

**ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA PARA EL TRATAMIENTO  
DE LA CORRIENTE DE GAS FLOREÑA EN EL *CITY GATE* DE LA CIUDAD DE  
YOPAL**

**ADRIANA MILENA MARTÍNEZ CHIRIVÍ  
MONICA ANDREA MORALES DÍAZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECAICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE HIDROCARBUROS  
BUCARAMANGA  
2013**

**ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA PARA EL TRATAMIENTO  
DE LA CORRIENTE DE GAS FLOREÑA EN EL CITY GATE DE LA CIUDAD DE  
YOPAL**

**ADRIANA MILENA MARTÍNEZ CHIRIVÍ  
MONICA ANDREA MORALES DÍAZ**

**Trabajo de monografía presentado como requisito para optar por el título de:  
ESPECIALISTAS EN GERENCIA DE HIDROCARBUROS**

**Director:  
MANUEL ENRIQUE CABARCAS  
INGENIERO DE PETÓLEOS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECAICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE HIDROCARBUROS  
BUCARAMANGA  
2013**

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN .....	15
OBJETIVOS.....	17
1 MARCO DE REFERENCIA .....	18
1.1 PROCESAMIENTO Y TRATAMIENTO DEL GAS NATURAL .....	18
1.1.1 <i>Procesamiento del Gas Natural</i> .....	18
1.1.2 <i>Tratamiento del Gas Natural</i> .....	19
1.2 MÉTRICAS PARA EVALUAR LA BONDAD FINANCIERA DE UN PROYECTO .....	23
1.2.1 <i>Indicadores de Riqueza (Cantidad de Dinero)</i> .....	23
1.2.2 <i>Indicadores de Rentabilidad (Velocidad de Generación de Riqueza)</i> .....	25
1.2.3 <i>Indicadores Misceláneos</i> .....	25
2 COMPARACIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE LA CORRIENTE DE GAS FLOREÑA CON LAS ESTABLECIDAS EN EL REGLAMENTO ÚNICO DE TRANSPORTE (RUT).....	27
2.1 CONDICIONES ACTUALES CORRIENTE DE GAS FLOREÑA.....	27
2.1.1 <i>Flujo de Proceso – Sistema Actual</i> .....	27
2.1.2 <i>Características Corriente de Gas Floreña</i> .....	29
2.2 REGLAMENTO ÚNICO DE TRANSPORTE (RUT).....	31
2.3 COMPARACIÓN CONDICIONES ACTUALES DE LA CORRIENTE DE GAS VS. CONDICIONES RUT .....	32
3 SELECCIÓN DE LA MEJOR TÉCNICA PARA EL TRATAMIENTO DE LA CORRIENTE DE GAS FLOREÑA.....	35
3.1 TRATAMIENTO PROPUESTO .....	35
3.1.1 <i>Flujo de Proceso – Sistema Propuesto</i> .....	38
3.2 SIMULACIONES DE PROCESO - ESCENARIOS DE MÍNIMO Y MÁXIMO FLUJO ..	40
3.2.1 <i>Casos de Estudio</i> .....	40
3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS ALTERNATIVA PROPUESTA.....	45

4 ANÁLISIS ECONÓMICO.....	47
4.1 PREMISAS.....	47
4.2 INVERSIONES (CAPEX).....	47
4.3 GASTOS DE OPERACIÓN (OPEX).....	50
5 CONCLUSIONES.....	55
6 RECOMENDACIONES.....	56
7 BIBLIOGRAFÍA.....	57
8 ANEXOS.....	58

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Caracterización de la Corriente de Gas de Salida Campo Floreña .....	29
Tabla 2. Caracterización de la Corriente de Gas a la Entrada del <i>City Gate</i> .....	30
Tabla 3. Especificaciones de Calidad para el Gas Natural Según RUT .....	31
Tabla 4. Comparación Condiciones Gas Floreña Vs. Condiciones RUT.....	32
Tabla 5. Comparación de Métodos para Selección de la Mejor Alternativa de Tratamiento para el Caso de Estudio .....	36
Tabla 6. Condiciones de Entrada Vs. Condiciones de Salida del Gas de Venta .....	45
Tabla 7. Costos de Equipo Mayor para el <i>City Gate</i> Yopal – Escenario Máximo Flujo	48
Tabla 8. Costos de Equipo Mayor para el <i>City Gate</i> Yopal – Escenario Mínimo Flujo	48
Tabla 9. Costos de Obras - Escenarios de Máximo y Mínimo Flujo.....	49
Tabla 10. Resumen Total Inversiones – CAPEX .....	49
Tabla 11. Indicadores Financieros – Escenario Máximo Flujo .....	51
Tabla 12. Indicadores Financieros – Escenario Mínimo Flujo.....	52
Tabla 13. Flujo de Caja – Escenario Máximo Flujo.....	53
Tabla 14. Flujo de Caja – Escenario Mínimo Flujo .....	54

