoles son líquidos capaces de absorber agua, debido a que son sustancias altamente higroscópicas, los cuales presentan las siguientes características:

- No solidifican en soluciones concentradas.
- No corrosivos.
- No forman precipitados con hidrocarburos.
- Insolubles en hidrocarburos.
- Estables en presencia de CO_2 , H_2S .

En la siguiente tabla se muestran algunas propiedades y características de los glicoles usados más comúnmente para la deshidratación del gas natural.

Tabla 1. Propiedades y características de los glicoles

	EG	DEG	TEG	Metanol
	$C_2H_6O_2$	$C_4H_{10}O_3$	$C_8H_{16}O_5$	CH_3OH
Peso Molecular	62,1	106,1	150,2	32,04
$T_{\text{ebullición atm}} (^{\circ}F/^{\circ}C)$	387/193	476/245	545/286	148/64,5
$P_{\text{vapor } 77^{\circ} F / 25^{\circ}} , \text{ mmHg}$	0,12	< 0,01	< 0,01	120
SG @ 77 ° F (25 ° C)	1,110	1,113	1,119	0,790
SG @ 140° F (60 ° C)	1,085	1,088	1,092	
Freezing Point (° F/ ° C)	8/-13	17/-8	19/-7	-144/-98
Visc @ 77 ° F (25 ° C), cP	16,5	28,2	37,3	0,52
Visc @ 140 ° F (60 ° C), cP	4,7	7,0	8,8	
$C_p @ 77^{\circ} F (25^{\circ} C), \text{ btu/lb } ^{\circ}F$	0,58	0,55	0,53	0,60
$T_{\text{descomposición}} (^{\circ}F/ ^{\circ}C)$	329/165	328/164	404/206	

2.2.5.2 Criterios De Selección Del Glicol

- Costos.
- Viscosidad por debajo de 100 - 150 cP.
- Reducción del punto de rocío.
- Solubilidad del glicol en la fase de hidrocarburos.
- Punto de congelamiento de la solución agua- glicol.
- Presión de vapor.

- Temperatura de las fases líquida y gaseosa en el separador de baja temperatura.
- Relación gas /hidrocarburos líquidos.

En todo proceso de deshidratación la tasa de circulación del glicol es bien importante, porque de ella depende un buen contacto entre el líquido y el gas y por lo tanto un buen proceso de deshidratación.

El glicol requerido en un proceso de deshidratación, según el diseño, viene dado por la siguiente ecuación:

$$Q = (R)(dW) \text{ TEG} \quad (1)$$

Donde:

QTEG: glicol requerido en el proceso, (gal TEG/MMPC de gas procesado).

R: relación glicol-agua removida, (gal TEG/lb agua removida).

dW: cantidad de agua removida del gas.

La cantidad de agua removida por el gas (dw) viene dada por la ecuación:

$$dW = W1 - W2 \quad (2)$$

Donde:

W1: contenido de agua en el gas de entrada, lb.agua /MMPCD.

W2: contenido de agua en el gas deshidratado, lb.agua /MMPCD.

2.2.5.3 Contaminantes En Circuitos De Glicoles

El ingreso de contaminantes externos al circuito (con el gas a tratar) y la recirculación de los glicoles generan en los mismos una serie

de alteraciones que se manifiestan en fallas o inconvenientes temporales de los parámetros de procesos establecidos.

A continuación se menciona como la desviación de ciertas características de glicol en uso puede generar diversos problemas operativos. Se observa también, que la relación causa-efecto no es directa por lo cual todos los contaminantes de glicol deben ser evaluados para llegar a un diagnóstico efectivo. Adicionalmente se mencionan los niveles recomendados de calidad para un desempeño óptimo de un proceso.

2.2.5.3.1 Pureza (Contenido De Glicol)

La concentración de glicol pobre determina la máxima depresión de punto de rocío que puede ser obtenida por el sistema. Esta deberá encontrarse entre 98 y 99 % en peso o más. La concentración del glicol rico, una función del agua capturada, deberá ser 2 a 5 % menor que la del glicol pobre. La concentración del glicol pobre normalmente es función directa de la temperatura del reboiler.

2.2.5.3.2 Degradación Del Glicol

Es indicada por cambios en la composición y reducciones en el pH de la solución. Es causada por la excesiva temperatura o entrada de oxígeno y los productos de degradación son los ácidos orgánicos (fórmico – acético) correspondientes. Los hidrocarburos reaccionan con los productos de degradación formando productos poliméricos. Estos productos pueden estabilizar espumas.

Los ácidos también contribuyen a la corrosión del sistema, el pH bajo puede ajustarse con bórax, o carbonato de sodio. Las diferencias en el contenido de hidrocarburos de glicol rico y pobre indican la cantidad de hidrocarburo purgado por el regenerador. Los Hidrocarburos que flashean en el reboiler pueden arrastrar grandes cantidades de vapor de glicol (altas pérdidas) y pueden dañar las instalaciones. Se recomienda no

superar el 0.5 % de hidrocarburos en el glicol para evitar espumas o interferencias en la regeneración.

Las pérdidas de glicol pueden ser el mayor problema operativo en plantas de deshidratación. La contaminación del glicol por hidrocarburos, sólidos finamente divididos y agua salada puede promover espumas y consumo de glicol. Se considera aceptable una pérdida de 1 lb/MMSCF de gas secado.

2.2.5.3.3 Contenido De Sales

Marca la cantidad de cloruros inorgánicos en el glicol, usualmente cloruro de sodio y con menor frecuencia cloruro de calcio. La deposición de sales en los tubos de fuego reduce la transferencia de calor y promueve “puntos calientes” donde se localizan fallas. La presencia de ácidos orgánicos puede generar también corrosión. Cuando el contenido de sal alcanza 0.5 a 1 % en peso, el glicol debe ser removido para evitar problemas operativos.

2.2.5.3.4 Contenido De Sólidos

A bajo pH la presencia de barros generados por sólidos carbonosos y sales conduce a la formación de sólidos que son abrasivos y promueven espuma. Los filtros son eficientes para remover esos sólidos.

A pH por debajo de 5.5 sucede la autoxidación del glicol que genera peróxidos, aldehídos y ácidos orgánicos tales como fórmico y acético. Si el gas contiene gases ácidos, el pH también se reduce, porque a diferencia de las aminas, los glicoles no tienen reserva alcalina. El pH debe encontrarse entre 6.5 y 7.5.

2.2.5.3.5 Contenido De Hierro

Es un indicador de corrosión, el hierro puede ser removido. Un sistema debería tener menos de 5 ppm. Un contenido mayor de 30 ppm

podría indicar una condición seria de corrosión. Los productos de corrosión pueden estabilizar espumas.

2.2.5.3.6 Formación De Espumas

La tendencia y estabilidad debe medirse en glicoles. El ensayo puede emplearse también para medir la eficiencia de los filtros de carbón que usualmente se intercalan en las plantas. La llegada a planta de inhibidores de corrosión, fluidos de fractura de pozos (metanol) u otros productos químicos puede generar espumas estables.

2.2.6 Descripción De Los Equipos Empleados Para Deshidratar Gas Natural Con Glicol

2.2.6.1 Depurador de entrada

Es un cilindro vertical colocado en la corriente de gas antes de que esta llegue al absorbedor. Su función principal es la de prevenir la descarga accidental de grandes cantidades de agua, de hidrocarburos, o de agua salada en el absorbedor. Este depurador debe ser suficientemente largo como para retener la mayor parte de los sólidos y líquidos disueltos.

Algunas veces es necesario instalar un extractor de niebla, que remueva todos los contaminantes, entre la entrada al depurador y la planta de glicol con el objeto de limpiar la entrada de gas.

Si no existe un separador de entrada este podría traer como consecuencia que, si algo de la fase de vapor se condensa en la corriente de gas, esta podría pasar al absorbedor, diluir el glicol y bajar su eficiencia lo que podría causar un aumento de la carga liquido-vapor en la torre de despojamiento que inundaría toda la torre y causaría grandes pérdidas de glicol, si es agua salada la sal se depositaría en el rehervidor, ensuciando la superficie de calentamiento o se podría producir un

incendio. El separador debe ser ubicado bastante cerca del absorbedor de manera que no le dé tiempo al gas condensarse antes de entrar a este.

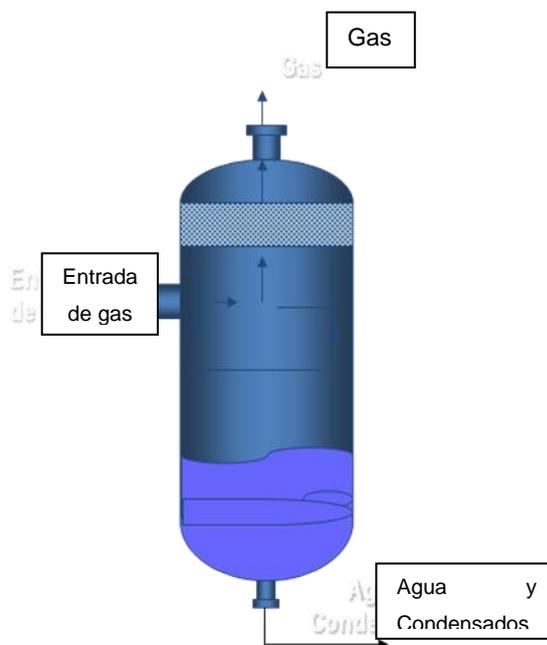


Figura 1. Depurador de entrada en un sistema de deshidratación de gas natural con glicol (sdgc).

2.2.6.2 Absorbedor

Es un cilindro vertical, el contacto entre el glicol y el gas se hace en forma escalonada (platos), el glicol que entra por el tope descende por gravedad, fluye a través de cada plato pasando de uno a otro mediante un vertedero. El gas que asciende desde la parte inferior de la torre fluye a través de las aberturas en los platos, burbujea en el glicol, sale de él y sigue al plato siguiente. Cada plato es una etapa.

Una mayor eficiencia por etapa requiere un mayor tiempo de contacto entre las fases para que pueda darse la difusión; como el gas asciende a través del glicol, la cantidad de este en cada plato ha de ser

suficiente grande, y así, el gas tarda más tiempo en pasarlo y se prolonga el contacto.

Altas velocidades del gas también ayudan a un alto rendimiento por etapa ya que, puede dispersarse completamente en el glicol y este en su agitación, forma espuma lo que proporciona superficies grandes de contacto interfacial. Un problema de que el gas a alta velocidad arrastre al salir de la espuma pequeñas gotas de glicol hacia el próximo plato lo que afecta el cambio de concentración llevado a cabo en la transferencia de masa, disminuyendo el rendimiento por etapa, también pérdida de glicol porque puede arrastrarlo con el cuando salga por el absorbedor.

A medida que aumenta la velocidad del gas y es mayor la cantidad de liquido en el plato, se incrementa la caída de presión del gas lo que podría provocar inundación de la torre absorbedora.

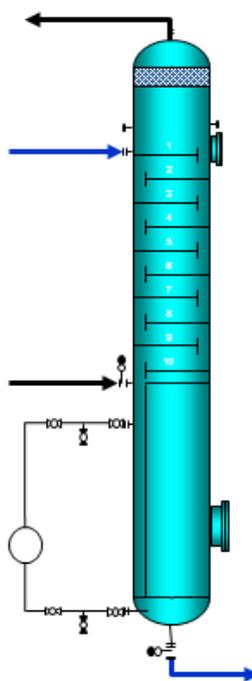


Figura 2. Torre contactora o absorbedora en un sdgc.

2.2.6.3 Tipo De Bandeja

2.2.6.3.1 Bandejas Con Casquetes De Burbujeo

Tienen la ventaja de operar con altos rendimientos para distintos regímenes de flujo. El gas asciende a través de las aberturas de las bandejas a los casquetes que coronan cada abertura. La periferia de cada paquete presenta una serie de ranuras por las que el gas burbujea dentro del glicol.

Debido a que son el tipo de bandejas que proporcionan el mejor contacto gas-glicol, se recomienda su uso.



Figura 3. Bandejas con casquetes de burbujeo usadas en un sdgc.

2.2.6.3.2 Bandejas Perforadas

Son casi similares excepto que el área dedicada a los casquetes y a los conductores de ascenso de gas se reemplaza por una lámina de metal perforada con pequeños agujeros circulares.

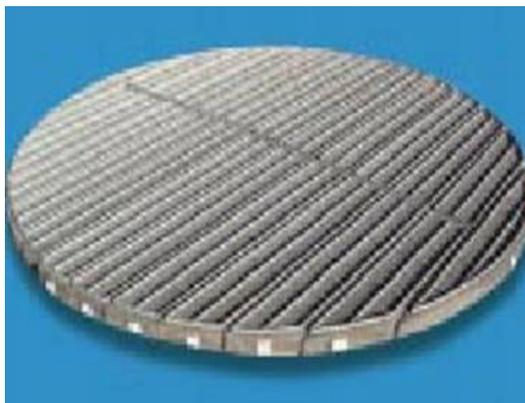


Figura 4. Bandejas perforadas.

2.2.6.3.3 Intercambiador De Calor Glicol – Gas

Este intercambiador de calor glicol-gas, usa el gas que sale del absorbedor para enfriar el glicol que entra a él, este intercambiador puede ser un serpentín en el tope del absorbedor. Un intercambiador de agua fría puede ser usado para evitar el calentamiento del gas, también se lo utiliza para enfriar el glicol.

Un intercambiador de calor es esencial porque el equilibrio del punto de rocío del gas en contacto con el glicol asciende de la misma forma que asciende la temperatura del glicol, el cual es más bajo que la disminución que se podría obtener con glicol calentado.

Debido a su importancia en el proceso de deshidratación del gas, se requiere una periódica limpieza de los mismos; ya que ellos tienden a acumular sucio en su superficie.

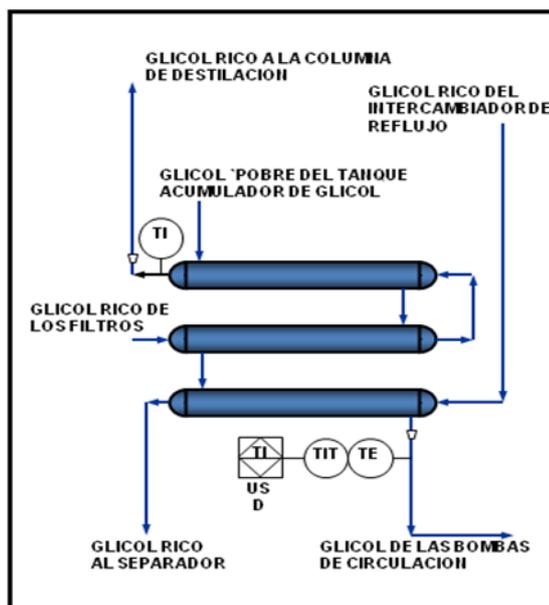


Figura 5. Sistema de intercambiador de calor glicol – gas.

