

**DISEÑO DE SISTEMA DE ALCOHOL PARA PREVENIR FORMACIÓN DE
HIDRATOS EN TERMINAL MARÍTIMO Y PLANTA DE ALMACENAMIENTO DE
GLP.**

DIANA KATHERINE CARRILLO ROMERO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETROLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DEL GAS
BUCARAMANGA
2015**

**DISEÑO DE SISTEMA DE METANOL PARA PREVENIR FORMACIÓN DE
HIDRATOS EN TERMINAL MARÍTIMO Y PLANTA DE ALMACENAMIENTO DE
GLP.**

DIANA KATHERINE CARRILLO ROMERO

Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Ingeniería del Gas

Director

JULIO CESAR PEREZ

Ingeniero de Petróleos

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETROLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DEL GAS
BUCARAMANGA**

2015

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	3
1. DESCRIPCIÓN DE LA MONOGRAFÍA.....	4
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	4
2. GENERALIDADES DE LOS HIDRATOS	6
2.2. Formación de Hidratos.....	8
2.3. Control de Hidratos.....	9
2.4. Modelamiento de formación de hidratos.....	12
3. DESARROLLO	14
3.3. Predicción de hidratos mediante software HYSYS	16
3.3.1. Curvas envolventes de los productos:	16
3.3.2. Identificación de hidratos por Corrientes de proceso.	18
3.3.3. Cálculo de cantidad de Metanol Para inhibición de hidratos por punto.....	18
3.3.4. Dimensionamiento del tanque de Metanol	20
3.3.5. Bombas de metanol	20
3.3.6. Equipos necesarios para la operación del paquete de metanol y recomendaciones de operación.....	23
4. CONCLUSIONES.....	26
BIBLIOGRAFIA.....	27

Lista de ilustraciones

Ilustración 1. Esquema Confiabilidad Operacional.....	5
Ilustración 2. Flujograma avance investigación hidratos.....	7
Ilustración 3. Estructura de los hidratos de Gas.....	8
Ilustración 4. Esquema control Hidratos	10
Ilustración 5. Comparación Metanol VS MEG.....	11
Ilustración 6. Diagrama de flujo de proceso Planta GLP.....	15
Ilustración 7. Curva envolvente y Curva formación de Hidratos de Propano.	16
Ilustración 8. Curva envolvente y Curva formación de Hidratos de Butano.	17
Ilustración 9. Curva envolvente y Curva formación de Hidratos de GLP.	17
Ilustración 10. Diagrama inyección de Metano a proceso (HYSYS).	19
Ilustración 11. Diagrama sistema de inyección de Metanol.	22

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO DE SISTEMA DE METANOL PARA PREVENIR FORMACIÓN DE HIDRATOS EN TERMINAL MARÍTIMO Y PLANTA DE ALMACENAMIENTO DE GLP¹.

AUTOR: DIANA KATHERINE CARRILLO ROMERO²

DESCRIPCIÓN:

El presente proyecto tiene como propósito entregar memoria de cálculo de un sistema de metanol (inhibidor de tipo termodinámico), que ayude al control y mitigación de una posible formación de hidratos de gas en las tuberías de transporte del terminal marítimo y planta de almacenamiento de GLP, los cuales tienen el potencial de causar obstrucciones que ocasionarían consecuencias catastróficas (rotura de tubería con liberación de hidrocarburo, posible explosión e incendio).

Dentro del desarrollo del documento se encontrará inicialmente el cálculo de la posible formación de hidratos teniendo en cuenta las condiciones críticas de operación (operación a condiciones criogénicas) y adecuando el modelo matemático que se ajuste al sistema, seguido del cálculo de volumen de inhibidor necesaria, para obtener finalmente la cantidad de metanol total necesario para prevenir la formación de hidratos.

Parte del entregable contendrá la caracterización termodinámica de los fluidos con tendencia a la formación de los hidratos. La selección de los modelos matemáticos para el cálculo de las condiciones de formación de hidratos, tipo de hidratos que se pueden formar en el sistema para escoger el inhibidor adecuado, simulación del proceso en el software HYSYS, las recomendaciones de los equipos para la inyección (bombas), y la filosofía de operación para el sistema.

PALABRAS CLAVE: Hidratos, GLP, inhibidores termodinámicos, HYSYS.

¹ Monografía de especialización

² Facultad de ingenierías fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos, Director Ing. Julio Perez.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN A METHANOL SYSTEM TO PREVENT THE HYDRATE FORMATION IN A MARITIME TERMINAL AND LPG STORAGE PLANT³.

AUTHOR: DIANA KATHERINE CARRILLO ROMERO⁴

DESCRIPTION:

This project aims to deliver a calculation for a methanol system (thermodynamic inhibitor type) that help control and mitigation of potential gas hydrate formation in pipelines maritime terminal and LPG storage plant , which have the potential to cause blockages that would cause catastrophic consequences (broken pipe hydrocarbon release, possible explosion and fire).

Within the development of document initially you find the estimate of possible hydrate formation taking into account the critical operating conditions (operating at cryogenic conditions) and adapting the mathematical model to fit the system, followed by calculation of inhibitor required volume, to finally obtain the total amount of methanol needed to prevent hydrate formation.

Part of the deliverable will contain the thermodynamic characterization of fluids prone to hydrate formation. The selection of mathematical models for the calculation of hydrate formation conditions, type of carbohydrate that can form in the system to choose the suitable inhibitor, process simulation in HYSYS software, equipment recommendations for injection (pumps), and the operating philosophy for the system.

KEYWORDS: HYDRATES, LPG, THERMODYNAMICS INHIBITORS, HYSYS.

³ Specialization Monograph

⁴ Physic-chemist Engineering Faculty. Petroleum Engineering School.

INTRODUCCIÓN

El interés industrial sobre los hidratos de gas se origina en los inicios del siglo XX, en la industria del petróleo y gas con el descubrimiento de la formación de hidratos en tuberías de transporte de hidrocarburos. Los hidratos forman grandes acumulaciones que causan serias implicaciones, como el taponamiento y la pérdida de presión en tuberías, formar ácidos, reducir la capacidad de intercambiadores de calor, entre otros.

Los modelos predictivos se basan en los principios termodinámicos fundamentales y el uso de las propiedades generadas de la ecuación de estado, en el cálculo de las condiciones de equilibrio. Por tanto, estos modelos predictivos se pueden aplicar a diversas composiciones, y las condiciones extremas de funcionamiento con un mayor grado de certeza que se puede esperar con expresiones empíricas o gráficos.

El único requisito para la formación de hidratos es que un poco de agua debe estar presente, ya sea en forma vapor o condensada.

Una vez sean favorables las condiciones de presión y temperatura (alta presiones o temperaturas bajas), la mezcla de las moléculas que forman hidratos con las moléculas de agua, forman un sólido en fase no-estequiométrica.

En este caso se hace necesario la correcta caracterización del proceso, para determinar cuál es el modelo adecuado para predecir la formación de hidratos y de esta manera plantear un proceso de mitigación mediante inhibidores termodinámicos durante la operación de transporte.