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ubicación Geográfica Campo Floreña – Estación Morichal.....	15
Figura 2. Proceso Enfriamiento Mediante Refrigeración Mecánica o Externa (Ciclo de Refrigeración con Propano) .....	21
Figura 3. Flujo de Proceso Actual Corriente de Gas desde Campo Floreña hacia Perenco .....	28
Figura 4. Diagrama de Bloques de Proceso – Sistema Propuesto.....	39
Figura 5. Condiciones de Entrada Corriente de Gas Floreña - 5 MMSCFD .....	41
Figura 6. Condiciones de Entrada Corriente de Gas Floreña 2 MMSCFD.....	42
Figura 7. Esquema General Refrigeración Mecánica .....	43
Figura 8. Condiciones Productos Blancos Obtenidos - 5 MMSCFD .....	43
Figura 9. Condiciones Productos Blancos Obtenidos - 2 MMSCFD .....	44
Figura 10. Condiciones del Gas de Venta - 5 MMSCFD .....	44
Figura 11. Condiciones del Gas de Venta - 2 MMSCFD .....	45

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A . Diagrama de Flujo General – Carga de Gas, Endulzamiento y Regeneración de Amina .....	58
ANEXO B Diagrama de Flujo General – Refrigeración Mecánica, Estabilización y Regeneración de Glicol.....	59

## GLOSARIO

**ABSORCIÓN:** La absorción de gases se refiere a la transferencia de un componente soluble, presente en la fase gaseosa, hacia un líquido absorbente de baja volatilidad.

**ADSORCIÓN:** El proceso de adsorción consiste en la transferencia de materia desde un fluido gaseoso o líquido hacia un material sólido, el cual exhibe propiedades físicas y químicas adsorbentes.

**CONTRATO DE CONEXIÓN AL SISTEMA NACIONAL DE TRANSPORTE:** Acuerdo de voluntades suscrito por las partes interesadas, mediante el cual se pactan las relaciones técnicas, administrativas y comerciales de las conexiones al Sistema Nacional de Transporte, e incluye el pago de un Cargo por Conexión.

**COSTOS DE CAPITAL - CAPEX (*Capital Expenditures*):** Inversiones de capital que crean beneficios. Un CAPEX se ejecuta cuando un negocio invierte en la compra de un activo fijo o para añadir valor a un activo existente con una vida útil que se extiende más allá del año imponible. Los CAPEX son utilizados por una compañía para adquirir o mejorar los activos fijos tales como equipamientos, propiedades o edificios industriales.

**CRICONDENTERMA:** Es la temperatura máxima a la cual pueden coexistir dos fases (líquido y vapor) en equilibrio en un sistema multicomponente.

**DIETANOLAMINA:** Compuesto químico orgánico que se utiliza en disolventes, emulsionantes y aplicaciones detergentes. Abreviado a menudo como DEA. Al igual que otras aminas, la DEA actúa como una base débil. En la industria petrolera, tanto la DEA como su homólogo la metiletanolamina (MEA), son utilizadas como extractoras de dióxido de carbono y de sulfuro de hidrógeno, en torres de absorción.

**ETILENGLICOL:** Compuesto químico que pertenece al grupo de los dioles. Es un líquido transparente, incoloro, ligeramente espeso como el almíbar y leve sabor dulce. Por estas características organolépticas se suelen utilizar distintos colorantes para reconocerlo y así disminuir las intoxicaciones por accidente. A temperatura ambiente es poco volátil, pero puede existir en el aire en forma de vapor. Se utiliza como anticongelante en los circuitos de refrigeración de motores de combustión interna, como difusor del calor, etc.