2.2.6.3.4 Tanque De Almacenamiento De Glicol Pobre

Este tanque contiene un serpentín intercambiador de calor glicol-glicol, cuya finalidad es la de enfriar el glicol pobre que viene del rehervidor y precalentar el glicol rico que viene del absorbedor y que va a la torre de despojamiento. El glicol pobre también es enfriado por radiación de la concha del tanque de almacenaje; es por ello que este tanque no estará aislado.

El objetivo principal de este tanque es la de almacenar el glicol que ha sido regenerado en el rehervidor.

Si este tanque se aprovisiona con una cubierta de gas seco (ni oxígeno, ni aire) es necesario chequear que la válvula de la tubería de la cámara de gas y el orificio de control de flujo estén abiertas al paso de gas. Solamente un pequeño flujo de gas es suficiente para prevenir que la corriente del rehervidor contamine el glicol regenerado.

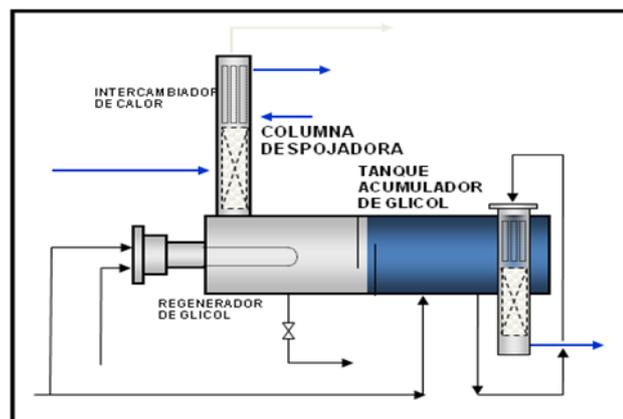


Figura 6. Tanque de almacenamiento de glicol pobre

2.2.6.3.5 Torre De Despojamiento

Esta torre es un cilindro vertical con un paquete en forma de columna, localizada en el tope del rehervidor para separar el agua y el glicol con destilación fraccional. El paquete es usualmente de cerámica. Esta torre de despojamiento puede tener o no un serpentín interno de reflujo, dependiendo de si se usa gas de despojamiento.

En la columna de despojamiento que utilizan gas de despojamiento, tienen un serpentín intercambiador de calor en el tope de la columna de despojamiento. Este intercambiador efectúa un reflujo de condensado de agua, el cual realiza un lavado de glicol mezclado con el vapor de agua. Como el glicol tiene un punto de condensación menor que el agua, al ponerse en contacto con el serpentín, se condensa primero depositándose en el fondo y deja pasar solamente el vapor de agua y el gas de despojamiento; los cuales son ventados al exterior (a la atmosfera). Al mismo tiempo que el glicol rico que viene del absorbedor se precalienta al ponerse en contacto con los vapores calientes que vienen del rehervidor.

Otras unidades dependen del enfriamiento atmosférico para proporcionar un reflujo a la torre de despojamiento. El reflujo para la torre

es mas critico o necesario cuando se usa gas de despojamiento porque así se minimizan las perdidas del glicol.

Una válvula manual es utilizada en la tubería para desviar el serpentín de reflujo localizado en la torre. Bajo condiciones normales esta válvula se cerrara y el reflujo total pasara a través del serpentín.

La temperatura mínima promedia de los vapores de la torre de despojamiento no podrá ser menor de 170°F.

La rotura del paquete despojador puede causar una solución de glicol espumante en la torre y aumentar las perdidas del mismo. Este paquete, generalmente, es roto por un excesivo movimiento en el hecho de la torre causado por desprendimiento de hidrocarburos en el rehervidor. Un descuido en el manejo de la instalación del paquete también puede causar su rompimiento.

La suciedad en el paquete despojador, causada por depósitos de sal o hidrocarburos, podría también causar soluciones espumantes en la torre y aumentar las pérdidas de glicol. Sin embargo, el paquete podría ser limpiado o reemplazado cuando ocurra su taponamiento o pulverización.

Un residuo libre de hidrocarburos líquidos en el sistema de glicol puede ser muy molesto y peligroso. El hidrocarburo se desprenderá en el rehervidor, alimentando el despojamiento, lo cual traerá como consecuencia una alta pérdida de glicol. Los vapores y los líquidos de los hidrocarburos podrían también, causar un serio peligro de incendio. Sin embargo, los vapores de desecho de la torre podrán ser venteados lejos de la unidad de proceso, como una medida de seguridad.

Esta línea de venteo se protegerá con un sistema de clima- frio, cuando sea necesario, porque la corriente de vapor puede condensarse y taponar la línea. Cuando esto ocurre, el vapor de agua desprendida en el

rehervidor puede descargarse dentro del tanque de almacenamiento y diluir el glicol ya regenerado. Además la presión causada por estos vapores entrampados podría causar la explosión del regenerador.

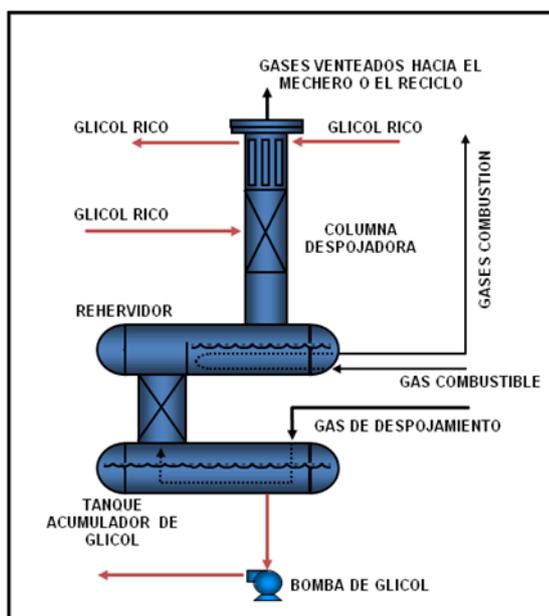


Figura 7. Torre de despojamiento

2.2.6.3.6 Rehervidor

Este tanque suministra calor para separar el glicol y el agua por simple destilación. Puede ser a fuego directo o calentado por corriente de hidrocarburo caliente. El tipo de fuego directo es con una caja de fuego removible, es un tubo en forma de U y contiene uno o más quemadores.

Este rehervidor puede ser diseñado para asegurarle la vida al tubo de fuego y para prevenir la descomposición del glicol por sobrecalentamiento.

La tasa de transferencia de calor es una medida del reflujo calentado en la caja de fuego, la cual será alta como para proporcionar una adecuada capacidad de calentamiento, pero lo bastante baja como para prevenir la descomposición del glicol.

Cuando se calienta en áreas muy pequeñas se puede producir un excesivo calentamiento del flujo que descompondría térmicamente el glicol. Conservando la llama del piloto baja, en rehervidores pequeños, previene la descomposición del glicol y el agotamiento del gas combustible en el tubo de fuego.

En el caso de producirse un debilitamiento en la llama del quemador, se justifica un paro en el mecanismo de la bomba, para evitar la circulación del glicol rico. También es de gran utilidad para este caso la instalación de un sistema de chispa de ignición continuo, el cual no presentaría este problema.

Para prevenir fallas en el quemador, se hace necesario limpiar periódicamente los orificios de la mezcladora de aire-gas, y los del piloto.

La temperatura del rehervidor controla la concentración de agua en el glicol. Las siguientes temperaturas del rehervidor no deben ser excedidas para prevenir la decoloración del glicol:

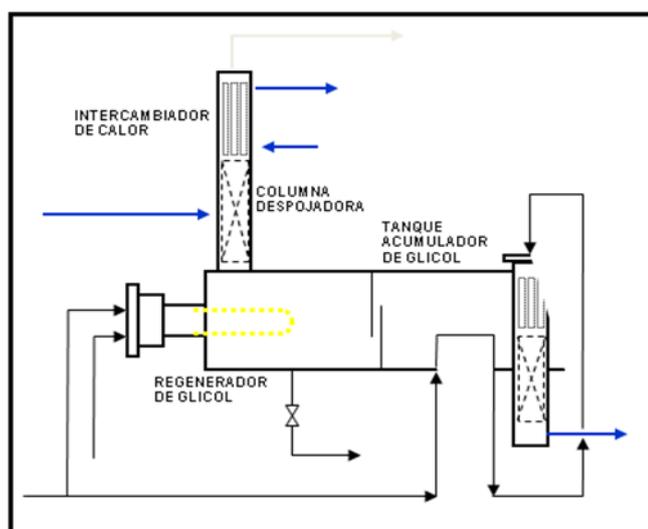


Figura 8. Rehervidor

Tabla 2: Temperatura de los tipos de glicol

Tipo de glicol	Temperatura teórica de descomposición térmica
Etileno	329°F
Dietileno	328°F

Una excesiva decoloración y una baja degradación del glicol resultarán cuando la temperatura del volumen en el rehervidor se mantenga por encima de 100°F más o menos, de la temperatura fijada.

El trietilenglicol es estable a 425°F, el rehervidor opera a 400°F, sin embargo si no se ejercen efectos adversos sobre el glicol se podrá esperar y si es necesario se operara el rehervidor a 425°F.

Si en el tubo de fuego se acumulan combustibles, sedimentos o depósitos de sal, la tasa de transferencia de calor se reduce y pueden presentarse fallas en el tubo. El sobrecalentamiento es localizado especialmente donde se acumula la sal, el cual descompone el glicol. Los depósitos de sal, también pueden ser detectados por paro del quemador en el rehervidor durante la noche; al mirar la caja de fuego, una mancha roja brillante será visible donde los depósitos de sal se han formado en el tubo. Hidrocarburos y sedimentos que se encuentran en el glicol pueden ser eliminados por una buena filtración.

El proceso de calentamiento es controlado termostáticamente y es automático, sin embargo la temperatura del rehervidor puede ser verificada con un termómetro de prueba para tener una lectura confiable, si la temperatura oscila excesivamente, cuando se disminuye la capacidad de la tasa de operación baja, es necesario disminuir la presión del gas combustible, si la temperatura del rehervidor no puede ser aumentada tanto como se desea puede ser necesario aumentar la presión del combustible a mas de 30 LPC.

2.2.6.3.7 Gas Despojamiento

El desarrollo más importante en la tecnología de deshidratación con trietilenglicol se ha hecho posible a raíz de un método de regeneración del desecante. Aquí se remueve el agua del glicol por métodos convencionales de regeneración hasta que la concentración del mismo llega a 99.1%, de ahí en adelante, la purificación se hace por medio del despojamiento con gas.

La técnica de despojamiento con gas consiste en inyectar una pequeña cantidad de gas natural seco y caliente proveniente del deshidratador en forma tal que fluya en contracorriente con el glicol de 99.1% de pureza proveniente del rehervidor y antes de salir hacia el tanque de almacenamiento.

Esta pequeña cantidad de gas natural seco reduce la presión parcial del vapor de agua a un valor bastante bajo al hacer contacto con el glicol parcialmente regenerado. Este fenómeno fuerza un cambio en el equilibrio del sistema de tal manera que una cantidad adicional de agua es separada del glicol y entra a la fase de vapor a esencialmente la misma temperatura, lo cual resulta en contenidos de agua muy bajos en el glicol así regenerado.

El gas de despojamiento para inyección es tomado normalmente de la línea de gas combustible del rehervidor (o cualquier gas deshidratado) a la misma presión. No se debe usar aire, ni oxígeno. Aproximadamente 146 pie³ de gas son necesarios por galón de glicol circulado, dependiendo de los grados de pureza del glicol necesitados por la unidad de deshidratación.

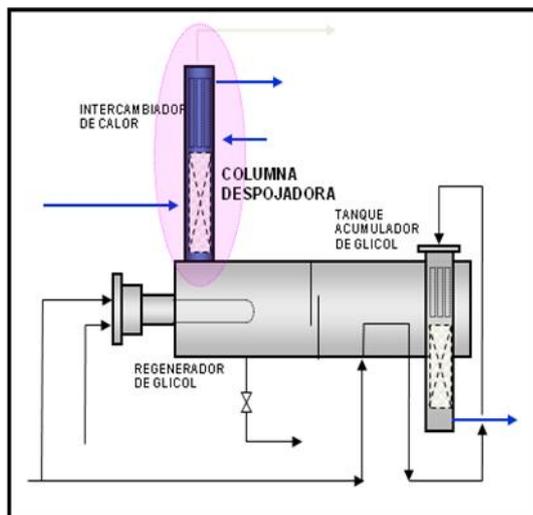


Figura 9. Torre de gases de despojamiento.

2.2.6.3.8 Filtros

Específicamente el filtro está colocado entre el contactor y el rehervidor, esto con el fin de prevenir que material extraño pueda llegar al rehervidor.

También se lo coloca con la finalidad de que reduzca la presión del glicol que viene del absorbedor y así lograr que se lleve a cabo una regeneración a presión atmosférica. Un filtro también puede ser colocado en la línea de succión de glicol de las bombas, pero se corre el riesgo de que si el filtro se tapa, la bomba podría perder su succión.

El filtro suministrado en la planta puede ser del tipo cartucho renovable, cada unidad trae un set de estos cartuchos renovables para reemplazo del que se coloca inicialmente (cuando la unidad de deshidratación empieza a operar) que entrampará partículas extrañas durante la circulación inicial.

Muchos filtros de glicol son equipados con una válvula de alivio interna para ayudar cuando la caída de presión a través del filtro alcanza

de 20 a 25 LPC. Un filtro en buen estado detectara una caída de presión que oscila entre 5 a 15 LPC.



Figura 10. Filtros

2.2.6.3.9 Bomba De Circulación

Esta pieza es usada para circular el glicol a través del sistema. Pueden ser eléctricas, de gas, gas-glicol, dependiendo de las condiciones de operación de la planta.

La capacidad de la bomba será proporcional al volumen de gas procesado. La velocidad será disminuida para bajas tasas de gas y aumentada para altas tasas de gas. Este ajuste proporcionado permite aumentar el tiempo de contacto gas-glicol en el absorbedor.

Generalmente una tasa de circulación de 2 a 3 galones por libra de agua es suficiente para proporcionar una deshidratación adecuada. Una tasa excesiva puede sobrecargar el rehervidor y reducir la eficiencia de deshidratación. La tasa podrá ser comprobada regularmente con un indicador de tiempo en la bomba para asegurar si está operando a la velocidad deseada.