1. DESCRIPCIÓN DE LA MONOGRAFÍA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente se encuentra en operación el terminal marítimo y planta de almacenamiento de GLP en Monteverde, Ecuador: Esta planta opera en secciones bajo temperaturas criogénicas, y maneja propano y butano como materias primas. Dadas las condiciones de operación y los productos manejados, existe alta probabilidad de formación de hidratos, los cuales crean obstrucción en las tuberías de proceso; por esta razón se buscan diferentes formas de evitar esta formación, las cuales pueden ser controlando las condiciones del proceso (presión y temperatura), eliminando el agua que contiene el fluido, o inhibir su formación mediante la inyección de un componente al sistema, esta última alternativa, es la que se plantea como solución para esta sistema, el cual consiste en la aplicación de cierta concentración de un compuesto alcohol en los puntos críticos de formación de hidratos.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Dentro de las condiciones importantes para el desarrollo exitoso de un proceso, se debe tener en cuenta el término confiabilidad, descrito como la probabilidad de que un componente, sistema, o producto realice sus funciones bajo condiciones operativas previamente definidas, durante un intervalo de tiempo dado, y que a su vez se tenga un buen desempeño durante la vida útil. Por lo anterior, hay que fijar como objetivo la no disminución progresiva de confiabilidad del proceso a lo largo del tiempo. Para lograrlo se deben plantear diferentes actividades, que pueden apuntar a implementar estrategias de mantenimiento, optimización en operación, o estrategias para la mitigación del riesgo. En este caso se va a trabajar en la mitigación de un riesgo que puede generar consecuencias que afecten la operación y conlleve a la disminución de la confiabilidad (figura 1).

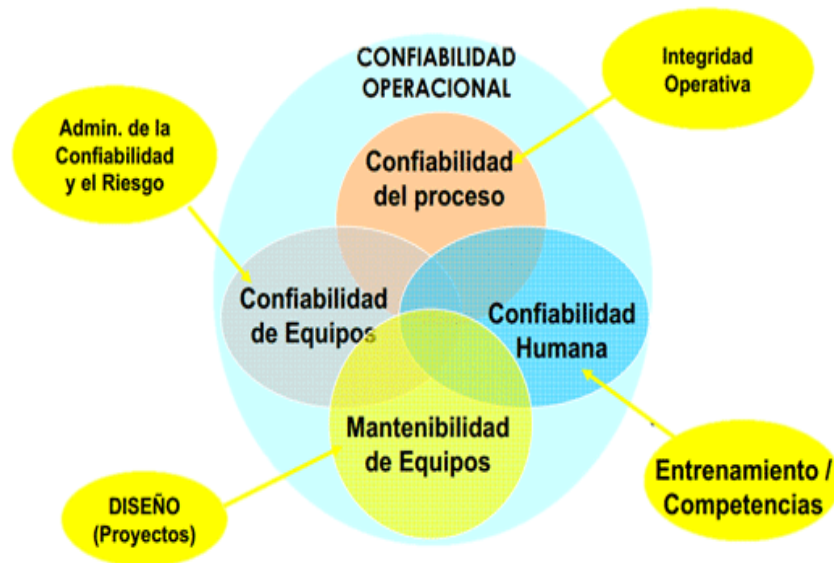


Ilustración 1. Esquema Confiabilidad Operacional

En este caso en particular el riesgo que se quiere disminuir es el de un posible aumento en presión y pérdida de contención del ducto, ocasionado por la obstrucción que genera la formación de hidratos en la línea.

La propuesta es diseñar el sistema de inyección de un inhibidor de hidratos en diferentes puntos del terminal marítimo y planta de almacenamiento de GLP, lo cual conlleva a operar de manera SEGURA, CONFIABLE y CONTINUA.

2. GENERALIDADES DE LOS HIDRATOS

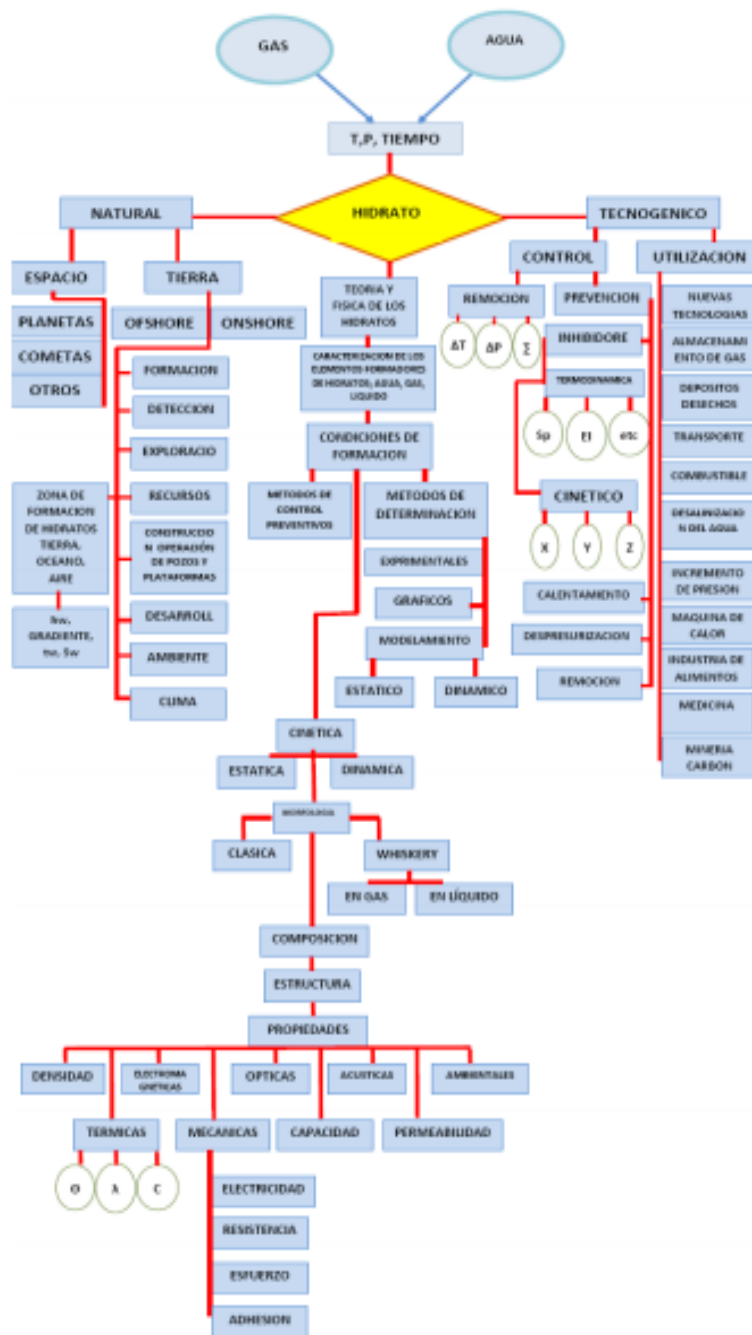
2.1. Historia de los Hidratos

El interés industrial sobre los hidratos de gas se origina en los inicios del siglo XX, en la industria del petróleo y gas con el descubrimiento de la formación de hidratos en tuberías de transporte de hidrocarburos. Los hidratos forman grandes acumulaciones que causan serias implicaciones, como el taponamiento y la pérdida de presión en tuberías, formar ácidos, reducir la capacidad de intercambiadores de calor, entre otros. Hammerschmidt dio los primeros aportes fundamentales para la predicción en la formación de hidratos, e incursiono en los primeros métodos básicos de control de hidratos. En la gráfica 1. Se presentan el flujograma del desarrollo de investigación de hidratos.

Los hidratos de gas pueden estar compuestos por dos o más componentes donde siempre uno de ellos es el agua. Estos hidratos existen ya que el agua tiene la capacidad de formar una estructura por medio de la unión del hidrogeno y estabilizada por las moléculas pequeñas no-polares⁵.