**FLUJO DE CAJA OPERATIVO – OPEX (*Operating Expenses*):** Muestra cuánta caja han generado las operaciones de la empresa. Se obtiene añadiendo o restando al beneficio neto las partidas de gastos o ingresos que no suponen una salida o entrada de caja (como amortizaciones, depreciaciones, provisiones) y restando la inversión (positiva si ha aumentado o negativa si ha disminuido) en capital circulante.

**GAS NATURAL LICUADO:** El término Gas Natural Licuado (LNG por sus siglas en inglés *liquefied natural gas*) es un término general que aplica a la porción de hidrocarburos livianos del gas natural, predominantemente metano, el cual ha sido licuado.

**GAS LICUADO DE PETRÓLEO:** El término GLP (LPG por sus siglas en inglés *liquefied petroleum gas*) es una mezcla de hidrocarburos livianos constituida principalmente por

C3's (propano y compuestos derivados de éste) y C4's (butanos y compuestos derivados de éstos), en proporciones variables, y que a condiciones normales es gaseosa y al comprimirla pasa a estado líquido.

**HIDRATO:** Es un sólido complejo cristalino estable, con apariencia de hielo pero posee una estructura diferente. Se forma en sistemas de gas o de líquidos recuperados del gas natural (NGL), cuando el gas o el líquido están en o por debajo del punto de rocío del agua, normalmente cuando hay presencia de agua líquida; sin embargo; no necesariamente tiene que darse esta condición, pues una vez que el gas este saturado, el agua libre puede pasar directamente de vapor a sólido sin formar líquido. La temperatura de formación de hidrato a una presión dada depende de la composición del gas.

**PRESIÓN DE VAPOR DE REID (RVP por sus siglas en inglés *Reid Vapor Pressure*):** Es una prueba que indica la volatilidad de un líquido, midiendo la presión generada en un recipiente cerrado a una temperatura dada (70°F). Si la RVP es mayor que la presión atmosférica, 14,7 psia a nivel del mar, la gasolina almacenada en un tanque API emitirá vapores al medio ambiente. Para evitarlo, la RVP no debe superar 12 psia medida a 100°F.

**PROCESO ISOENTÁLPICO:** La sustancia pasa de un estado a otro sin variar su entalpia, la cual se refiere a la cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico, es decir, la cantidad de energía que un sistema puede intercambiar con su entorno.

**PUERTA DE CIUDAD:** Estación reguladora de la cual se desprenden redes que conforman total o parcialmente un Sistema de Distribución y a partir de la cual el Distribuidor asume la custodia del gas.

**PUNTO DE ENTRADA:** Punto en el cual el Remitente entrega físicamente Gas Natural al Sistema Nacional de Transporte y el Transportador asume la custodia del gas. El Punto de Entrada incluye la válvula de conexión y la "T" u otro accesorio de derivación.

**PUNTO DE SALIDA:** Punto en el cual el Remitente toma el Gas Natural del Sistema Nacional de Transporte y cesa la custodia del gas por parte del Transportador. El Punto de Salida incluye la válvula de conexión y la "T" u otro accesorio de derivación.

**REMITENTE:** Persona natural o jurídica con la cual un Transportador ha celebrado un Contrato para prestar el Servicio de Transporte de Gas Natural. Puede ser alguno de los siguientes Agentes: un Productor-comercializador, un Comercializador, un Distribuidor, un Almacenador, un Usuario No Regulado o un Usuario Regulado (no localizado en áreas de servicio exclusivo) atendido a través de un Comercializador.

**TRANSPORTADOR:** Se considerarán como tales, las personas de que trata el Título 1º de la Ley 142 de 1994 que realicen la actividad de Transporte de Gas desde un Punto de Entrada hasta un Punto de Salida del Sistema Nacional de Transporte. De acuerdo con la Regulación de la CREG, deben estar en capacidad de tomar decisión sobre el libre acceso a un Sistema de Transporte siempre y cuando dicho acceso sea técnicamente posible; y deben estar en capacidad de realizar la venta del Servicio de Transporte a cualquier Agente mediante Contratos de transporte.