Figura 11. Bomba de circulación

2.2.6.3.10 Torre Decantadora

Esta torre es un elemento opcional dentro de la unidad de deshidratación que es diseñado para prevenir los trastornos que originan los destilados en el absorbedor y/o formación de peligro de incendio. Es colocada justamente delante de la torre de despojamiento para eliminar las molestias que ocasionan los hidrocarburos con condensados en el absorbedor

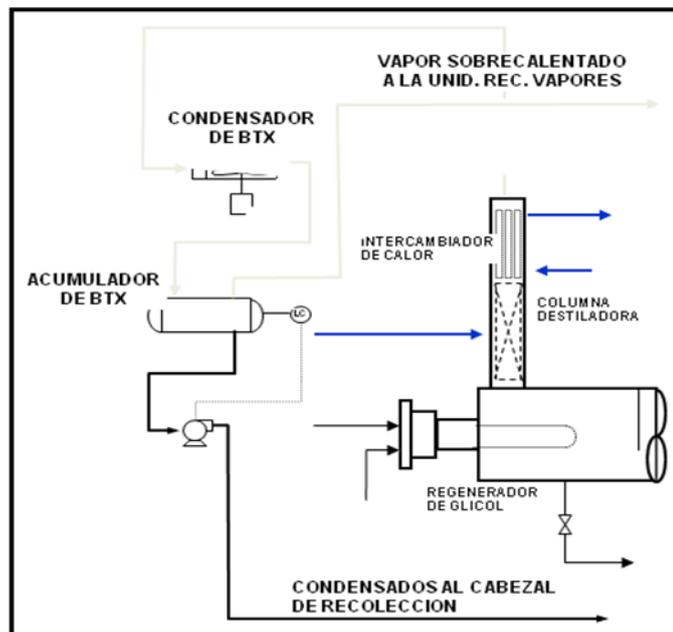


Figura 12. Torre decantadora

2.2.6.3.11 Cubierta De Gas O Colchón De Gas

Esta cubierta de gas se proporciona en el rehervidor y en el tanque de almacenamiento para prevenir que el aire entre en contacto con el glicol. Esto se realiza agregando una pequeña cantidad de gas de baja presión dentro del tanque de almacenamiento.

El gas es llevado desde el tanque de almacenamiento hasta el fondo de la torre de despojamiento y se pasa sobrecalentado con el vapor de agua. La eliminación del aire ayuda a prevenir la descomposición del glicol por oxidación lenta. Esta cubierta o colchón de gas también igual a las presiones entre el rehervidor y el tanque de almacenamiento evitando el rompimiento entre el sello líquido entre estos tanques en caso de ocurrir contrapresiones excesivas en el rehervidor

2.2.7 Variables En Proceso

Aunque un número de variables están implicadas en una unidad de deshidratación, por lo menos seis tienen influencia directa sobre el funcionamiento de la unidad:

- Número de platos en el absorbedor,
- Régimen de circulación de glicol,
- Volumen de gas,
- Presión de entrada de gas,
- Temperatura y,
- Concentración del glicol.

Examinada cada una de estas variables, brinda información acerca de la unidad a utilizar y como debería desempeñarse. El máximo descenso de punto de rocío que puede esperarse es el punto de rocío de equilibrio teórico para dar concentraciones de glicol a la temperatura de contacto especificada.

2.2.8 Anfífilos

La palabra anfífilo hace su aparición en el título del texto de P. Winsor hace más de 30 años. Se constituyó a partir de dos raíces griegas. De un lado el prefijo "anfi" que significa "doble", de los dos lados, "alrededor", como en anfiteatro o anfibio. De otra parte la raíz "filo" que denota la amistad y la afinidad como en filántropo (el amigo del hombre), hidrófilo (afín al agua) o también filósofo (amigo del saber).

Una sustancia anfífila posee una doble afinidad, que se define desde el punto de vista fisicoquímico como una dualidad polar-apolar. La molécula típica de un anfífilo tiene dos partes: un grupo polar que contiene heteroátomos como O, S, P ó N que se encuentran en grupos alcohol, ácido, sulfato, sulfonato, fosfato, amina, amida, y un grupo apolar o poco polar que es en general un grupo hidrocarbonado de tipo alquil o

alquil benceno, y que puede contener eventualmente átomos de halógeno u oxígeno.

La parte polar posee afinidad por los solventes polares en particular el agua y se denomina comúnmente la parte hidrófila o hidrofílica. Por el contrario el grupo apolar se llama la parte hidrófoba o hidrofóbica, o bien lipofílica, del griego "phobos", el miedo, y "lipos", la grasa.

2.2.9 Surfactantes

Del hecho de su doble afinidad, la molécula de anfífilo "no se siente bien" en el seno de un solvente, sea este apolar o polar, puesto que existirá siempre una interacción que no será satisfecha. Es por esto que las moléculas de anfífilo muestran una fuerte tendencia a migrar a las interfases, de forma tal, que su grupo polar se encuentre dentro del agua y su grupo apolar se encuentre orientado hacia un solvente orgánico o en la superficie.

En lo que sigue se llamará superficie el límite entre una fase condensada y una fase gaseosa e interfase el límite entre dos fases condensadas. Esta diferenciación es cómoda, pero no indispensable, y existen textos donde no se realiza.

Los ingleses utilizan la palabra "surfactante" (agente activo de superficie) para denotar una sustancia que posee una actividad superficial o interfacial. Es necesario hacer resaltar que todos los anfífilos no poseen tal actividad, para que esto suceda es necesario que la molécula posea propiedades relativamente equilibradas, quiere decir, que no sea ni demasiado hidrófila ni demasiado hidrófoba. La palabra "surfactant" no tiene una traducción exacta en español, lengua en la cual se usa el término genérico de "tensoactivo", que se refiere a una actividad o a una acción sobre la tensión superficial o interfacial, es decir sobre la energía libre de Gibbs. Este término es equivalente a surfactante solo si se supone que la actividad superficial o interfacial se traduce necesariamente

por un descenso de la tensión, lo cual es verdad en la mayor parte de los casos que tienen un interés práctico. Usaremos el neologismo "surfactante"

En general, el término tensoactivo se refiere a una propiedad de la sustancia. Los anfífilos tiene muchas otras propiedades y se les califica según las aplicaciones: jabones, detergentes, dispersantes, emulsionantes, espumantes, bactericida, inhibidores de corrosión, antiestático, etc. o dentro de las estructuras de tipo: membrana, microemulsión, cristal líquido, liposomas o gel.

2.2.9.1 Clasificación De Los Surfactantes

La clasificación se fundamenta en el poder de disociación del surfactante en presencia de un electrolito y de sus propiedades fisicoquímicas, pueden ser:

Iónicos: según la carga que posea la parte que presenta la actividad de superficie: (a) aniónicos, (b) catiónicos y (c) anfóteros No-iónicos.

Los iónicos, con fuerte afinidad por el agua, motivada por su atracción electrostática hacia los dipolos del agua puede arrastrar consigo a las soluciones de cadenas de hidrocarburos, por ejemplo el ácido palmítico, prácticamente no ionizable es insoluble, mientras que el palmitato sódico es soluble completamente ionizado. Dentro de los que se ionizan en agua, se encuentran:

2.2.9.1.1 Surfactantes Aniónicos

En solución se ionizan, pero considerando el comportamiento de sus grupos en solución, el grupo hidrófobo queda cargado negativamente. Están constituidos por una cadena alquílica lineal o ramificada que va de 10 a 14 átomos de carbono, y en su extremo polar de la molécula se encuentra un anión. Los surfactantes aniónicos se disocian en un anión

anfífilo y un catión, el cual es en general un metal alcalino o un amonio cuaternario.

A este tipo pertenecen los detergentes sintéticos como los alquil benceno sulfonatos, los jabones (sales de sodio de ácidos grasos), los agentes espumantes como el lauril sulfato, los humectantes del tipo sulfosuccinato, los dispersantes del tipo lignosulfonatos. La producción de los surfactantes aniónicos representa alrededor del 55% de los surfactantes producidos anualmente en el mundo

2.2.9.1.2 Surfactantes Catiónicos

Los surfactantes catiónicos se disocian en solución acuosa en un catión orgánico anfífilo y un anión generalmente del tipo halogenuro. La gran mayoría de estos surfactantes son compuestos nitrogenados del tipo sal de amina grasa o de amonio cuaternario. La fabricación de estos surfactantes es mucho más cara que la de los aniónicos y no iónicos y es por esta razón que no se les utilizan salvo en caso de aplicación particular, como cuando se hace uso de sus propiedades bactericidas o de su facilidad de adsorción sobre sustratos biológicos o inertes que poseen una carga negativa. Esta última propiedad hace que sean excelentes agentes antiestáticos, hidrofobantes, así como inhibidores de corrosión, y puedan ser utilizados tanto en productos industriales como para uso doméstico.

2.2.9.1.3 Surfactantes Anfóteros Ó Anfotéricos

La combinación dentro de una misma molécula de dos caracteres: aniónico y catiónico producen un surfactante llamado anfótero, como por ejemplo los aminoácidos, las betaínas o los fosfolípidos; ciertos anfóteros son insensibles al pH, otros son de tipo catiónico a pH ácido y de tipo aniónico a pH alto. Los anfóteros son en general tan caros como los catiónicos y por esta razón su utilización se reduce a aplicaciones particulares.

2.2.9.1.4 Surfactantes Poliméricos

Hace unos veinte años surgieron éstos, son producidos asociando estructuras polimerizadas de tipo hidrofílico o lipofílico, en forma de bloques o de injertos. Ciertos de estos surfactantes son indispensables en procesos donde están involucrados macromoléculas naturales como en la deshidratación de petróleo.

2.2.9.2 Estructura Y Propiedades De Los Surfactantes

Los surfactantes son especies químicas constituidas por moléculas que contienen grupos con afinidades opuestas: una cabeza polar y una parte no polar. La parte polar es hidrofílica y favorece la disolución de la molécula en disolventes polares mediante enlaces de hidrógeno u otras interacciones electrostáticas. La parte no polar es hidrofóbica o lipofílica, y sólo muestra débiles interacciones soluto-disolvente, como las fuerzas de dispersión de London. En todo caso las dos características mencionadas deben ser suficientemente intensas: las cadenas de hidrocarburos (simples o modificadas con F o Cl) han de ser al menos de 8 átomos de C, y la cabeza fuertemente polar (aniónica, catiónica, anfótera o no iónica).

La estructura molecular de los surfactantes determina su comportamiento en las interfases y las propiedades fisicoquímicas de sus soluciones, y especialmente su capacidad de formar estructuras en medios coloidales.

2.2.9.2.1 Adsorción Y Orientación En Las Interfases

Los surfactantes tienen la propiedad de adsorberse en las interfases líquido-gas y líquidolíquido formando monocapas (capas del espesor de una molécula) con su cabeza polar orientada hacia el medio acuoso y su resto no polar dirigido al aire o hacia el medio orgánico (figura

13). Su presencia en las interfases, incluso en concentraciones bajas (del orden de 1 mM), reduce considerablemente la tensión superficial del líquido. Ello explica la aparición de espuma o la formación de emulsiones. La adsorción de surfactantes en las interfases no es instantánea. Tiene lugar según una cinética que depende de la composición del líquido (especialmente de su fuerza iónica), y del tipo de surfactante.

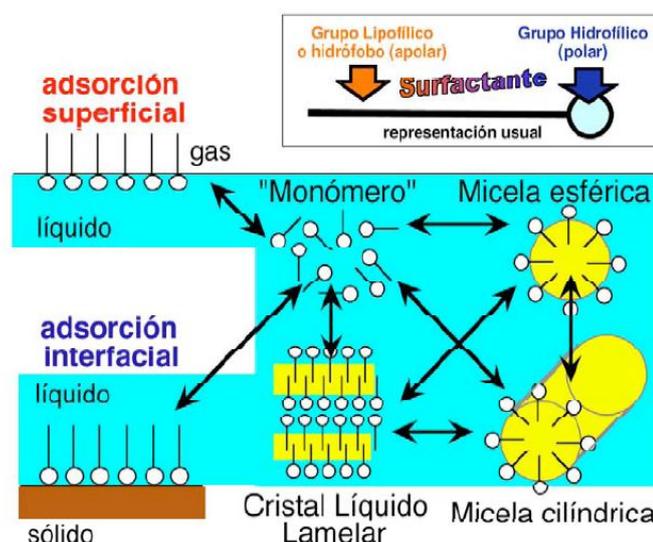


Figura 13: representación esquemática de una molécula de surfactante, y de su adsorción en las interfases y su asociación en solución.

Un líquido en movimiento tiene normalmente turbulencias y remolinos en su seno, que provocan que su superficie se renueve constantemente con líquido fresco procedente de la masa del líquido. Si la interfase contiene ya surfactante adsorbido, tiene una tensión superficial menor.

Ello provoca que la renovación de la superficie por líquido fresco (sin surfactante, y por tanto de mayor tensión superficial) se vea termodinámicamente desfavorecida: la renovación de la superficie se ve frenada. Este es el efecto hidrodinámico de los surfactantes. Este efecto se ve influido por la cinética de adsorción del surfactante en la interfase.

Los surfactantes se pueden adsorber también en la interfase sólido-líquido, y ello se manifiesta por la reducción del ángulo de contacto Θ entre el líquido y el sólido. El ángulo de contacto es menor cuanto mayor sea la energía superficial del sólido al aire, y cuanto menores sean la energía superficial del sólido mojado y la tensión superficial del líquido. Un valor nulo de Θ corresponde al mojado total por esparcimiento total del líquido sobre el sólido. La capacidad de un líquido de mojar un sólido está pues ligada a valores bajos de tensión superficial del líquido, lo que se logra con surfactantes. Un buen mojado suele mejorar la transferencia pues aumenta el área de transferencia fluido-fluido.

2.2.9.2.2 Fenómenos De Asociación

La adición de pequeñas cantidades de surfactante al agua provoca la reducción de su tensión superficial. No obstante, al superar determinado valor de la concentración de surfactante, la tensión superficial no disminuye más. Esta discontinuidad se da también en muchas otras propiedades fisicoquímicas de la solución. Estas discontinuidades indican un cambio de estructura de dichas soluciones. En ellas las moléculas de surfactante, hasta entonces en estado monómero, se asocian para formar agregados multimoleculares de distinta naturaleza: entidades de dimensiones finitas (micelas, vesículas) o estructuras cuasi-infinitas, como diversos tipos de cristales líquidos.

El caso más frecuente es el de formación de estructuras micelares. La concentración a la que se presenta la discontinuidad de comportamiento en la solución se denomina concentración micelar crítica o CMC. Desde un punto de vista termodinámico, la micelización es el resultado de un compromiso entre la tendencia a la asociación (interacción hidrófoba) y la resistencia a hacerlo (repulsiones electrostáticas y estéricas entre cabezas polares). La CMC de un surfactante depende de su estructura molecular y de otros parámetros externos. La micelización está en el origen del fenómeno de

solubilización, que es la incorporación en el interior de las micelas de especies químicas no miscibles con el disolvente (por ejemplo, hidrocarburos en el interior de medios acuosos). En las microemulsiones, dichas entidades coloidales tienen un tamaño intermedio entre las micelas y las gotas de las emulsiones.

De todo ello se desprenden aplicaciones prácticas extremadamente variadas. Además de sus aplicaciones típicas como ingredientes fundamentales (materia activa en detergencia o cosmética), o como aditivos de formulación, los surfactantes se muestran muy útiles y eficaces como coadyuvantes en distintas operaciones de proceso.