Los hidratos más importantes para la industria del hidrocarburo están compuestos por agua y por las siguientes moléculas: Metano (I), Etano (I), Propano (II), Iso-Butano (II), normal-Butano (II), Dióxido de Carbono (I), Nitrógeno (II) y Sulfuro de Hidrógeno (I).

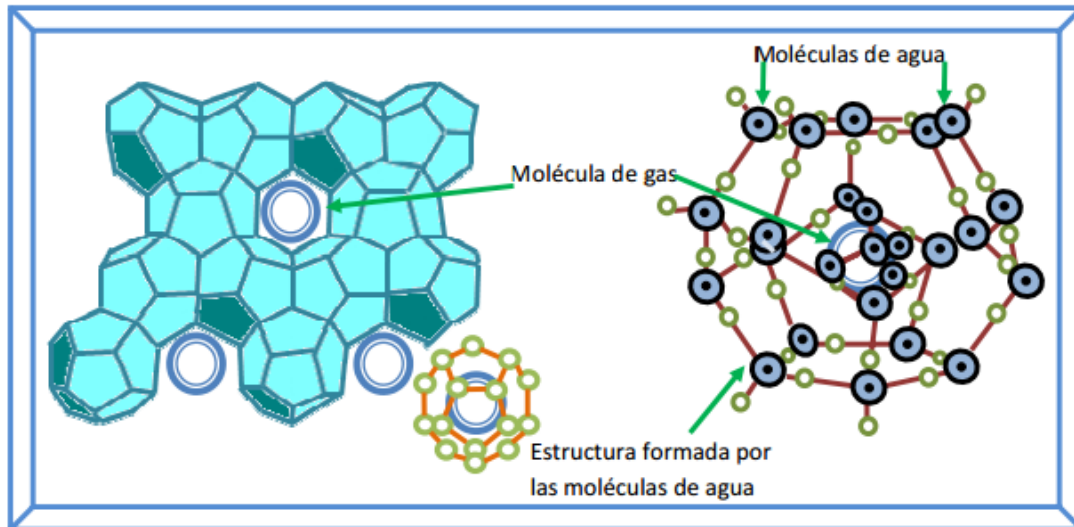
⁵ GONZALEZ, Eduardo. Ciencia y tecnología. HIDRATOS DE GAS. pdf



Modificada. Makogon, Y. F., Hydrates of Hydrocarbons. Tulsa: PennWell Books, 1997. p. 8

Ilustración 2. Flujograma avance investigación hidratos.

Los Hidratos de gas pueden formarse y permanecer estables a altas presiones y relativamente bajas temperaturas, desde que haya presente suficiente cantidad de hidrocarburos. En la gráfica 2. Se presenta la estructura cristalina común de un hidrato⁶.



Modificada. University of Texas. Chemistry of gas hydrates (online).

www.ig.utexas.edu/people/staff/ingo/hydrgeoph

Ilustración 3. Estructura de los hidratos de Gas

2.2. Formación de Hidratos

Dada la existencia de puentes de hidrógeno entre las moléculas de agua, su punto de congelación es particularmente alto y el arreglo molecular en estado sólido es regular y de forma hexagonal.

La presencia de otra especie molecular en las condiciones adecuadas puede causar que tales puentes de hidrógeno se orienten alrededor de esas moléculas y formen un cristal (hidrato).

El agua actúa como la estructura receptora u hospedador constituida por espacios regulares tipo “jaulas” que entranpan a las moléculas huéspedes o formadoras como también se les llama, cuya elevada concentración en el hidrato puede

⁶ **Hidratos de gas.** Documento electrónico disponible en: <http://ingenieria-de-petroleo.blogspot.com/2008/02/hidratos-de-gas-el-gas-y-el-agua-lquida.html>

alcanzar factores de hasta 180. La estructura del hidrato es tal que la molécula del huésped tiene libre rotación. Ya que la estructura del agua sólida y de los hidratos es muy semejante, la apariencia de ambas especies es similar y corresponde a la del hielo.

El hidrato es estabilizado por una atracción tipo Van del Waals entre las moléculas del huésped y el agua. En general, para formar un hidrato es necesario:

- Suficiente cantidad de agua
- La presencia de un huésped, tal como metano, etano, CO₂, etc.
- Adecuadas condiciones de Presión y Temperatura (típicamente alta presión y baja temperatura).

Otros factores que favorecen la formación de hidratos son:

- Agitación

La formación de HG es favorecida en regiones donde la velocidad del fluido es alta; esto genera la turbulencia necesaria para desestabilizar el fluido e iniciar la separación. El mezclado en tuberías, tanques de proceso, intercambiadores de calor etc., favorece la formación de HG.

- Nucleación

Un sitio de nucleación es un punto donde la transición de fase sólido-líquido es favorecida. Imperfecciones en tuberías, codos, válvulas, térs, restricciones etc., constituyen sitios apropiados para la nucleación de HG.

- Disponibilidad de Agua

Es indispensable la presencia de agua para la formación de HG, sin embargo, no necesariamente el agua debe estar bajo la forma de agua libre. Pero en tal case es la interfase agua-gas constituye un sitio apropiado para la nucleación⁷.

2.3. Control de Hidratos

⁷ DELGADO L. Jose Gregorio. Cuaderno FIRP S363-A: Hidratos de Gas.

Una correcta prevención de la formación de hidratos debe lograrse de manera efectiva mediante un estudio preliminar de predicción de hidratos, seguido de la prevención de estos, que puede darse mediante el control de la temperatura y presión en el proceso. O si esto no puede ser modificado, se debe controlar mediante la introducción de un inhibidor, evitando acumulación y problemas operativos.

Los inhibidores utilizados son solventes polares, como alcoholes, glicoles, o sales iónicas.

A continuación se presenta un esquema general del control de hidratos (Grafica 3) en un sistema de hidrocarburos.

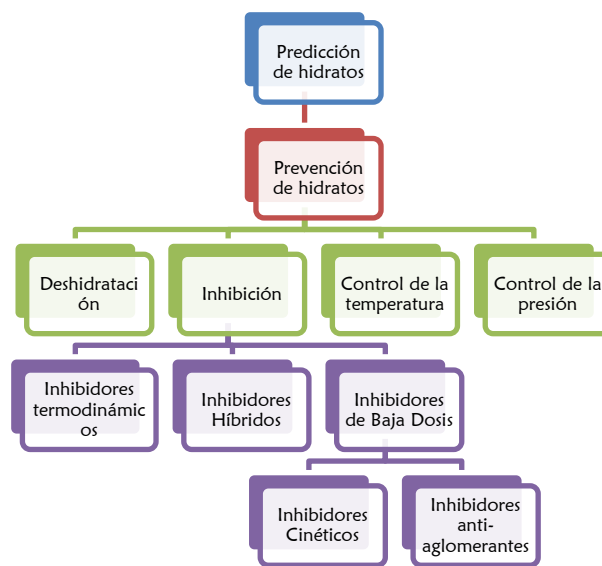


Ilustración 4. Esquema control Hidratos⁸

Inhibidores Termodinámicos: Alteran las condiciones termodinámicas de formación de hidratos, desplazando la curva de equilibrio de disociación hacia temperaturas menores y presiones mayores. Ej: Etanol, MEG, DEG, TEG.