## RESUMEN

**TÍTULO:** ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA PARA EL TRATAMIENTO DE LA CORRIENTE DE GAS FLOREÑA EN EL *CITY GATE* DE LA CIUDAD DE YOPAL<sup>1</sup>

**AUTORES:** Adriana Milena Martínez Chiriví\*\*  
Mónica Andrea Morales Díaz

**PALABRAS CLAVES:** RUT, Endulzamiento, Deshidratación, Refrigeración, Estabilización, CAPEX, OPEX, Indicadores, VPN, TIR.

La presente monografía desarrolla un análisis técnico y económico con el fin de establecer la viabilidad de tratar la corriente de gas que llega al City Gate de la Ciudad de Yopal, procedente desde el Campo Floreña (Departamento del Casanare, Colombia), y que tiene como destino final la Estación Morichal de la Empresa Perenco Colombia Limited. En la actualidad, en su recorrido desde el City Gate Yopal hasta la estación Morichal, no se realiza ningún tratamiento previo al gas para cumplir con las especificaciones de calidad establecidas en el reglamento único de transporte (RUT) para su comercialización y distribución.

Aunque el uso final del gas es para las labores operativas de los campos propiedad de Perenco, en este estudio se contemplan las condiciones exigidas por el Reglamento Único de Transporte (RUT) debido a que el gas que sale del *City Gate* se transporta desde allí por un gasoducto propiedad de la empresa TGI hasta la estación Morichal; por tal razón debe entregarse con una calidad tal que no forme líquido a las condiciones críticas de operación del sistema evitando así problemas tanto en el gasoducto como en el proceso aguas abajo. El gas entregado a las Estaciones de Perenco se encuentra actualmente en un "límite crítico" en cuanto a las especificaciones de calidad exigidas por el RUT. Debido a lo anterior, tanto TGI como Perenco se ven obligados a realizar actividades rutinarias de limpieza, monitoreo y reparación con el fin de mantener la integridad tanto del tubo como de los equipos de proceso, incurriendo en costos operativos y de mantenimiento adicionales.

Este estudio se desarrolla para establecer cuál es la mejor alternativa de tratamiento que constituya una solución viable desde el punto de vista técnico y de inversión, para lo cual se desarrolla el correspondiente análisis económico del proyecto.

---

<sup>1</sup>Monografía.

\*\* Especialización en Gerencia de Hidrocarburos, Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, Director, Ing. Manuel Enrique Cabarcas.

## ABSTRACT

**TÍTULO:** TECHNICAL ECONOMIC STUDY OF VIABILITY FOR TREATING OF GAS FLOREÑA STREAM AT YOPAL CITY GATE\*

**AUTHORS:** Adriana Milena Martínez Chiriví\*\*  
Mónica Andrea Morales Díaz

**KEY WORDS:** RUT, Gas Sweetening, Dehydration, Refrigeration, Stabilization, Capital Expenditures (CAPEX), Operating Expense (OPEX), Indicators, Net Present Value (VPN), Internal Rate of Return (TIR).

This monograph develops a technical and economic analysis in order to establish the viability of treating the gas stream that reaches the Yopal City Gate, coming from Floreña Field (Department of Casanare, Colombia), and whose final destination is the Morichal Station Company Perenco Colombia Limited.

At present, since the gas is delivered at Floreña Field until it reaches Morichal Station, it does not pass through any treatment to meets the quality specifications established in Transportation Unique Regulation (For its acronym in Spanish: Reglamento Único de Transporte RUT) for marketing and distribution.

Although the final use of gas is for operational work of the fields owned by Perenco, in this study referred to the RUT conditions because the gas leaving the City Gate is transported from there by a pipeline owned by TGI to Morichal station; by this reason must be provided with a quality that does not form liquid at the critical operating conditions of the system to avoid problems both in the pipeline and in the downstream process. The gas delivered to the Perenco stations, is currently in a "critical limit" in terms of the quality specifications required by the RUT. Because of this, both TGI and Perenco are forced to perform routine cleaning activities, monitoring and repair in order to maintain the integrity of the pipe and process equipment, incurring in operating costs and additional maintenance.

This study is carried out to determine which is the best treatment alternative that constitutes a viable solution from a technical and investment viewpoint, for which is developed the corresponding project economic analysis.

---

\* Monograph.

\*\* Hydrocarbons Management Specialization, Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, Director, Eng. Manuel Enrique Cabarcas.