2.2.9.3 Surfactantes Y Operaciones De Separación

La separación de fases puede tener lugar por simple acción mecánica (filtración), pero está acompañada en la mayor parte de casos de cambios de composición (destilación, extracción). En este último caso la transferencia de materia entre fases juega un papel esencial, y los surfactantes tienen una gran influencia sobre la misma, modificando la naturaleza de la interfase e incrementando el área interfacial. En ciertas operaciones -flotación- el surfactante es imprescindible, pero en otros casos la transferencia de materia a través de la interfase podrá ser inhibida o favorecida por la presencia de surfactantes, dependiendo ello de muy diversos factores que se detallarán en el texto. De hecho, y en función de su estructura, dichos compuestos tienen comportamientos muy variados e incluso opuestos, pues pueden actuar de agentes humectantes o hidrofobantes, de emulsionantes o desulsionantes, y de espumantes o antiespumantes.

En el siguiente esquema se indica para las distintas operaciones unitarias de separación, si la principal propiedad del surfactante es la adsorción en las interfases o la asociación en solución.

Se considerarán aquí las operaciones basadas en fenómenos de adsorción: destilación, absorción, evaporación, flotación, separación por espuma. En una segunda parte se verán la extracción sólido-líquido, cristalización, y las técnicas basadas en la asociación de las moléculas de surfactante en disolución: extracción líquido-líquido, ultrafiltración y cromatografía. No se describirán la acción de surfactantes sobre la reacción química ni la recuperación asistida de petróleo. La extensión otorgada a cada operación no se corresponde necesariamente con su importancia económica.

Operaciones Unitarias y Surfactantes



2.2.10 Espumas

Las espumas son dispersiones aire-líquido, constituidas por un conjunto de burbujas gaseosas separadas por películas delgadas de líquido.

2.2.10.1 Las Tres Etapas En La Vida De Una Espuma Y Los Fenómenos Asociados

Es relativamente fácil diferenciar las tres etapas de la vida de una espuma. Estas etapas recubren mecanismos y fenómenos físico-químicos muy nombrados.

Se va a comenzar por examinar brevemente los fenómenos que están en juego en las tres etapas, las cuales se han definido como:

- i) La formación de la espuma (de algunos segundos hasta algunos minutos)
- ii) La maduración de la espuma desde la espuma húmeda a la espuma seca donde el espesor de la película es todavía grande respecto a la escala coloidal (de algunos minutos a algunas horas)
- iii) La persistencia de las espumas secas cuya estabilidad de la película depende de las interacciones coloidales (de varias horas a varios días dependiendo del caso).

2.2.10.1.1 Formación De La Espuma

Existen dos métodos para formar espumas. En el primero un gas previamente disuelto en un líquido se libera por un cambio físico por lo general por un descenso de la presión o un aumento de la temperatura. En el segundo caso un aparato mecánico permite introducir burbujas de gas en el seno del líquido, por lo general por agitación violenta o burbujeo.

2.2.10.1.1.1 Adsorción Del Surfactante En La Superficie Gas-Líquido. Tensoactividad

Las burbujas que se forman representan un aumento del aire superficial gas-líquido. La nueva superficie que se crea por agitación está por tanto disponible para que se produzca la adsorción de un surfactante presente en el líquido. Un surfactante es una sustancia cuya molécula posee un grupo hidrófilo y un grupo hidrófobo o lipofílico (el dodecilbenzeno sulfonato de sodio usado en los polvos para lavar la ropa o el oleato de potasio en los jabones o más aún el lauril sulfato de sodio de los champúes). Una de las propiedades fundamentales de los surfactantes es la fuerte tendencia de adsorberse en las superficies o en las interfases. Una vez adsorbidas en la superficie, estas moléculas

tensoactivas producen un descenso notable de la tensión superficial que puede pasar de 72 mN/m por superficie aire-agua a 30 mN/m para una solución diluida de surfactante, y muchas veces hasta menos como es el caso de los surfactantes perfluorados. En lo que concierne las interfases agua-aceite, ciertos productos pueden disminuir su tensión a valores extremadamente bajos del orden de 0.001 mN/m. Entre más se disminuye la tensión más fácil se crea un área superficial o interfacial.

2.2.10.1.1.2 Separación Del Gas Por Gravedad. Acumulación De Burbujas

Sin embargo, la formación de un sistema disperso no es la única razón para estar bajo la presencia de tensoactivos. Luego que las burbujas se forman ellas se separan debido a la diferencia de densidad con la fase líquida. Estas burbujas se amontonan unas sobre otras y en este proceso se forman películas entre las burbujas. Estas películas son sometidas a esfuerzos de estiramiento y es indispensable que ellas no se rompan, ya que la espuma se forma a partir de la acumulación de burbujas.

2.2.10.1.1.3 Efecto Gibbs-Marangoni

Es aquí donde el tensoactivo juega un papel determinante en lo que se conoce como efecto Gibbs-Marangoni. Cuando una película gruesa se forma entre dos burbujas y las burbujas se acercan a menudo estas se aplastan, la película está expuesta a un esfuerzo de estiramiento frecuentemente complejo, en el que el área superficial gas-líquido aumenta rápidamente. La concentración de surfactante adsorbido (denominado adsorción Γ en moléculas por unidad de superficie) tiende a disminuir en la zona estirada donde la película es más delgada que en las zonas vecinas. En consecuencia, la tensión superficial aumenta según la relación que permite calcular la elasticidad de Gibbs ϵ .

$$\varepsilon = 2 \cdot \frac{dy}{d \ln A} = -2 \cdot \frac{dy}{d \ln \Gamma} \quad (3)$$

Donde γ es la tensión, A , el área superficial y Γ la adsorción. El coeficiente 2 indica que la película está comprendida por dos superficies gas- líquido. Como lo indica la figura 6, se tiene una diferencia de tensión entre la zona estirada de la película (tensión más elevada, menor grosor) y las zonas adyacentes (no estirada, tensión más baja). Esto produce un fenómeno denominado inestabilidad de Marangoni, el cual se puede observar en las cocinas cuando se le agrega una gota de detergente líquido a un fregadero lleno de agua, en la superficie quedan gotas de aceite flotando. El gradiente de tensión produce una fuerza dirigida desde la zona donde se encuentra el exceso de tensoactivo, es decir donde la tensión es baja, hasta la zona de alta tensión, que desplazan a las gotas de aceite. En el caso de las películas estiradas entre la superficie libre y una burbuja, o entre dos burbujas el movimiento superficial se produce desde la zona vecina hasta la zona estirada; si la película es suficientemente delgada, este movimiento superficial se lleva a cabo desde el líquido hasta la parte delgada de la película, lo que restaura su espesor original, o bien impide que el estiramiento prosiga. Se asiste entonces a un mecanismo (denominado Gibbs-Marangoni) que confiere una cierta elasticidad a una película estirada entre dos burbujas.

El mecanismo Gibbs-Marangoni es por tanto el fenómeno sobre el que reposa la existencia misma de la espuma. En lo que concierne la noción de abundancia de espuma o más exactamente el poder espumante de una solución, es cuantificado por la espumabilidad, medido como el volumen de espuma formada en ciertas circunstancias dadas.

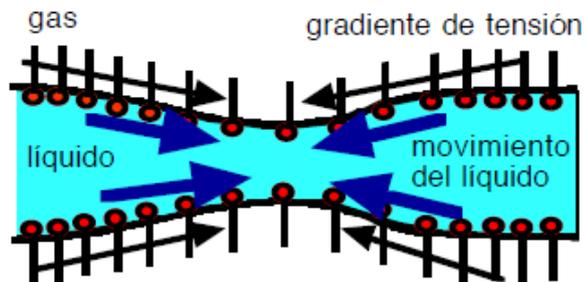


Figura 14: efecto gibbs-marangoni.

2.2.10.1.1.4 Máximo De Espumabilidad En La CMC

El gradiente de adsorción entre la zona delgada y la zona vecina se debe al gradiente de tensión correspondiente, el cual depende del equilibrio entre la superficie y la fase líquida, que se explica por la relación característica de la isoterma de Gibbs relacionada al equilibrio, la adsorción Γ a la tensión γ y a la concentración de surfactante en fase líquida C .

$$\frac{d\gamma}{d \ln C} = -RT\Gamma \quad (4)$$

A baja concentración de surfactante, la tensión superficial se parece a la del agua pura y por tanto no hay un gradiente de tensión apreciable por estiramiento de la película. Esto corresponde con las medidas experimentales que indican que la espumabilidad aumenta a medida que la concentración de surfactante se incrementa hasta la concentración micelar crítica (CMC), y que a continuación ésta tiende a invertirse como lo indica la figura 15.

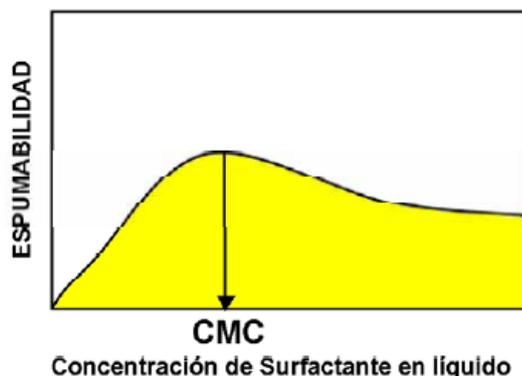


Figura 15: variación típica de la espumabilidad con la concentración del tensoactivo en fase líquida.

2.2.10.1.1.5 Efectos Cinéticos

La concentración a la cual la inversión espontánea se produce depende de parámetros cinéticos. En efecto ciertos surfactantes se adsorben más o menos rápido y ciertas micelas se degradan más o menos fácilmente. Cuando se trata de mezclas de surfactantes es decir a la mayoría de los casos prácticos, la situación es aún más complicada, ya que hay surfactantes que se difunden más rápidamente que otros y que literalmente van a “precipitarse” en la superficie de las burbujas en las que se forman. Estos surfactantes pueden a continuación ser desplazados y reemplazados por otros “más lentos” por tanto tienen más tendencia a adsorberse, el intercambio se produce cuando la espuma está formada. Es evidente que la espumabilidad va a depender de los primeros surfactantes, así que los surfactantes “retardadores” actuarán sobre la estabilidad de la espuma formada. Como la acción de cada uno de ellos depende también de la concentración en el líquido y de su proporción en las micelas susceptibles a degradarse no es de asombrarse que el máximo de espumabilidad no se produce necesariamente a la CMC del primer surfactante.

2.2.10.1.2 Maduración De La Espuma

Una vez que la espuma se forma, súbitamente ésta sufre una degradación más o menos lenta, a una escala de tiempo de algunos minutos a algunas horas, en su transcurso entran en juego diferentes mecanismos:

- (i) La segregación y el drenaje gravitacional
- (ii) La succión capilar
- (iii) La difusión gaseosa intra-burbuja.

2.2.10.1.2.1 Segregación De Burbujas Y Drenaje Gravitacional Del Líquido

Durante los primeros instantes se produce una segregación gravitacional de las burbujas del hecho que el empuje de Arquímedes es más fuerte sobre las burbujas grandes que sobre las pequeñas (figura 16, a la izquierda). El rearrreglo relativo de las burbujas no se puede hacer fácilmente hasta que la espuma contenga una proporción volumétrica de líquido mínimo en el orden del 15-20 %. Por tanto, esto se produce sobre todo en los primeros momentos. El drenaje gravitacional del líquido hacia abajo se produce durante toda la vida de la espuma, pero es evidente que es más importante en la espuma húmeda (figura 16, a la derecha).

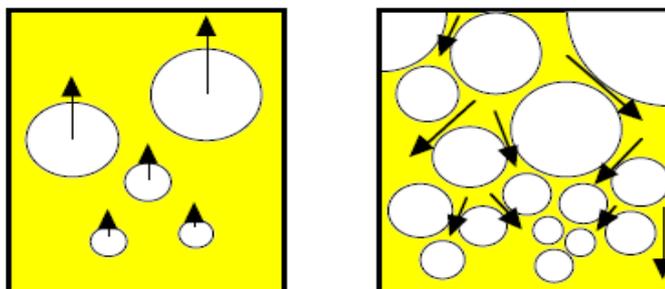


Figura 16: segregación de las burbujas y drenaje del líquido en la espuma húmeda.

2.2.10.1.2.2 Succión Capilar

La proporción de líquido presente en la espuma disminuye rápidamente debido al drenaje del líquido hacia abajo, antes que nada por simple acción de la gravedad sobre el líquido que se encuentra en las burbujas, luego por fenómenos más complejos cuando las burbujas pierden su forma esférica para devenir poliédricas. En éste momento el contenido de líquido no excede al 10% y continua disminuyendo ya que la diferencia de curvatura entre los bordes de Plateau (figura 17) y la parte plana de las películas según la ley de Laplace producen un gradiente de presión. Esta es la fuerza motriz que desplaza el líquido del centro de las películas hacia los bordes de Plateau, gracias a un mecanismo llamado succión capilar.

Este líquido es seguidamente drenado por la gravedad hacia la parte inferior de la espuma en los bordes de Plateau. La espuma puede entonces comenzar a degradarse por ruptura de las películas relativamente delgadas (algunos micrómetros o de menor espesor), en particular si las condiciones favorables al efecto Gibbs-Marangoni no son satisfechas, o si no existen mecanismos de estabilización de perturbaciones de la película intra-burbuja. De todas maneras, la ruptura de las películas no se producen necesariamente durante esta segunda etapa y la espuma puede persistir y continuar su evolución lentamente.

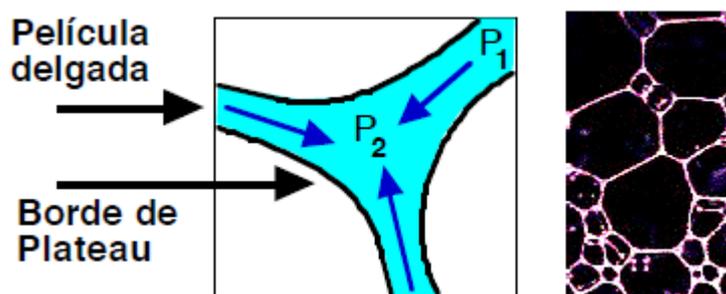


Figura 17: succión capilar del líquido del centro de la película hasta los bordes de plateau

2.2.10.1.2.3 Difusión Gaseosa Intra-Burbuja

Cuando las burbujas son poliédricas, las películas intra-burbujas se comportan como películas planas de poco espesor, pero a causa de la ley de Laplace la presión es mayor en las burbujas pequeñas que en las grandes. En consecuencia, existe por lo general un gradiente de presión de una parte y de la otra de una película, que induce una difusión gaseosa a través de ésta película (figura 18).