⁸ Rueda Espinel, Julian Fernando: **INHIBIDORES DE HIDRATOS**

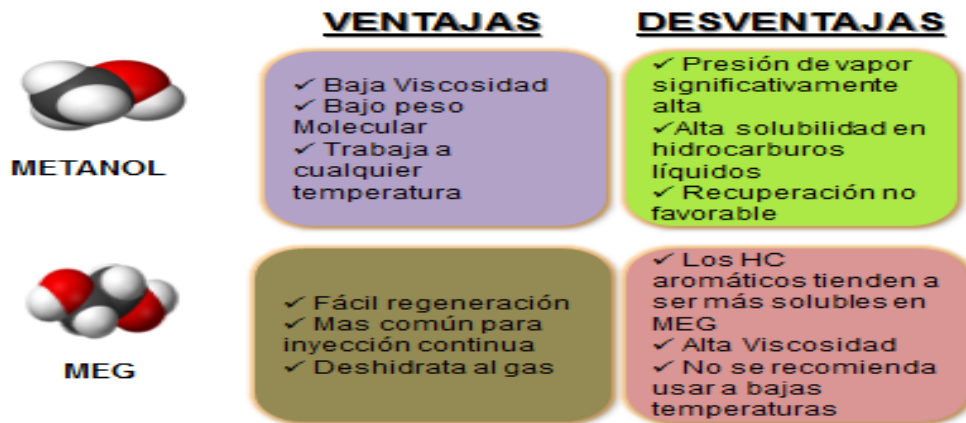


Ilustración 5. Comparación Metanol VS MEG

En este caso se va a utilizar **metanol** como inhibidor, dado que el MEG no es recomendado en procesos criogénicos, además la inyección no se considera de manera continua, por lo que no es viable económicamente instalar un sistema de recuperación.

La acción de esta clase de inhibidores tiene relación directa con la termodinámica del sistema gas-agua-hidrato. Para ciertas condiciones de presión, temperatura y composición del gas, la energía libre del sistema alcanza un mínimo; tal energía puede ser descrita por una ecuación termodinámica como sigue:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (1)$$

Donde ΔH es el término entálpico y ΔS el entrópico que están relacionados con la estructuración de las moléculas del sistema y su orden relativo. Los inhibidores termodinámicos introducen desorden en los puentes de hidrógeno de las moléculas de agua, incrementando de esta manera el término entrópico de la ecuación 2, haciéndolo más negativo, y en consecuencia el valor de la energía libre del sistema aumenta. Compuestos polares como alcoholes o glicoles, forman puentes de hidrógeno con el agua e interfieren en el ordenamiento de las moléculas de agua consigo mismas, lo que disminuye la temperatura de formación de los HG. **El inhibidor termodinámico más usado, dado su efectividad y bajo costo, es el metanol (MeOH).** Los glicoles, específicamente el monoetilenglicol

(MEG) y el dietilenglicol (DEG) son también empleados. Las sales inorgánicas como NaCl o MgCl₂ también son inhibidores efectivos, no obstante su uso es restringido en tuberías debido a los problemas de corrosión que pueden causar. La medida típica de la efectividad de los inhibidores es el sub-enfriamiento, definido como la diferencia entre la temperatura de formación del HG con y sin inhibidor. Hammerschmidt desarrollo otra ecuación que permite predecir el efecto de un aditivo en la temperatura de formación de los hidratos en función de la concentración.

2.4. Modelamiento de formación de hidratos

La utilidad de formación de hidratos calcula el punto de formación de hidratos en una corriente determinada. Los modelos predictivos se basan en los principios termodinámicos fundamentales y el uso de las propiedades generadas de la ecuación de estado, en el cálculo de las condiciones de equilibrio. Por tanto, estos modelos predictivos se pueden aplicar a diversas composiciones, y las condiciones extremas de funcionamiento con un mayor grado de certeza que se puede esperar con expresiones empíricas o gráficos. Los cálculos que se realizan están configurados para utilizar los modelos de formación de hidratos de 2-Fases, 3 fases, y el modelo para predecir hidratos tipo H. Estos modelos para el cálculo de hidratos y su manejo se describen a continuación.

Uso del Modelo - 2-Fases: Es adecuado en los escenarios en los que se tiene ausencia de una fase acuosa libre (en otras palabras, solo vapor, solo Líquido, Vapor-Líquido, líquido-líquido y vapor- Líquido-Líquido, donde el líquido se refiere al hidrocarburo líquido), el modelo de 2 fases se utiliza para la predicción de hidratos de las estructuras I y II.

Uso del modelo 3-Fases: Es adecuado en los escenarios en los que hay presencia de una fase acuosa libre después de una etapa de equilibrio (en otras palabras, Acuosa solamente, Vapor-acuoso, líquido acuoso, y Vapor-Líquido-acuoso, donde

el líquido se refiere a un hidrocarburo líquido), el modelo de las 3 fases se utiliza para predicciones de hidratos de las estructuras I y II.

Uso de Modelo SH: El modelo SH predice que el hidrato corresponde a una estructura tipo H, el modelo SH se basa en el trabajo de Mehta y Sloan [E.D. Sloan, hidratos de clatrato en gases naturales, segunda edición]. El algoritmo de Parrish-Prausnitz se ha ampliado para incluir la determinación de Equilibrio de fase de la estructura H.

2.4.1. Modelo termodinámico usado

Para aplicaciones de petróleo, gas y petroquímica, el modelo termodinámico Peng-Robinson EOS (PR) es por lo general el paquete de propiedades recomendado. Esta ecuación de estado resuelve rigurosamente una, dos o tres fases, que puedan existir en un sistema y operación, con un alto grado de eficiencia y confiabilidad. Se ha mejorado para calcular la fase exacta de equilibrio en los sistemas que van desde la baja temperatura (criogénicos) a altas temperaturas, y sistemas de altas presiones.⁹

Tabla 1. Modelos de simulación Recomendados

Tipo de Proceso	Paquete Termodinámico recomendado
Deshidratación de TEG	PR
Acuoso ácido	Sour PR
Procesamiento de gas criogénico	PR, PRSV
Separación de aire	PR, PRSV
Torres atmosféricas de crudo	PR y sus variantes, Grayson Streed (GS)
Torres a vacío	PR y sus variantes, GS, Braun K10, Esso
Torres de etileno	Lee Kesler Plocker
Sistemas con alto contenido de H ₂	PR, Zudkevitch-Joffee (ZJ), GS
Reservorios	PR y sus variantes
Sistemas de vapor	ASME Steam, Chao Seader, GS
Inhibición de hidratos	PR
Productos químicos	Modelos de actividad, PRSV
Alquilación de HF	PRSV, NRTL
Hidrocarburos-agua	Kabadi Danner
Separaciones de hidrocarburos	PR, SRK

⁹ Jaramillo. Alonso. Simulación Procesos usando HYSYS para gas natural.

3. DESARROLLO

3.1. Descripción del proceso

El Terminal Marítimo y Planta de Almacenamiento de GLP cuenta con capacidad de 95000 m³ de almacenamiento de propano/butano en 4 tanques refrigerados y 9600 m³ de capacidad de almacenamiento presurizado de GLP. Los productos propano y butano son recibidos desde el buque refrigerado (a baja presión) y descargados separadamente. La planta tiene capacidad de calentar y mezclar propano y butano para producir GLP. Los tanques de almacenaje de propano refrigerado tienen un sistema de recuperación de vapores, dado que el propano se encuentra en estado vapor en condiciones de presión y temperatura ambiente y debido a ello el producto tiende a evaporarse.

3.2. Caracterización de los Fluidos

El GLP es producido con propano y butano, cuyas composiciones se presentan a continuación.

Tabla 2. Caracterización productos en el proceso.