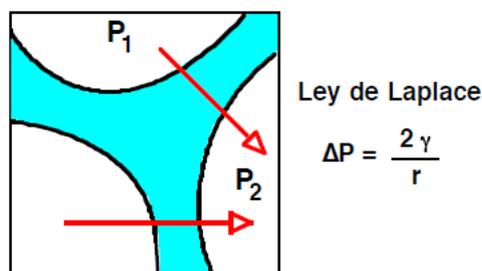


Figura 18: difusión gaseosa intra-burbuja.

Este fenómeno, llamado maduración de Ostwald, hace que las pequeñas burbujas se desinflen lentamente en las grandes y desaparezcan. Este es el fenómeno que dominó la evolución de las espumas a escala de tiempos intermedios (algunos minutos a algunas horas). En otros términos, el número de burbujas disminuyen y las burbujas devienen grandes poco a poco sin que sea necesario que las películas se rompan (lo que se puede producir sin embargo al mismo tiempo). La figura 18 indica la evolución típica de una espuma por madurabilidad de Ostwald.

Este fenómeno es a menudo importante en la práctica. Y puede ser inhibido por la presencia de una capa adsorbida insoluble como la que forman las proteínas en la clara de huevo batidas a punto de nieve en la preparación de merengues. En este caso, la disminución del diámetro de una burbuja (que se desinfla en sus vecinas más grandes) produce el aumento de la adsorción (ya que las moléculas adsorbidas son

prácticamente insolubles y el valor de la elasticidad ϵ es muy elevada). En consecuencia, se produce una reducción de tensión suficiente para compensar la diferencia de presión debida a la ley de Laplace. Otra medida de bloquear la difusión intra-burbuja es de recubrir toda la superficie de partículas sólidas minúsculas (insolubles en el líquido) por ejemplo, los glóbulos de grasa de la leche en la crema batida llamada Chantilly o las partículas de asfaltenos en los petróleos brutos espumantes.

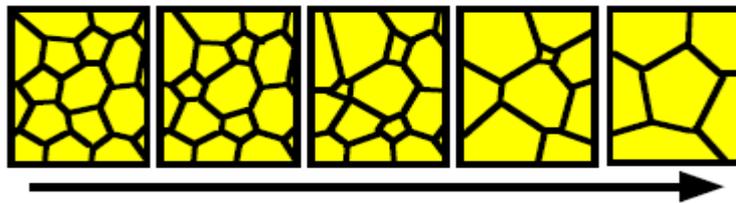


Figura 19: aspectos de la evolución de una espuma por difusión gaseosa intra-burbuja.

2.2.10.1.3 Espuma Persistente Con Películas Delgadas

A medida que la película se adelgaza, la rapidez de drenaje disminuye, típicamente de manera proporcional al cubo del espesor de la película e inversamente proporcional a la viscosidad del líquido y al área de la película (Prud'homme et Khan, Ivanov). El drenaje por tanto, puede ser muy lento si el líquido contiene agentes viscosantes y si las burbujas poliédricas son de gran dimensión. Este efecto hidrodinámico no es el único, ni necesariamente el más importante. En efecto, si el espesor de las películas intra-burbujas llegan a disminuir por debajo del décimo de micrómetro, típicamente cerca de los 200 Å, se observan entonces nuevos fenómenos que corresponden a las interacciones "coloidales" (es decir a muy poca distancia) entre las superficies.

Dos efectos se oponen:

- De una parte, las fuerzas intermoleculares atractivas de Van der Waals tienden a atraer las burbujas vecinas y por lo tanto a

producir el drenaje de la película. Estas fuerzas actúan a muy poca distancia, prácticamente al contacto.

- De otra parte, existen diversas fuerzas que producen un efecto repulsivo y se oponen al acercamiento de las burbujas y por tanto al drenaje de las películas. Estas son debidas a la presencia de una capa adsorbida de tensoactivo sobre cada una de las superficies de una parte y de la otra de la película delgada.

Frecuentemente en las escuelas, se les refiere como fuerzas repulsivas o como presión de disjunción. La célebre teoría DLVO trata del efecto del balance de estas fuerzas sobre la estabilidad de partículas coloidales, y los conceptos que ésta presenta son cualitativamente aplicables a las películas delgadas intra-burbujas (Ivanov, Exerowa et Kruglyakov).

2.2.10.1.3.1 Repulsiones (Fenómenos Estáticos)

El primer tipo de fenómeno estático corresponde a diversos tipos de repulsión entre las superficies (figura 20). Aquella que actúa a mayor distancia es la repulsión eléctrica debida al movimiento de las capas disponibles de las dobles capas eléctricas producidas por la adsorción de surfactantes iónicos (Rosen).

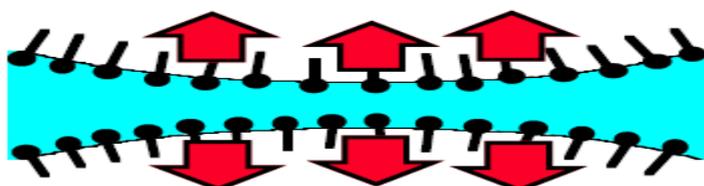


Figura 20: repulsión producida por la interacción entre las capas de surfactante adsorbido de una parte y de la otra de la película delgada.

A medida que la longitud de Debye es mayor, la distancia de repulsión aumenta; la presencia de electrolito, en particular polivalente, tiende a reducir la longitud de Debye y por tanto tiende a reducir la

distancia a la cual la repulsión electrostática es suficiente para evitar el acercamiento de las superficies. En consecuencia, la presencia de un electrolito tiende eventualmente a acelerar el drenaje de la película intraburbuja. Existen otros tipos de repulsiones, en particular la repulsión estérica entre las cadenas polieter de los surfactantes no iónicos o entre las partes hidrófilas de polímeros adsorbidos. Los dos tipos de repulsiones pueden producirse simultáneamente con polielectrolitos, los cuales también juegan un papel viscosante en el líquido. En presencia de micelas o de otros objetos coloidales en el líquido, el adelgazamiento de la película no es de manera continua sino por etapas (Ivanov). Cada etapa lenta se produce cuando el espesor de la película corresponde exactamente a un múltiplo del diámetro de los objetos. Entre cada etapa lenta aparece una etapa rápida durante la cual el espesor de la película corresponde exactamente a un múltiplo del diámetro de los objetos. Entre cada etapa lenta aparece una etapa rápida durante la cual el espesor de la película varía mucho más rápido. Este curioso fenómeno ilustrado en la figura 21 se debe a la característica oscilante de la fuerza de interacción entre las superficies que se aproximan, que pasan de repulsivas a atractivas, luego de nuevo a repulsiva, cuando su distancia pasa de un múltiplo del diámetro de los objetos al múltiplo inmediatamente inferior.

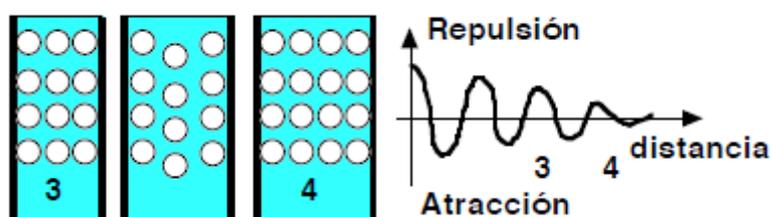


Figura 21: oscilación de la fuerza entre dos superficies que se aproximan cuando la película líquida contiene objetos coloidales sólidos.

2.2.10.1.3.2 Fenómenos Dinámicos De La Superficie

Existen también fenómenos que no se producen si no hay un desplazamiento tangencial del líquido respecto a la superficie, es el caso

del drenaje de una película delgada donde la mayor parte del líquido puede ser considerado suficientemente vecino de la superficie para interactuar con las moléculas que se encuentran adsorbidas. En este caso, un desplazamiento del líquido afecta las moléculas adsorbidas y viceversa. La presencia de una doble capa eléctrica (Rosen) produce uno de los efectos electrocinéticos, llamados algunas veces electroviscosos, en el que el desplazamiento del líquido arrastra los contraiones que se encuentran en la capa difundida sin afectar los iones adsorbidos del surfactante (de signo contrario). Esto provoca una deslocalización de carga que induce un potencial, llamado potencial de flujo, el cual ejerce una fuerza sobre los iones desplazados para regresarlos a su posición y en consecuencia en las moléculas de líquido asociadas a estos iones (Levich). Como corolario, el líquido no se desplaza así de fácil como lo preveen las leyes hidrodinámicas y todo pasa como si estuviese más viscoso, de allí la denominación electroviscosidad (figura 22).

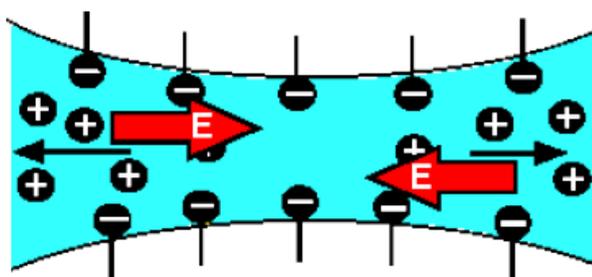


Figura 22: potencial de flujo y electro-viscosidad.

Las sustancias adsorbidas en la superficie presentan a veces interacciones laterales con sus vecinos, en el mismo tiempo que las interacciones con las moléculas del líquido. De hecho, cuando el movimiento del fluido tiende a arrastrar una molécula adsorbida y por lo tanto a producir una fuerza tangencial en la superficie, ésta fuerza se transmite a la molécula vecina y así sucesivamente, de la misma manera que los esfuerzos se transmiten en tres dimensiones al interior de un fluido gracias a la viscosidad (figura 23). Las interacciones laterales

frenan éste desplazamiento en la superficie, así como el movimiento del líquido de la película asociada a las moléculas adsorbidas. Este fenómeno puede interpretarse a partir del concepto de viscosidad superficial que rinde cuenta a la manera a la que el desplazamiento de una molécula adsorbida en la superficie induce el desplazamiento de las moléculas vecinas.

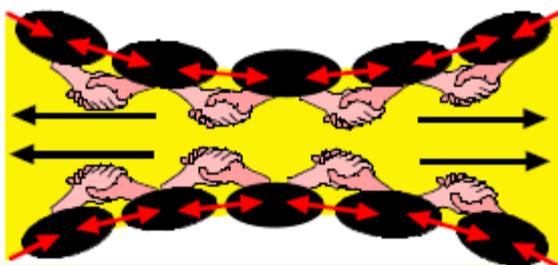


Figura 23: efecto de la viscosidad superficial.

2.2.11 Antiespumantes

Un antiespumante o un agente antiespumante es un aditivo químico que reduce y dificulta la formación de espuma en los líquidos de procesos industriales. Los términos agente antiespuma y antiespumante se usan indistintamente.

En general, un antiespumante es insoluble en el medio de la formación de espuma y tiene propiedades de superficie activa. Una característica esencial de un producto antiespumante es una baja viscosidad y una instalación para propagarse rápidamente en las superficies espumosas. Esto tiene la afinidad a la superficie aire-líquido en el que desestabiliza las laminillas de espuma. Esto provoca la ruptura de las burbujas de aire y la descomposición de la espuma de la superficie. Burbujas de aire arrastradas se aglomeran, y las burbujas más grandes suben a la superficie del líquido a granel más rápidamente.

2.2.11.1 Historia De Los Antiespumantes

Los primeros antiespumantes estaban destinados a romper la espuma visible en la superficie. Queroseno, fuel oil y otros productos petroleros se utilizan para romper la espuma. Otros aceites vegetales también encontraron algún uso. Los alcoholes grasos son eficaces pero costosos antiespumantes.

Durante la década de 1950 los experimentos con silicona antiespumantes se basaron en polidimetilsiloxano dispersos en agua o aceite ligero. Los aceites de silicona funcionaron bien, pero causaron perturbaciones superficiales en muchas aplicaciones como pinturas y fabricación de papel. En 1963 se patentaron los primeros antiespumantes con partículas hidrófobas de aceite ligero. En la década de 1970, se desarrollaron ceras hidrófobas como el etileno bis estearamida dispersas en aceites. Estos tipos de antiespumantes eran muy eficientes, pero la crisis del petróleo de 1973 hizo estos demasiado caros y dio lugar a un impulso para la reducción del contenido de aceite.

El desarrollo de agentes antiespumantes a base de silicona ha continuado. En la década de 1990, antiespumantes de emulsión de silicona que causaron menos perturbaciones superficiales fueron utilizados en la industria de fabricación de pasta de madera con gran éxito. Estos causaron mejor lavado, reducción de la demanda biológica de oxígeno en los depósitos de efluentes y menor.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En el marco metodológico del presente trabajo, se introducirán los diversos procedimientos técnicos más apropiados para determinar, presentar y analizar los datos, con la finalidad de cumplir con el propósito general de la investigación planteada. En tal sentido, se desarrollan importantes aspectos relativos al tipo de estudio y a su diseño de investigación, incorporados en los objetivos establecidos, que en este caso se trata de una investigación descriptiva documental, donde se emplearan técnicas de recolección de datos, característica esenciales, las formas de comparación, presentación de datos y el análisis e interpretación de los resultados que permitirá las evidencias más significativas encontradas en relación a los sistemas de control asociados al proceso de unidades de servicios.

Con la finalidad de enmarcar los objetivos planteados, se considera esta investigación como investigativa documental, donde los datos se obtiene a partir de la aplicación de la técnica documentales, en el cual se recolección ciertos datos, que nos permite orientar desde el punto de vista técnico todo proceso investigativo.

3.1 Etapas Del Proyecto

Con la finalidad de estudiar el efecto tensoactivo de agentes anti-espumante en el proceso de deshidratación de gas natural con glicol, se describirá el proceso de deshidratación de gas natural con glicol. Por consiguiente se definirán las variables que influyen en la formación de espumas en el proceso en estudio. De igual manera se explicara el efecto de los tensoactivos en la tensión superficial como agente anti-espumante en el proceso de deshidratación con glicol. Se establecerá la

clasificación de estos agentes antiespumantes, y por último se establecerá criterio de selección y aplicación de agente antiespumante en un sistema de deshidratación, para ello se efectuaran los siguientes pasos:

3.1.1 Revisión Bibliográfica

En esta primera etapa se recopiló toda la información concerniente al tema, mediante la consulta de libros, manuales, tesis de grado, publicaciones en internet, entre otros; con la finalidad de ampliar el conocimiento sobre la investigación planteada y lograr así el desarrollo de los objetivos.

Esta técnica permite fundamentalmente el análisis de las fuentes documentales, que nos garantiza abordar y desarrollar los requisitos de la indagación. A partir de la observación documental, el análisis de las fuentes y mediante una lectura general de textos. Esta lectura inicial se hizo seguida de varias lecturas más detenidas y rigurosas de los textos, a fin de captar sus planteamientos esenciales, aspectos lógicos de sus contenidos y propuestas, a propósito de extraer los datos bibliográficos útiles para el estudio que se está realizando. Para lograr esta etapa inicial se usaron una serie de técnicas operacionales para manejar las fuentes documentales desde una estricta técnica de subrayado, fichaje bibliográfico, citas, notas de referencias y presentación de cuadros e ilustraciones.

3.1.2 Elaboración Del Trabajo De Grado

Dada la naturaleza del estudio y en función de los datos que se requieren, una vez finalizado el análisis y tomando en cuenta la descripción de cada proceso relacionado a la deshidratación de gas natural, se estudiará el efecto tensoactivo de diferentes agentes anti-espumante.

3.1.3 Describir El Proceso De Deshidratación De Gas Natural Con Glicol

Aquí se explicará de forma detallada en qué consiste el proceso de deshidratación del gas natural.

3.1.4 Definir Las Variables Que Influyen En La Formación De Espumas En El Proceso En Estudio

Después de haber especificado lo referente a como se maneja la deshidratación del gas natural, es de vital importancia conocer las variables que forman parte de la formación de espumas.

3.1.5 Explicar El Efecto De Los Tensoactivos En La Tensión Superficial Como Agente Anti-Espumante En El Proceso De Deshidratación Con Glicol

De igual manera, explicar el efecto que genera los tensoactivos y su tensión superficial como agente anti-espumante en el proceso de deshidratación con glicol.

3.1.6 Establecer La Clasificación De Los Antiespumantes

En este tópico, se especificará el origen de los agentes antiespumantes y su enfoque industrial.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA MONOGRAFÍA

4.1 Describir El Proceso De Deshidratación De Gas Natural Con Glicol

La corriente de gas húmedo entra primeramente a la unidad llamada SCRUBBER, si algo de líquido se condensa, este se remueve. Si cierta cantidad de agua líquida va en la corriente de gas, se debe usar un scrubber de tres fases para descargar el agua y el destilado separadamente desde el recipiente. El eliminador de niebla ayuda a la remoción de ciertas partículas líquidas contenidas en la corriente de gas húmedo, colocado internamente en la parte superior del scrubber.

Luego el gas húmedo entra por el fondo del contactor gas- glicol, el gas asciende a través de los platos y en contracorriente el glicol baja a través de la columna. El gas se pone en contacto con el glicol en cada plato y este absorbe el vapor agua del gas. El gas seco sale del tope del contactor a través de otro eliminador de niebla, el cual ayuda a remover las gotitas de glicol que pueda arrastrar la corriente de gas. Luego el gas fluye a través de un enfriador con glicol, usualmente es un intercambiador de calor de tubo concéntrico, donde el gas seco va por fuera, enfriando el glicol caliente que proviene del regenerador del glicol antes de entrar al contactor. Luego el gas seco sale del fondo del enfriador.

El glicol pobre que sale del enfriador entra por el tope del contactor (gas- glicol) y es inyectado en el plato superior. El flujo del glicol en cada plato lo hace a través del tubo de descenso. El tubo de descenso del fondo esta ajustado a una marmita sellada para mantener el sello líquido en el plato.

El glicol rico que ha absorbido el vapor de agua de la corriente de gas sale del fondo del contactor (gas- glicol), pasa a través de un filtro a alta presión el cual remueve cualquier partícula sólida que hubiese arrastrado la corriente de gas y esta entra con fuerza a la bomba de alta presión hacia la columna de regeneración de glicol. La corriente de glicol rico fluye desde la bomba hasta el separador gas-glicol. La corriente de glicol rico es bombeada a la entrada del separador flash.

El gas separado en el separador flash sale por el tope, una parte es usada como gas combustible para suplir al reboiler y la otra es enviada a venta. Cualquier exceso de gas es descargado a través de una válvula de presión posterior.

El separador flash está equipado con un controlador de nivel y de una válvula de diafragma la cual descarga el glicol rico a través de un intercambiador de calor enrollado en el tanque de almacenamiento (surge tank) para precalentar el glicol rico.

Si el gas húmedo hubiese absorbido algo de hidrocarburo líquido en el contactor gas- glicol sería conveniente usar un separador trifásico para separar el glicol de hidrocarburo líquido presente en el reboiler, cualquier hidrocarburo líquido presente en el reboiler podría causar excesivas pérdidas de glicol en el despojador.

El gas húmedo sale del intercambiador de calor (serpentín) en el tanque de almacenamiento y entra al despojador montado en el tope del reboiler en el punto de alimentación de la columna de despojamiento. La columna de despojamiento esta empacada con asiento cerámico de acero inoxidable para prevenir fractura, el flujo de glicol baja a través de la columna y entra al reboiler. El glicol rico desciende a través de la columna de despojamiento que está en contacto con el glicol caliente y el vapor de agua que asciende. Los vapores de agua liberado en el reboiler y separados del glicol en la columna de despojamiento ascienden a través

de la columna de destilación por medio de un condensador de reflujo atmosférico el cual provee de un reflujo parcial a la columna. El vapor de agua sale por el tope de la columna de despojamiento y es liberada a la atmosfera. El conducto de flujo de glicol en el reboiler es esencialmente horizontal desde la entrada hasta la salida. En el reboiler el glicol es calentado aproximadamente de 350 a 400 °F para remover la suficiente cantidad de vapor de agua para concentrar en un 99.5% o más. En todas las unidades de deshidratación, el reboiler está equipado con un calentador a fuego directo usando una cantidad de la corriente de gas natural como combustible. El reboiler puede ser también del tipo espiral por donde pase aceite caliente o vapor. Un controlador de temperatura en el reboiler opera la válvula del motor del gas combustible para mantener la temperatura adecuada en el glicol.

Si se quiere aumentar la concentración del glicol pobre, a más de 99%, usualmente es necesario añadir algo de gas de despojamiento al reboiler. Una válvula y un pequeño regulador de presión, generalmente son provistos para tomar una pequeña cantidad de gas del sistema de gas combustible e inyectar en el fondo del reboiler por medio de un sistema de propagación. Este gas de despojamiento se "mezcla" con el glicol en el reboiler para permitir escapar ciertas bolsas de vapor de agua, de lo contrario se quedaría en el glicol debido a su alta viscosidad. Este gas podría también despojar el vapor de agua fuera del reboiler y de la columna de despojamiento y por descenso de la presión parcial del vapor de agua en el reboiler y en la columna de destilación, permite reconcentrar el glicol en un porcentaje mayor.

El glicol reconcentrado sale del reboiler a través de una tubería de rebosamiento y pasa hacia el lado de la carcasa del intercambiador de calor al tanque de almacenamiento. En el tanque de almacenamiento del glicol reconcentrado caliente es enfriado por intercambio de calor con la corriente de glicol rico pasando a través del serpentín. El tanque de

almacenamiento también actúa como acumulador para alimentar la bomba de glicol. El glicol reconcentrado fluye desde el tanque de almacenamiento a través de un filtro hacia la bomba de glicol. Luego el flujo asciende a través del enfriador de glicol en donde es más enfriado y entra a la columna sobre el plato del tope.

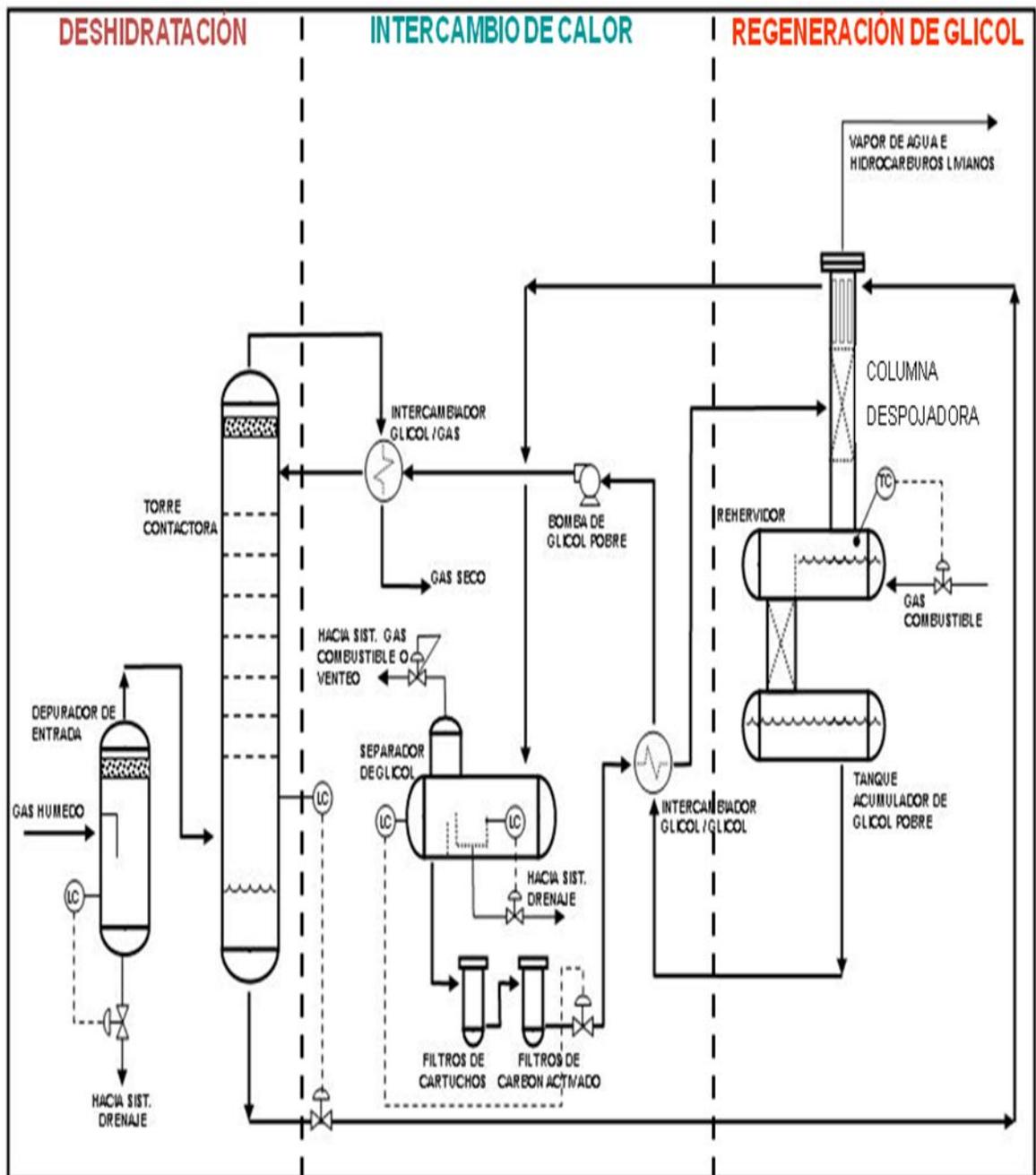


Figura 24. Diagrama de proceso de deshidratación de gas natural con glicol.

4.2 Definir Las Variables Que Influyen En La Formación De Espumas En El Proceso En Estudio

Las espumas son dispersiones aire-líquido, constituidas por un conjunto de burbujas gaseosas separadas por películas delgadas de líquido.

Los puntos de unión están formados por tres películas que forman ángulos de ciento veinte grados. El punto de unión se conoce como el borde de Plateau o triángulo de Gibbs.

La principal razón por la que se forma espuma es la estabilización de las burbujas por las moléculas humectantes. La cantidad de espuma formada depende de distintos factores: los componentes de la fórmula, los métodos de producción y aplicación, y también el soporte.

En un líquido des-ionizado (agua) exento de humectantes, las burbujas de aire suben a la superficie y se rompen. La elevada tensión superficial existente entre el aire y el líquido imposibilita la estabilización de las burbujas. Sin embargo, en sistemas con presencia de humectantes, se estabilizan las burbujas como partículas hidrófobas.

4.2.1 Clasificación Y Formación De Las Burbujas

Según el mecanismo de formación de la espuma, las burbujas individuales forman una estructura esférica hermética. Por causa de determinados procesos osmóticos entre las burbujas, se produce un efecto de drenaje que causa la eliminación del agua del espacio entre las superficies de contacto de las burbujas.

Esta agua se concentra en el espacio vacío entre las burbujas. Debido a este efecto, la estructura esférica se transforma en una forma geométrica octaédrica estrechando las distancias entre las dobles capas. Esta espuma, denominada espuma poliédrica, consiste en una estructura hermética hexagonal formada por aire.

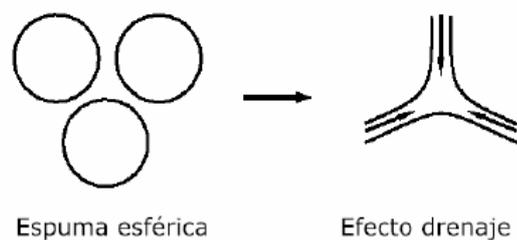


Figura 25. Aproximación de las burbujas por causa del efecto de drenaje

Otros dos efectos permiten la estabilización de la espuma. El efecto Marangoni que describe la tendencia a generar las condiciones energéticamente más favorables. En el caso de falta de humectantes en una parte de la superficie líquida o de las burbujas, la tensión superficial se altera en esta zona y por lo tanto es diferente al resto. Mediante el denominado efecto de autocorrección, el sistema tiende a restaurar la tensión anterior, mediante la migración de moléculas humectantes.

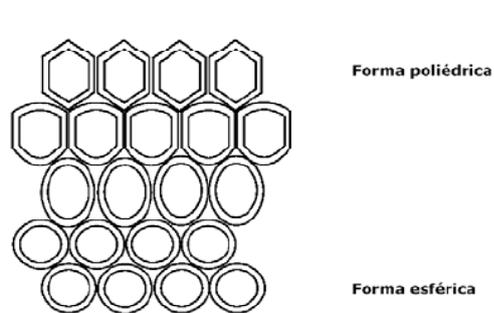


Figura 26. Distorsión de las capas esféricas respecto a una forma geométrica octaédrica

El segundo efecto, es la repulsión electrostática de moléculas con la misma carga, perteneciente a dos monocapas diferentes. A causa de la aproximación de las dos capas se produce el efecto drenaje, las capas deberían colapsar y así romperse las burbujas.

Sin embargo esta aproximación se previene mediante fuerzas electrostáticas de las zonas cargadas de las moléculas tensoactivas, que

mantienen las monocapas a una distancia de equilibrio evitando así su ruptura.

En la práctica el proceso descrito de estabilización de espuma a una estructura poliédrica, ocurre en escasas ocasiones en punturas, recubrimientos acuosos y sistemas similares, durante los procesos de producción y aplicación por causa de burbujas individuales que dejan defectos en la aplicación de la película. Sin embargo, en otros procesos la estabilización de espuma es un efecto indeseable el cual busca ser minimizado.