Propano		Butano		GLP	
Comp	%Fracción Molar	Comp	%Fracción Molar	Comp	%Fracción Molar
Etano	4.60	Etano	0	Etano	3,68
Propano	81.40	Propano	7,8	Propano	66,32
n-Butano	8	n-Butano	40,3	n-Butano	15,8
i-Butano	5.9	i-Butano	46,3	i-Butano	13,7
n-Pentano	0.10	n-Pentano	1,6	n-Pentano	0,98

Características Metanol	
Densidad relativa del gas a 15° C (59° F), 1 atm:	0.5549
Punto de ebullición a 1 atm:	-161.49° C (-258.64° F)
Punto de fusión a 1 atm:	-182.48° C (-296.42° F)
Peso molecular:	16.043
Densidad a 15°C y 1 atm:	0,671 kg/m ³
Volumen específico del gas 15.6° C (60° F) 1 atm:	1.474 m ³ /kg (23.6113 ft ³ /lb)

A continuación se presenta el diagrama de flujo del proceso:

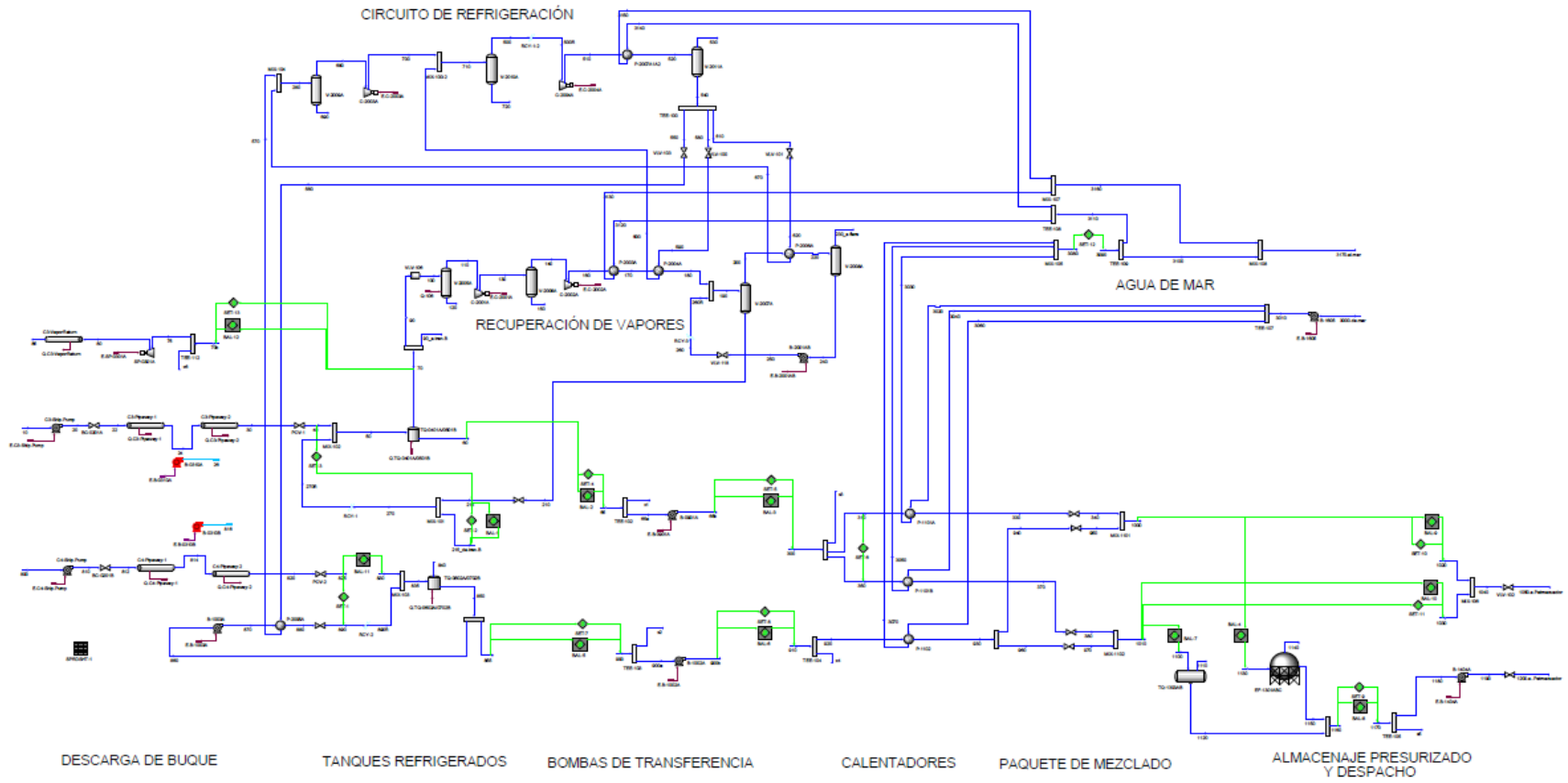


Ilustración 6. Diagrama de flujo de proceso Planta GLP.

3.3. Predicción de hidratos mediante software HYSYS

3.3.1. Curvas envolventes de los productos:

La curva de hidratos dentro de la gráfica característica del producto es importante, para conocer las condiciones con las cuales es probable la formación de hidratos en el sistema. A continuación se presentan las envolventes de cada producto.

➤ Propano:

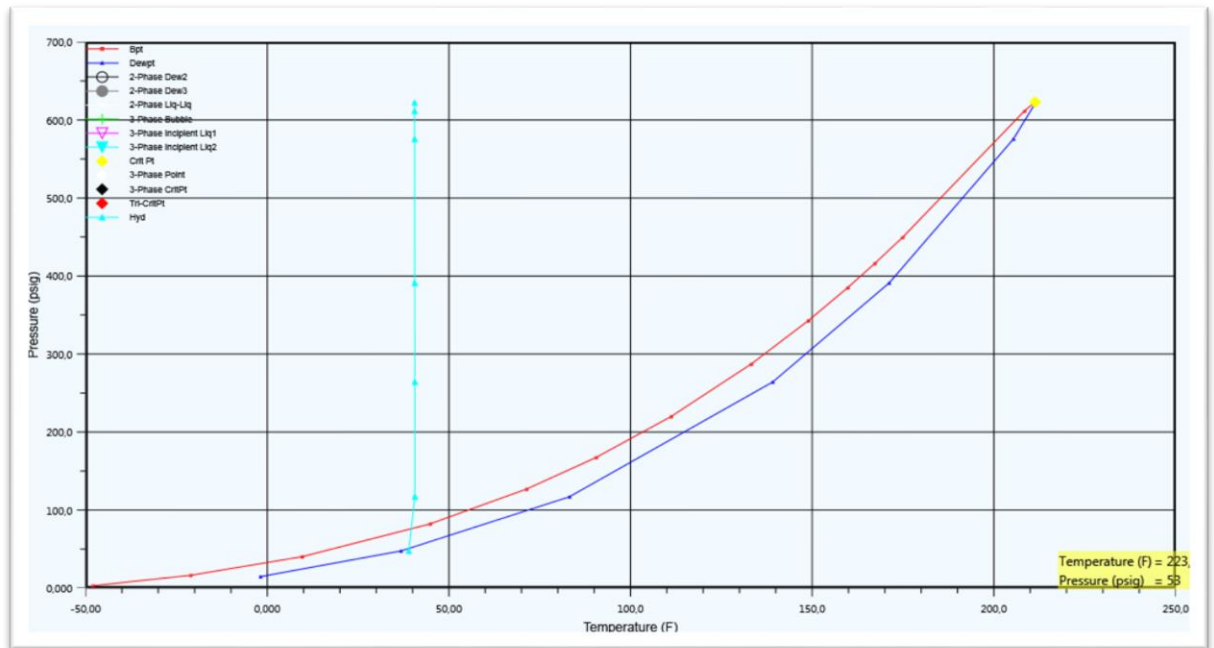


Ilustración 7. Curva envolvente y Curva formación de Hidratos de Propano.

➤ Butano:

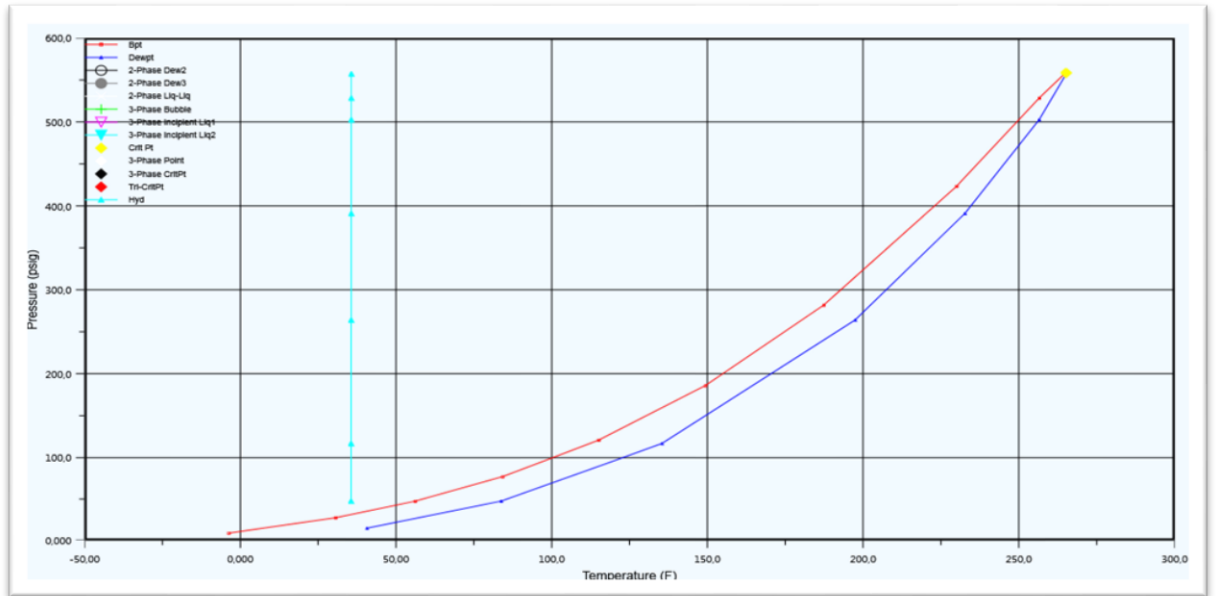


Ilustración 8. Curva envolvente y Curva formación de Hidratos de Butano.

➤ GLP

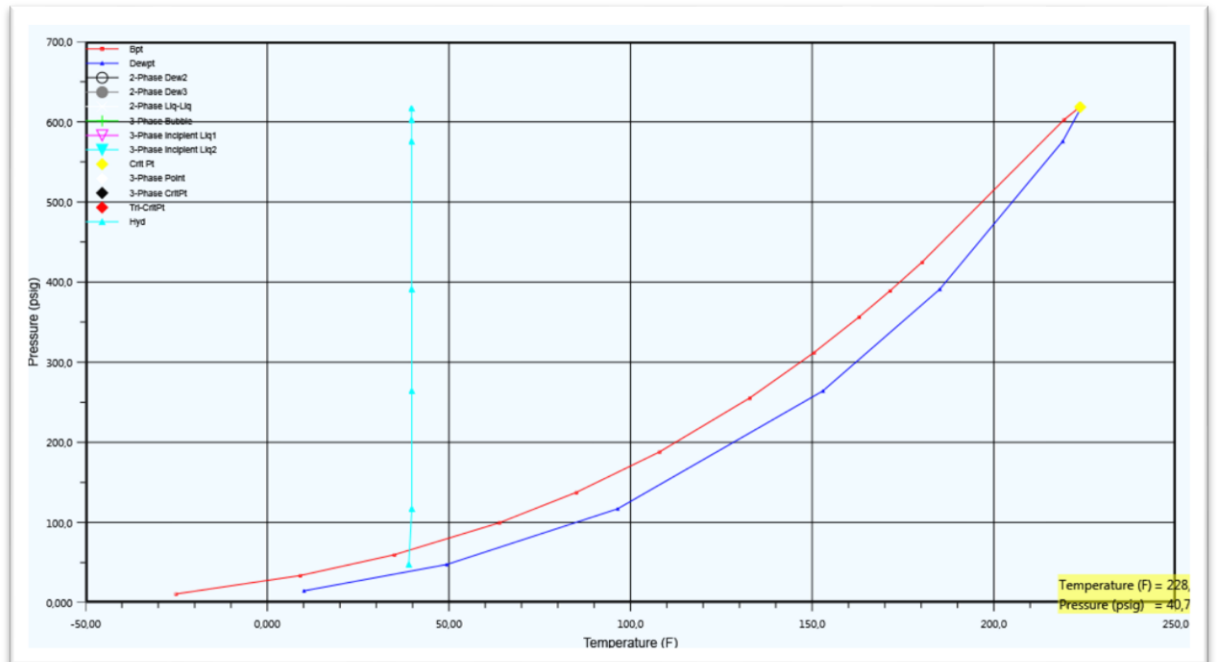


Ilustración 9. Curva envolvente y Curva formación de Hidratos de GLP.

3.3.2. Identificación de hidratos por Corrientes de proceso.

Con las curvas envolventes se identifican las corrientes que podrían presentar formación de hidratos, estas corrientes se modelaron en el software HYSYS, para determinar cuáles corrientes presentan tendencia a formación, y que tipo de hidrato se formarían. A continuación se presentan los resultados obtenidos en el software:

Tabla 3. Identificación Hidratos por Corrientes.

Corriente	Presión (psig)	Temp (F)	Flujo (bls/día)	Hidratos	Tipo Hidrato	Temp. Formac ión.
Propano a calentadores	207	32	92450	si	II	40.6
Butano a Calentadores	232	14	46220	no	-	-
Propano a B. transferencia	208	-50	36140	no	-	-
Propano a sopladores	-13.5	-52.6	1261	no	-	-
Válvulas de flujo C3/C4	67	53	358500	si	II	42
B. Recirculación C4	30.28	13.5	151300	no	-	-
C3 de B. Principales	203	40	36140	si	II	41
C3 grupo Frio (B2001)	174	23	401	si	II	40.61
C3 grupo Frio (P2006)	160	23	578	si	II	40.61
Salida Calentador C3	203	32	9225	si	II	42
Zona Mezcla (GLP)	203	33	108400	si	II	35.59
Esferas GLP	188	34	216800	si	II	35.6
Salida B. GLP	202.9	79.3	8000	no	-	-

3.3.3. Cálculo de cantidad de Metanol Para inhibición de hidratos por punto

Con base en los resultados indicados en la tabla 3. Se procede a calcular la cantidad de etanol necesaria para cada punto con formación de hidratos.

Para realizar el cálculo, se modeló cada punto en el software HYSYS, en el cual se incluyó una corriente de metanol, con la cual iba modificando el comportamiento termodinámico de la corriente.