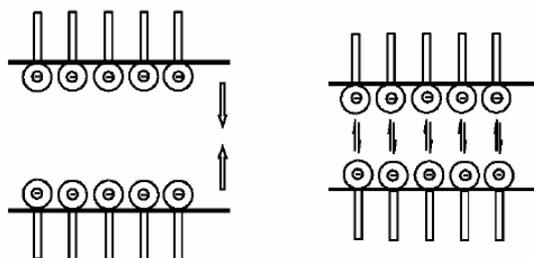


Figura 27. Aproximación de las monocapas y repulsión electrostática.

El conocimiento adquirido gracias al avance tecnológico en el campo de los antiespumantes nos ha ayudado a determinar los mecanismos de creación y destrucción de espuma, pudiendo así resolver los problemas que ésta crea.

4.2.2 Generalidades

Generalmente se favorece la producción y la estabilidad de espumas con la presencia de agentes tensoactivos, aun de débil actividad superficial, sin embargo se ha visto que ciertas sales minerales de tensión superficial alta, dan espumas persistentes, por lo que no solo la tensión superficial es el único factor que interviene en la formación y estabilidad de las espumas.

Las causas físicas de la formación de una espuma son varias: una agitación energética de líquido con el aire, la caída de un líquido desde cierta altura, el borbotado de aire u otro gas en el seno de un líquido.

Una causa físico-química es la presencia de impurezas orgánicas y su concentración, como se observa en los ríos contaminados con desechos orgánicos, asimismo otra causa química puede ser el desarrollo de gas después de una reacción química o bioquímica como el óxido de carbono, ácido sulfhídrico, metano, un ejemplo cotidiano son las espumas de cervezas o de bebidas gaseosas que se forman por la liberación del gas disuelto.

Un líquido puro no produce espuma, ya que no presenta variación de tensión superficial. Por el contrario, debe haber una diferencia de tensión superficial entre la solución y la capa superficial, mientras más grande sea esta diferencia más consistencia y estabilidad tendrá la espuma.

La célula unitaria de la espuma es una burbuja; esta puede estar presente en la superficie o en el seno del líquido. En la superficie, un menisco limita el volumen del gas de un lado, mientras que una película líquida limita la burbuja del resto del sistema. La película tiene dos paredes; una externa y otra interna formada cada una por una capa monomolecular del líquido. La ubicación y la forma de la espuma permite clasificarlas como espumas esféricas u oclusas y en poliédricas o superficiales.

Las primeras están en el interior del líquido donde las presiones externa o interna son las mismas, por lo que el sistema está en equilibrio. Las espumas poliédricas o superficiales pueden ser consideradas como el resultado del resbalamiento del líquido a través de la espuma esférica. Estas espumas están formadas por células de gas separadas, las unas de las otras por finas láminas líquidas.

La forma de obtención de la espuma así como la composición del líquido son factores que influyen en el tamaño de las burbujas.

Una burbuja en el interior de un líquido tiende a subir ya que la presión hidrostática va disminuyendo por lo que la burbuja tiende a expandirse a medida que se acerca a la superficie.

A mayor temperatura, la actividad superficial aumenta. En la CMC (concentración micelar crítica) se da el máximo de espumación.

En una película líquida las moléculas de los agentes espumantes están orientadas y concentradas entre las 2 superficies.

Los factores que contribuyen a la estabilidad de la espuma son:

- Constitución de la doble capa de Gibbs.
- La repulsión eléctrica de las superficies cargadas por los grupos ionizados del agente espumante impide el adelgazamiento de la película.
- Los enlaces hidrógenos que el agua forma con diferentes sustancias y que ligan todas las moléculas del líquido entre ellas.
- La viscosidad del medio líquido.
- La plasticidad de la película líquida así como su elasticidad, ya que disminuye la ruptura de la burbuja.

Todas estas fuerzas que se oponen a la ruptura de las espumas depende de propiedades características de las capas superficiales y de las soluciones de los agentes de superficie que se sitúan en las dos superficies de contacto de las láminas líquidas y del gas que ellas aprisionan.

En una burbuja, la presión interna es mayor que la externa; entonces, al buscar el equilibrio de presiones la burbuja crece, ya que entre menor sea el radio de la burbuja mayor es la presión en exceso, esto explica uno de los mecanismo de ruptura de una espuma, ya que el aire se difunde de la burbuja pequeña hacia la grande a través de la película que las separa y así las burbujas grandes crecen a expensas de las pequeñas hasta que se llegan a romper generalmente en la superficie.

En el caso de la deshidratación de gas natural con glicol, las variables que influyen en su formación son:

- ✓ Sucio o fragmentos metálicos en la solución.
- ✓ Presencia de hidrocarburos líquidos en el sistema.
- ✓ Exceso de productos de degradación en la solución.
- ✓ Velocidades muy altas del gas y de los líquidos.
- ✓ Formación de sales térmicamente estables.
- ✓ Mala selección del antiespumante o no se agregó lentamente (por goteo).
- ✓ Los filtros de papel o químicamente tratados pueden producir espuma en la solución.
- ✓ La lana virgen de los filtros y los blanqueadores del algodón pueden generar espuma, si el fabricante no sabe preparar el cartucho antes de usarlo.
- ✓ Problemas de tipo mecánico.
- ✓ Cuando la temperatura es demasiado baja se condensan líquidos de hidrocarburo y se forma la espuma.

4.3 Explicar El Efecto De Los Tensoactivos En La Tensión Superficial Como Agente Anti-Espumante En El Proceso De Deshidratación Con Glicol

La espuma es un estado coloidal donde un gas, generalmente aire, es la fase dispersa, y la fase dispersante es una película líquida muy delgada constituida fundamentalmente por agua en la mayoría de los procesos físico – químicos. Estas espumas reciben el nombre de espumas acuosas.

Es bueno señalar que este sistema disperso líquido – gas recibe el nombre de espuma sólo cuando la fracción en volumen de gas es suficientemente grande comparado con la del líquido, de modo que la fase continua o dispersante separe a las burbujas de gas mediante una capa muy delgada de líquido.

La interfase gas-líquido debido a la baja densidad del gas, haciendo que este emigre a la superficie. Durante este proceso, las burbujas pequeñas se pueden combinar para formar otras más grandes que suben más rápidamente. Las burbujas se acumulan en la superficie deformándose a sí mismas. El gas queda atrapado por la formación de una lamela estabilizada por la tensión superficial del glicol. Sin ellos, el líquido se escurriría provocando el adelgazamiento de esta lamela hasta que se produjese su rotura.

Para eliminar la espuma se deben evitar los efectos estabilizadores haciendo uso de un antiespumante que debe tener al menos una de las siguientes propiedades:

1. Ser capaz de destruir la espuma para eliminar la ya existente.
2. Ser capaz de prevenir la espuma para impedir su formación.
3. Ser capaz de liberar el gas para facilitar que la espuma llegue a la superficie.

La acción de los antiespumantes ocurre principalmente en la lamela estabilizada. Por lo tanto los antiespumantes deben ser insolubles en el glicol y poseer la movilidad suficiente que le permita penetrar en la lamela y disminuir la tensión superficial. El agente antiespumante debe tener una tensión superficial inferior a la de la fase dispersante. El valor de esta tensión superficial ha de ser tal que se produzca el efecto Marangoni opuesto, esto es, que se provoque el adelgazamiento rápido y la ruptura de la lamela.

4.4 Establecer La Clasificación De Los Agentes Antiespumantes

Existen diferentes antiespumantes, entre ellos se encuentran:

4.4.1 Antiespumantes A Base De Aceite

Antiespumantes a base de aceite tienen un aceite portador. El aceite puede ser aceite mineral, aceite vegetal, aceite blanco o cualquier otro aceite que es insoluble en el medio de la formación de espuma, excepto el aceite de silicona. Un antiespumante a base de aceite también contiene una cera y/o sílice hidrófoba para aumentar el rendimiento. Ceras típicas son etilen bis estearamida, ceras de parafina, ceras de ésteres de ceras y alcoholes grasos. Estos productos también pueden tener agentes tensoactivos para mejorar la emulsificación y la difusión en el medio de la formación de espuma.

Estos son antiespumantes pesados y normalmente son mejores en derribar espuma superficial.

4.4.1.1 Antiespumantes En Polvo

Antiespumantes en polvo son, en principio, antiespumantes a base de aceite en un vehículo en partículas como sílice. Estos se añaden a los productos en polvo como el cemento, el yeso y detergentes.

4.4.1.2 Antiespumantes A Base De Agua

Están hechos a base de agua, son diferentes tipos de aceites y ceras dispersas. Los aceites son a menudo aceites blancos o aceites vegetales y las ceras son alcoholes grasos, jabones de ácidos grasos de cadena larga o ésteres. Estos son normalmente mejor que desaireadores, lo que significa que son los mejores en la liberación de aire atrapado.

4.4.1.3 Antiespumantes A Base De Silicona

Antiespumantes basados en silicona son polímeros con esqueletos de silicio. Estos pueden ser entregados como una emulsión a base de agua o aceite. El compuesto de silicona se compone de una sílice hidrófoba dispersa en un aceite de silicona. Los emulsionantes se añaden para asegurar que la silicona se extiende rápida y bien en el medio de la formación de espuma. El compuesto de silicona también puede contener glicoles de silicona y otros fluidos de silicona modificados.

Estos son también los antiespumantes de alta resistencia y son buenos en tanto derribando espuma de la superficie y la liberación de aire atrapado.

Antiespumantes a base de silicona son también adecuados en los sistemas de formación de espuma no acuosos, como el petróleo crudo y refinado de petróleo. Para aplicaciones muy exigentes siliconas fluoradas pueden ser adecuados.

4.4.1.3 Antiespumantes Basados EO/PO

Contienen glicol de polietileno y copolímeros de polipropileno glicol. Ellos se entregan como aceites, soluciones de agua o emulsiones a base de agua. Copolímeros de EO/PO normalmente tienen buenas propiedades de dispersión y son a menudo muy adecuadas cuando hay problemas de depósito.

4.4.1.4 Poliacrilatos De Alquilo

Poliacrilatos de alquilo son apropiados para su uso como antiespumantes en sistemas no acuosos de liberación de aire, donde es más importante que la ruptura de la espuma de la superficie. Los antiespumantes son entregados a menudo en un vehículo solvente como destilados de petróleo.

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Describir El Proceso De Deshidratación De Gas Natural Con Glicol

Se basa en el contacto del gas con un líquido higroscópico tal como un glicol. Es un proceso de absorción donde el vapor de agua presente en el gas se disuelve en la corriente de glicol líquido puro.

En 1937 se instaló la primera planta de dietilenglicol (DEG) y en 1947 comenzó a utilizarse trietilenglicol (TEG). La característica de una unidad deshidratadora es medida por su habilidad para reducir el punto de rocío del gas. En los comienzos una depresión de 60 °F (33 °C) era considerada excepcionalmente buena pero mejoras operativas hicieron que ya en 1970 se llegara a 150 °F (83 °C).

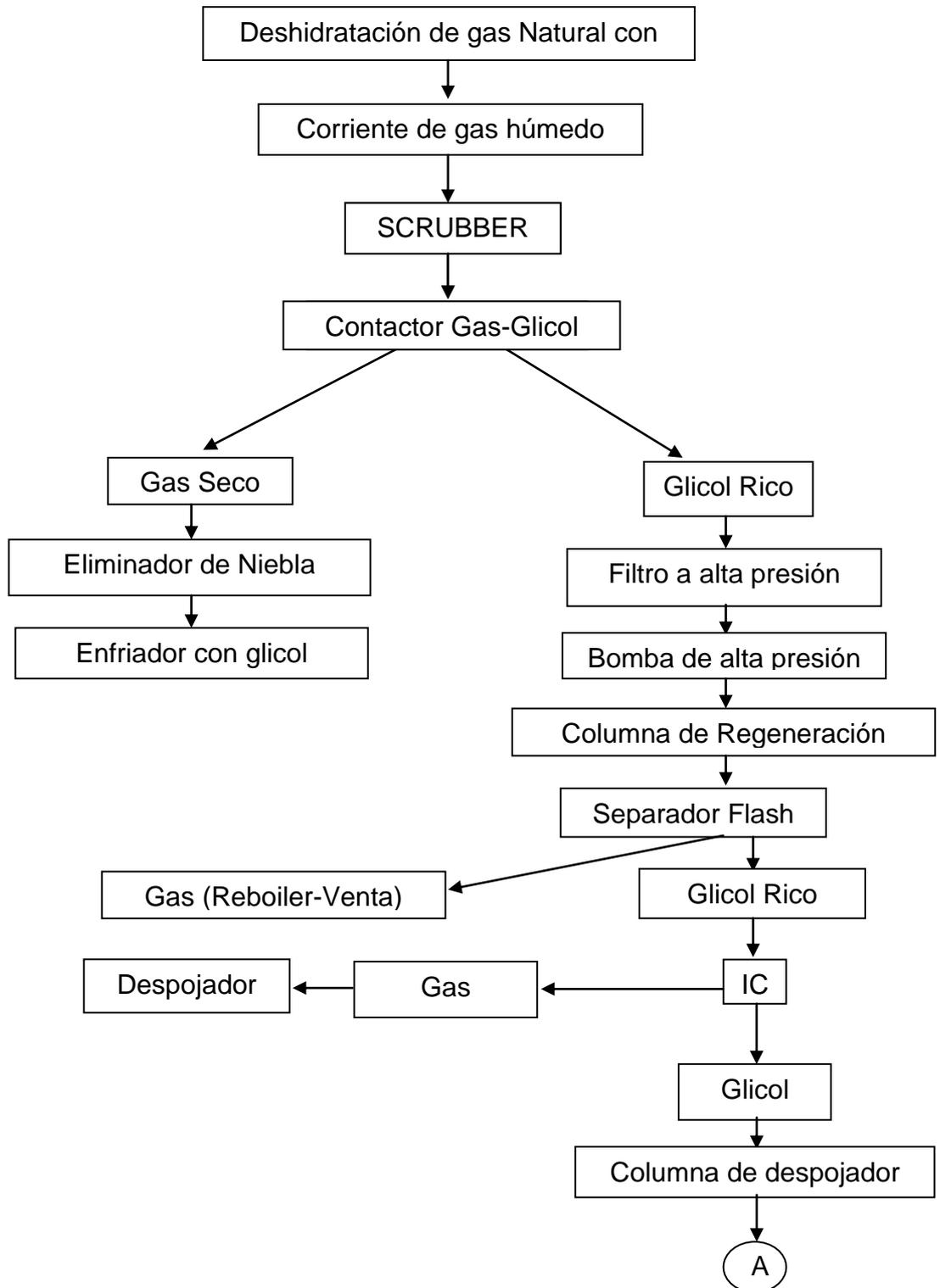
En un proceso típico el gas húmedo pasa a través de un (scrubber) removedor de líquidos libres. Luego, el gas ingresa al contactor e “**intercambia**” el agua con el glicol que circula en contracorriente. El agua es absorbida por el glicol y el gas deja el contactor a través de un removedor de niebla (demister) para reducir el transporte de glicol en el gas de salida a la línea de venta.

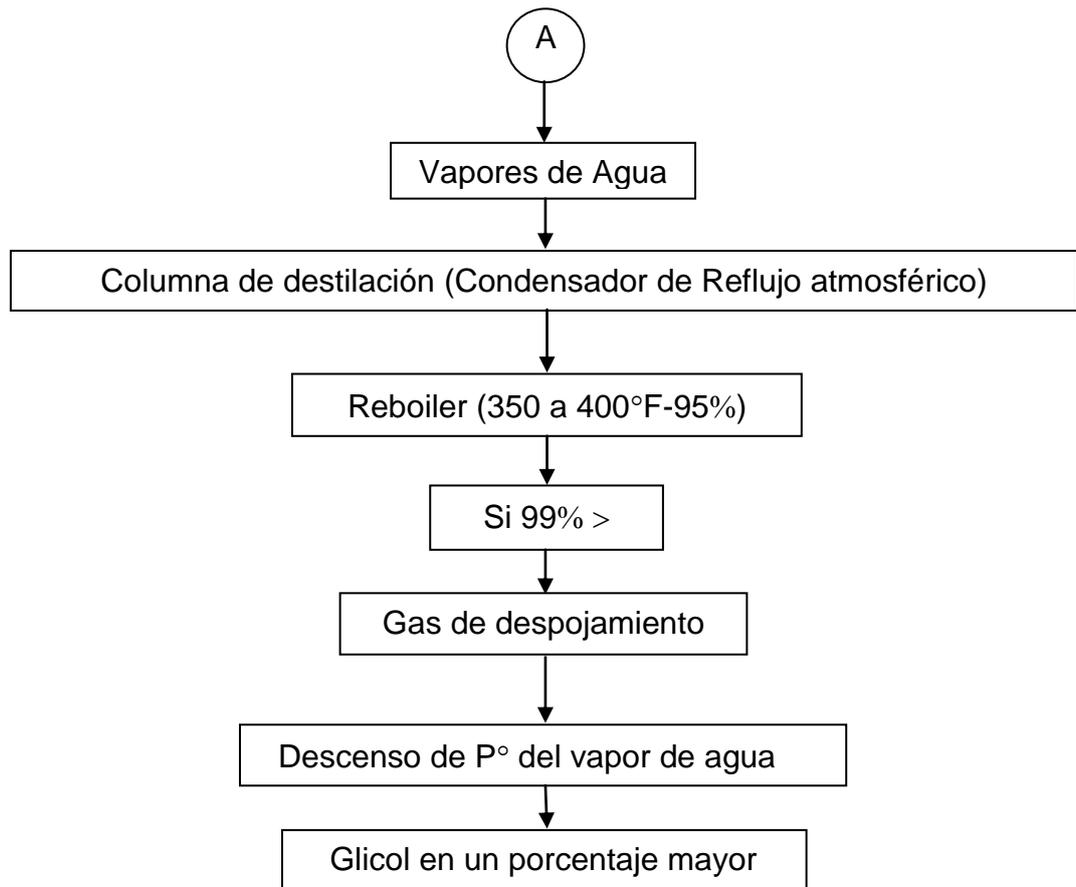
El glicol es separado del agua y los contaminantes de bajo punto de ebullición en la columna del regenerador (reboiler) reteniéndose estos últimos. El reboiler usualmente es del tipo tubos de fuego y funciona produciendo la temperatura requerida para alcanzar la eficiencia de remoción de agua buscada. Un acumulador almacena el glicol reconcentrado que luego pasa al intercambiador glicol – glicol que reduce

la temperatura a un nivel que no dañe las bombas. Usualmente, antes de las bombas se intercala un filtro para remover contaminantes que cause excesivo desgaste de la bomba.

Bajo la designación de glicoles incluimos cuatros compuestos trietilenglicol, dietilenglicol, tetraetilenglicol y monoetilenglicol. Los más empleados en nuestro país son el trietilenglicol (TEG) y el monoetilenglicol (MEG).

El análisis del glicol es muy útil para determinar la eficiencia operacional de la planta.





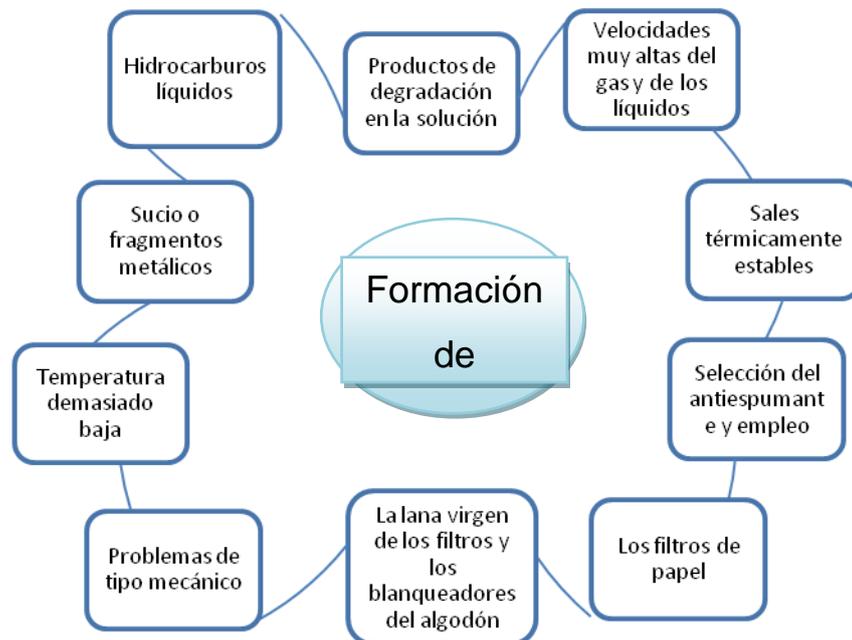
5.2 Definir Las Variables Que Influyen En La Formación De Espumas En El Proceso En Estudio

Los factores que contribuyen a la formación de espuma pueden ser por causas físicas y químicas. Las causas físicas pueden ser: agitación, caída del líquido desde cierta altura, borboteo de aire u otros gases en el seno del líquido.

Cuando las burbujas se elevan a la superficie de un líquido y persisten en ella durante cierto tiempo, sin coalescencia de una con la otra y sin ruptura en el espacio de vapor se produce espuma. Así pues la formación de espuma consiste en la formación, elevación y la agregación de burbujas en un líquido en que la espuma pueda existir. La vida de las espumas varía de segundos a años, su mantenimiento es un fenómeno no dinámico.

La espuma es formada por el siguiente mecanismo y es necesario que estén presentes estos cuatro elementos:

**ESPUMA= LÍQUIDO + GAS + ESTABILIZANTE + TURBULENCIA
(FUENTE DE AGITACIÓN)**



La espuma en el deshidratador está formada por el glicol, gas natural, los estabilizantes; los cuales forman una emulsión correspondiente a las impurezas del gas y la turbulencia dada por las velocidades de entrada de los fluidos.

5.3 Explicar El Efecto De Los Tensoactivos En La Tensión Superficial Como Agente Anti-Espumante En El Proceso De Deshidratación Con Glicol

El efecto tensoactivo es generar una disminución en la tensión superficial, haciendo que la lamela de la interfase se reduzca hasta romperse.

En la figura 28, se muestra dicho efecto, tomando como ejemplo al antiespumante en base silicón.

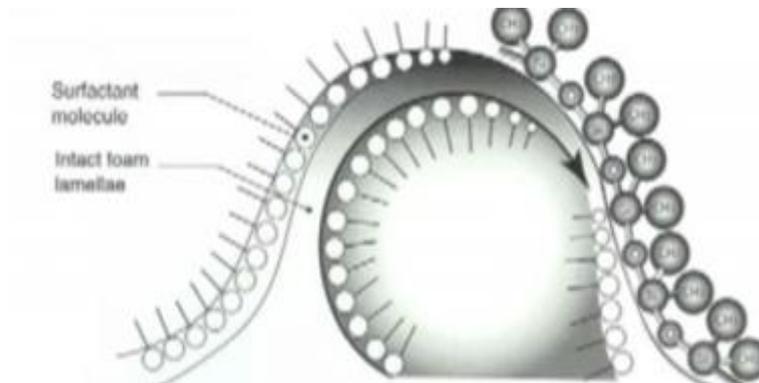


Figura 28. Antiespumante base silicón.

El silicón se esparce originando que la capa de lamela sea cada vez más delgada, generando su desestabilización y colapso.

5.4 Establecer La Clasificación De Estos Agentes Antiespumantes

Entre los agentes antiespumantes tenemos:

Agentes Antiespumantes					
Base de aceite (mineral y vegetal)	En Polvo	Base de agua	Base de silicona	Basados EO/PO	Poliacrilatos de Alquilo

- **Antiespumantes base aceite vegetal**

Este consta de un vehículo y trabaja con los mismos principios de las antiespumantes bases silicón y aceite mineral sin embargo estos son biodegradables.

- **Antiespumantes base agua**

Basados en alcoholes grasos, ácidos grasos, copolímeros ésteres, PEG, el agua transporta activos 70% -90% agua los cuales se dispersan bien en agua y tienen apariencia blanca y cremosa siendo estos los más económicos.

- **Antiespumante base aceite mineral**

Contiene tres ingredientes: Vehículo (90%)aceite mineral esparce las partículas hifrófobicas sobre la superficie de la burbuja de aire; partículas hidrofóbicas (8%), sílica es usada para absorber o reemplazar el surfactante y reducir la tensión en la superficie de la burbuja, por lo tanto causa un drenado en la capa de la lamela y una eventual ruptura ; emulsificante (2%) este depende de la composición, es usado para reducir los efectos en la apariencia de la superficie.

- **Antiespumante base silicón**

Son moléculas altamente complejas basadas en polidimetilsiloxano con pocos proveedores en el mundo siendo estos poco biodegradables y poseen estabilidad en altas temperaturas.

CONCLUSIONES

1. El proceso de deshidratación con glicol tiene la finalidad de retirar el vapor de agua contenido en el gas natural.
2. Las variables que influyen en la formación de espumas en la deshidratación del gas natural son las velocidades de entrada de los fluidos a la torre de absorción, la presencia de impurezas, cambios de temperatura y presión en la torre.
3. El efecto del antiespumante es reducir la tensión superficial de la película acuosa de la espuma.
4. Los antiespumantes se clasifican en: Poliacrílatos de alquilo, base de aceite, base de agua, base de silicona, basados EO/PO, en polvo.

RECOMENDACIONES

1. Establecer el criterio de selección para los antiespumantes empleados en la deshidratación del gas natural con glicol.
2. Calcular la dosificación óptima del antiespumante en el proceso.
3. Analizar la composición química de la espuma.

BIBLIOGRAFÍA

Pagina Disponible en:
http://www.slb.com/~media/Files/miswaco/product_sheets/df_9009_spanish.ashx .

Pagina Disponible en:
<http://web2.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/Materiales%20y%20Actividades%20Riesgosas/sitioscontaminados/GTZ/E-Clasificacion%20de%20Tensoactivos.pdf> .

BOUZA, Alexis. Deshidratación de gas natural con glicoles. Enero-Marzo 2009. Disponible en:
<http://carteleraelectronica.files.wordpress.com/2011/12/deshidratacion-de-gas-natural-con-glicoles.pdf> .

ARANEÁ, Jimmy; DOMINGUEZ, Juan; PERUGACH, Stalin. Métodos de deshidratación del gas natural. Guayaquil-Ecuador. 2012. Disponible en:
http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/24525/1/FICT_M%C3%A9todos%20de%20Deshidratacion%20de%20Gas%20Natural.pdf .

SALAGER, Jean-Louis; ANDÉREZ, Jose Maria; FORGIARINI, Ana Maria. Influencia de la formación sobre las propiedades de las espumas. Universidad de los Andes, Laboratorio de formulación, Interfases, Reología y procesos. Merida-Venezuela. 2005. Disponible en:
http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S263_Espumas.pdf .

SALAGER, Jean-Louis. Surfactantes, tipos y usos. Universidad de los Andes, Laboratorio de formulación, Interfases, Reología y procesos. Merida-Venezuela. 2002. Disponible en:
<http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S300A.pdf> .

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

TÍTULO	ESTUDIO DEL EFECTO TENSOACTIVO DE UN AGENTE ANTI-ESPUMANTE EN EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DE GAS NATURAL CON GLICOL
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CVLAC / E MAIL
Rodríguez E., Ángela A.	CVLAC: 17.722.868 E MAIL: angela.5275.r@gmail.com
	CVLAC: E MAIL:

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

tensoactivo
antiespumante
deshidratación
glicol
vapor de agua
gas natural

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÁREA	SUBÁREA
INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS	
	INGENIERÍA QUÍMICA

RESUMEN (ABSTRACT):

En el presente trabajo se estudió el efecto tensoactivo de un agente anti-espumante en el proceso de deshidratación de gas natural con glicol. Se describió el proceso de deshidratación de gas natural con glicol; de igual forma se definieron las variables que influyen en la formación de espumas en el proceso en estudio. Se explicó el efecto de un tensoactivo en la tensión superficial como agente anti-espumante en el proceso de deshidratación con glicol, y por último se estableció la clasificación de los antiespumantes. Es por ello que el proceso de deshidratación con glicol tiene la finalidad de retirar el vapor de agua contenido en el gas natural. Las variables que influyen en la formación de espumas en la deshidratación del gas natural son las velocidades de entrada de los fluidos a la torre de absorción, la presencia de impurezas, cambios de temperatura y presión en la torre. El efecto del antiespumante es reducir la tensión superficial de la película acuosa de la espuma. Los antiespumantes se clasifican en: Poliacrílatos de alquilo, base de aceite, base de agua, base de silicona, basados EO/PO, en polvo.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
	ROL	CA	AS x	TU	JU x
Avendaño, Isvelia.	CVLAC:	8.024.255			
	E_MAIL	isveliaudo@gmail.com			
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Arias C., Ronald D.	ROL	CA	AS	TU	JU x
	CVLAC:				
	E_MAIL	Ronaldarias@gmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU x
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2013	11	08
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE: SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
Tesis Estudio del efecto tensoactivo de un agente anti-espumante en el proceso de deshidratación de gas natural con glicol.doc.	Application/msword

ALCANCE

ESPACIAL:

TEMPORAL:

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

INGENIERO QUÍMICO

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

PREGRADO

ÁREA DE ESTUDIO:

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA

INSTITUCIÓN:

UNIVERSIDAD DE ORIENTE DE NÚCLEO ANZOÁTEGUI

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI - 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA
RECIBIDO POR *[Signature]*
FECHA *5/8/09* HORA *5:30*

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

[Signature]
JUAN A. BOLAÑOS CUMPELO
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Telesinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/maruja

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajos de grado (Vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009)

“Los Trabajos de grado son exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizadas a otros fines con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo, quien lo participara al Consejo Universitario “

AUTOR

AUTOR

TUTOR

JURADO

JURADO

POR LA SUBCOMISION DE TESIS