El procedimiento consistió en introducir flujo de metanol al sistema, verificando la nueva temperatura de formación, hasta encontrar el flujo con el cual no se daba la condición de formación de hidratos.

A continuación se presenta el diagrama propuesto en HYSYS para la simulación, donde se simuló la operación desde el tanque de almacenamiento de metanol, pasando por la bomba de metanol, hasta cada uno de los puntos de inyección en el proceso.

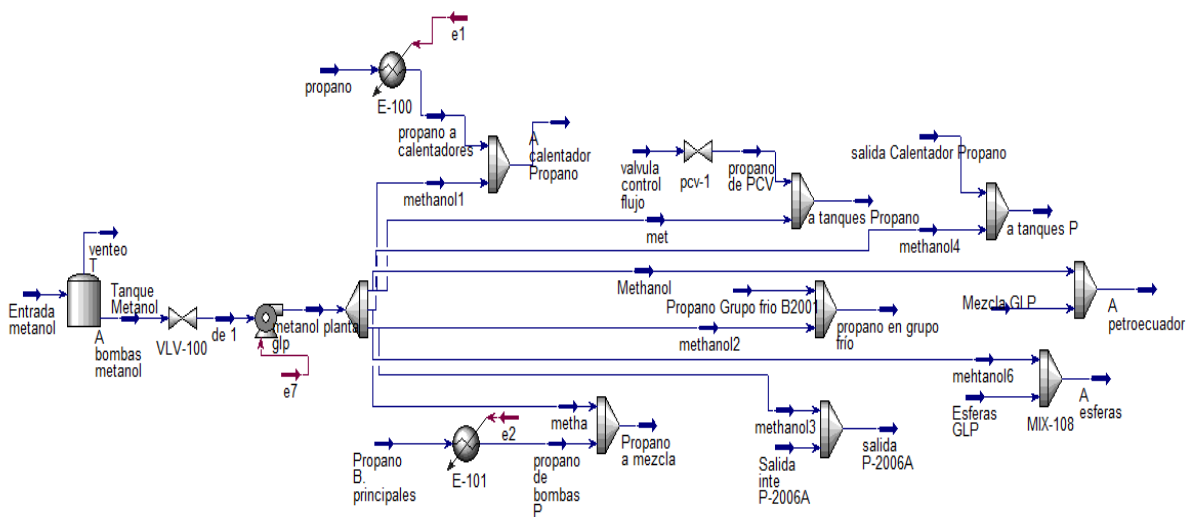


Ilustración 10. Diagrama inyección de Metano a proceso (HYSYS).

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 4. Resultados simulación de planta de inyección de metano.

Corriente	Temp. Formación inicial	Temp. Formación con Metanol	Flujo metanol (Bls/día)	Equipo Auxiliar*
Propano a calentadores	41	38	0.25	Pre-Calentador
Válvulas de flujo C3/C4	42	37.2	0.75	NO
C3 de B. Principales	41	39	1	Pre-Calentador
C3 grupo Frio (B2001)	40.61	21.1	0.75	No
C3 grupo Frio (P2006)	40.61	22.3	0.95	No
Salida Calentador C3	42	31.9	4	No

Zona Mezcla (GLP)	35.59	34	8	No
Esferas GLP	35.6	34.7	6	No

*En caso que la condición de temperatura sea crítica y el consumo de metanol sea muy alto, lo cual no es rentable, se debe realizar un pre-calentamiento (en este caso el proceso lo permite), para ayudar a las condiciones de no formación de hidratos.

Requerimiento Total de Metanol: 21.7 Bls/día**

**Si la operación es continua y se encuentra el sistema mezclando butano y propano.

3.3.4. Dimensionamiento del tanque de Metanol

Se dimensiona un tanque vertical que tenga una capacidad de almacenar 330 Barriles de metanol, que cubriría la operación de 15 a 20 días.

En la siguiente tabla se presentan los datos de dimensionamiento del tanque:

Tabla 5. Data Sheet Tanque de almacenamiento de Metanol

Separador Vertical	
Diámetro (m)	0.6096
Altura (m)	3.353
L/D Radio	5
Tiempo res. Liq (seg)	300
Demister (m)	0.3048
Tipo Material	Acero al carbono
Densidad (lb/ft ³)	490.8
Máximo Esfuerzo (psig)	13690
Espesor Pared (in)	0.25
Espesor Corrosión (in)	0.125
Max. Vel vapor permitida (ft/s)	1.252

3.3.5. Bombas de metanol

De acuerdo a los requerimientos del sistema, se recomiendan bombas dosificadoras tipo embolo (una principal y una de reserva), con las siguientes características:

- Bombas dosificadoras tipo embolo (una operativa y una de reserva), con una capacidad de 0.75 m³/h.

- Presión de descarga máxima de 38 barg.
- Válvula de alivio de presión integrada en la descarga.

Un esquema recomendado para el sistema de bombeo de metanol se presenta a continuación:

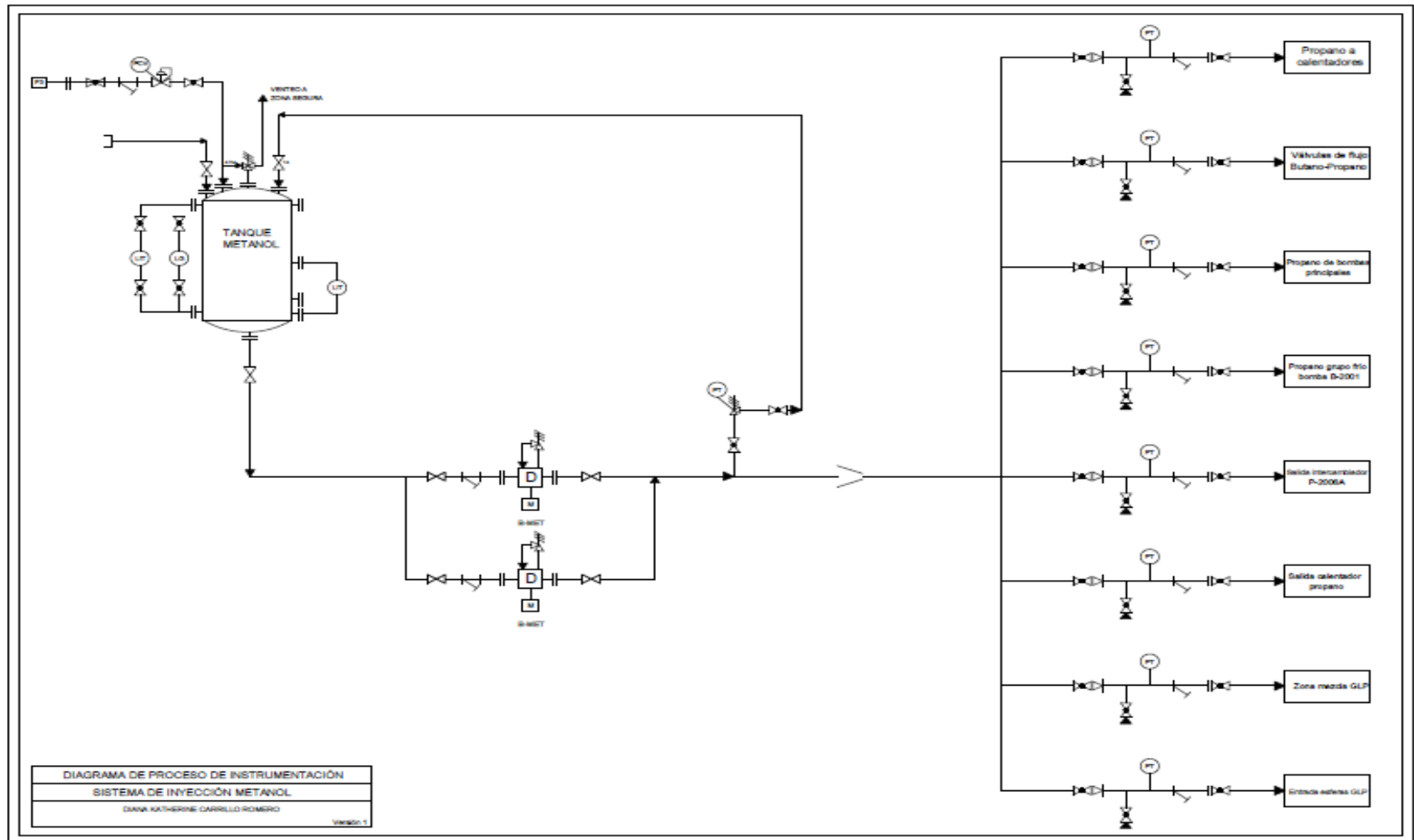


Ilustración 11. Diagrama sistema de inyección de Metanol.

3.3.6. Equipos necesarios para la operación del paquete de metanol y recomendaciones de operación.

Servicios auxiliares

El sistema necesitara nitrógeno para las bombas y para blanketing con las siguientes condiciones:

- Presión: 10 bar
- Temperatura: 25 ° C
- Temperatura de diseño: 60 °C

Seguridad

Clasificación de área: Clase I División 2 Grupo D

- 1.- Donde son manejados, procesados, o utilizados líquidos o gases volátiles inflamables, pero que esos líquidos, vapores o gases normalmente estarían confinados en contenedores cerrados o sistemas cerrados, que los cuales pueden escapar solo en caso accidental por ruptura o descomposición de tales contenedores o descompostura de los sistemas, o en caso de una operación anormal del equipo.
- 2.- Donde concentraciones peligrosas de vapores o gases se encuentran normalmente controlados por sistemas positivos de ventilación, pero que pueden convertirse en peligrosos en caso de una operación anormal del equipo de ventilación.
- 3.- Que se encuentran adyacentes a lugares Clase I, División 1, y que concentraciones peligrosas de gases y vapores pudieran ocasionalmente comunicarse aun cuando la comunicación esta prevenida por un adecuado sistema de presión positivo de ventilación proveniente de una fuente de aire limpio, y cuando un sistema efectivo de seguridad contra fallas del equipo de ventilación es proporcionado.

Equipos pretendidos para usarse en Lugares Peligrosos Clase I, División 2:

Los equipos pretendidos para área Clase I, División 2 usualmente son no encendibles, no generan chispa, purgados/presurizados, herméticamente sellados, o son dispositivos de tipo sellado.

Instrumentación

Caja frontera para interconexión de señales:

Salida:

- ✓ Alarma por Bajo Nivel en Tanque de Metanol (Contacto seco 24 VDC)
- ✓ Alarma por Alto Nivel en Tanque de Metanol (Contacto seco 24 VDC)
- ✓ Nivel de Tanque de Metanol (4-20 mA)
- ✓ Alarma por Alta Presión de Descarga Bombas de Metanol
- ✓ Estado de Bombas (Contacto seco 24 VDC)
- ✓ Resumen de Falla de Paquete de Inyección de Metanol

Entrada:

- ✓ Paro Remoto (24 Vdc)

Todas las señales de Instrumentación deben ir cableadas a través de una bandeja o conduit acorde con la clasificación de área hasta el panel de control local.

Electricidad

El Paquete de Inyección deberá contar con un único panel local de alimentación de potencia, en 480 VAC. En caso de ser necesario, también deberá contar con un panel independiente, a 220 VAC o 127 VAC, derivado de la acometida principal de potencia de 480 V, antes mencionada, para

alimentar todos los requerimientos internos de control y servicios de baja tensión, a través de la instalación de su propio transformador reductor.

Operación

El sistema de inyección de etanol, **sólo** opera en caso de recibir propano/butano con agua (se verifica en cromatografía entregada por buque-tanque).

Desde el Tanque de almacenamiento de Etanol, succionan las bombas dosificadoras, Bombas de Inyección de Etanol, una en operación y otra de respaldo. Las bombas suministran el producto químico (metanol) a varios puntos de inyección ubicados en las instalaciones del Terminal de Monteverde, con límites de presión de diseño diferentes.

Antes de poner en marcha este sistema, asegurarse que la condición de la planta sea la que se detalla a continuación:

- Todas las válvulas de seguridad del sistema de inyección de etanol están listas para la entrada en servicio.
- Las válvulas de bloqueo de las líneas de suministro de etanol están cerradas.
- La energía eléctrica se encuentra disponible, ya sea por medio de la subestación o de los generadores de emergencia.
- El sistema de aire de instrumentos se encuentra habilitado.
- Todos los venteos y drenajes están cerrados.

4. CONCLUSIONES

- El mecanismo más efectivo para prevenir la formación de hidratos es operar a una temperatura superior a su temperatura de formación, de no ser posible se debe inyectar la dosificaciones de inhibidor requerida.
- La composición del gas es fundamental para el cálculo de las temperaturas de formación de hidratos, el contenido de agua, CO₂, H₂S y la presencia de hidrocarburos en fase líquida contribuyen fuertemente a su formación.
- Se recomienda ajustar el modelo de calentamiento (en las corrientes que se necesita intercambiador de calor) de acuerdo a las condiciones reales en operación dado que no se modela la transferencia de calor con la geometría completa del intercambiador de calor.
- El inhibidor a utilizar es el metanol, debido a la ventaja en sistemas criogénicos, generada por sus propiedades fisicoquímicas, al igual que su bajo costo y disponibilidad en el país.
- El sistema está diseñado para operar de manera no continua, por lo cual es necesario un especial cuidado en el seguimiento a la calidad del producto que se recibe mediante los buques-tanques.

BIBLIOGRAFIA

CAMPBELL, John M. *Technical Assistance Service for the Design, Operation and Maintenance of Gas Plants*. Section 4. Norman, Oklahoma, USA. 2003.

DELGADO L. Jose Gregorio. Cuaderno FIRP S363-A: Hidratos de Gas.

GONZALEZ, Eduardo. Ciencia y tecnología. HIDRATOS DE GAS. Pdf

GPSA Engineering Data Book, Gas Processors Suppliers Assoc., Tulsa, OK. (2004), Chapter 20.

HAMMERSCHMIDT, E. G. "Formation of Gas Hydrate in Natural Gas Transmission Lines", *Ind. Eng. Chem.*, 26, 851-855, (1934)

JARAMILLO, Alonso. Simulación de procesos usando HYSYS, aplicaciones en tratamientos de gas natural y destilación de hidrocarburos. Septiembre de 2012.

KATZ, D; CORNELL, D; KOBAYASHI, R; POETTMANN, F; VARY, J; ELENBAAS, J; WEINAUG, C. *Handbook of Natural Gas Engineering*. Chapter 5. McGraw Hill Book Company.

PACHO CARRILLO, Juan Manuel. "Análisis de variables Operativas y opciones de inhibición que minimicen la formación de hidratos para asegurar el flujo en un gasoducto". Artículo, *Tecnología. Ciencia ED. (IMQ)* 20(2): 63-72. 2015.

PONCE V. "Prevención de la formación de hidratos en gasoductos". Trabajo de Grado. Universidad Central de Venezuela, 2012.