## INTRODUCCIÓN

Hacia el año 2005 la empresa Perenco Colombia *Limited* atravesaba por una crisis como consecuencia de la deficiencia energética de gas necesario para sus operaciones en las 25 estaciones de producción que conforman el distrito Casanare. Debido a la declinación en la producción de sus principales pozos productores de gas en los campos Morichal y Tocaría; se vio en la obligación de iniciar acercamientos con las empresas productoras de gas del sector. Es así como llegó a suscribir inicialmente un acuerdo de suministro de gas en firme por cinco (5) años con la *British Petroleum Company* (B.P), hoy Equión y Ecopetrol S.A., del gas producido en el campo Floreña, bajo la salvedad de que Perenco se comprometía a asumir cualquier inconveniente que pudiese presentarse por la calidad del gas. Adicionalmente para poder transportar el gas de Floreña hasta la puerta de ciudad en Yopal (*City Gate*), debía construir un gasoducto de 17.5 kilómetros de longitud.

Según lo anterior, en la actualidad Perenco tiene como fuente principal energética gas natural para la operación y producción de 5 contratos en el Departamento de Casanare (Colombia). La demanda de gas de Perenco es de 7 MMSCFD; 5 MMSCFD son producidos por los pozos de su propiedad (Morichal y Tocaría) y 2 MMSCFD son comprados a las compañías Ecopetrol y Equión de la producción del campo Floreña, a través de un contrato de suministro interrumpible. Dependiendo de la producción de los pozos Morichal y Tocaría, la cantidad de gas comprado de la producción del campo Floreña puede variar. Por ejemplo, si la producción de los pozos se mantiene en 5 MMSCFD, se compran 2 MMSCFD, o si por el contrario, la producción de gas de Perenco decrece a 2 MMSCFD, la compra de gas aumenta a 5 MMSCFD. Por las razones anteriores, el presente estudio se desarrollará bajo los escenarios de compra de 2 y de 5 MMSCFD. Sip

se adelantan y desarrollan proyectos paralelos para el tratamiento del gas producido en los campos Morichal y Tocaría de Perenco, por tal razón el alcance del presente estudio se limita a la corriente de gas producido por el campo Floreña.

**Figura 1. Ubicación Geográfica Campo Floreña – Estación Morichal**



Fuente: [http://www.ecopetrol.com.co/multimedias\\_gas/mapa\\_gasoductos\\_campos\\_gas.pdf](http://www.ecopetrol.com.co/multimedias_gas/mapa_gasoductos_campos_gas.pdf)

El gas producido en el campo Floreña llega por el gasoducto de 17.5 Km hasta el *City Gate* de Yopal, desde donde se inyecta a la red nacional propiedad de la Transportadora de Gases del Interior (TGI) con nodo de salida la Estación Morichal de Perenco. Finalmente desde allí se distribuye a la red interna de gasoductos del Distrito Casanare. En todo el recorrido del gas, desde su entrega en Floreña hasta la llegada a la Estación Morichal, no se realiza ningún tratamiento para hacer que el gas cumpla con las especificaciones de calidad establecidas en el Reglamento Único de Transporte (RUT) para su comercialización y distribución.

Las especificaciones establecidas por el RUT se contemplan dentro del presente estudio ya que, aunque el uso final del gas es para las labores operativas de los campos propiedad de Perenco, como se mencionó anteriormente, dada la contingencia ocurrida por la falta del recurso energético para las operaciones de Perenco, TGI aceptó transportar el gas desde el *City Gate* de Yopal hasta la estación Morichal. Si se tiene en cuenta lo establecido por el RUT...“el gas natural deberá entregarse con una calidad tal que no forme líquido, a las condiciones críticas de operación del Sistema de Transporte”..., se hace necesario el tratamiento de la corriente de gas Floreña para que cumpla con lo reglamentado y se eviten problemas tanto en el gasoducto como aguas abajo en el proceso. El gas entregado a las Estaciones de Perenco, se encuentra actualmente en un “límite crítico” en cuanto a las especificaciones de calidad exigidas por el RUT, obligando a TGI a realizar actividades rutinarias de limpieza y a monitorear frecuentemente la integridad del tubo con el fin de disminuir potenciales problemas de seguridad. Por otra parte Perenco a nivel interno también debe realizar reparaciones de líneas de gas por fugas y fisuras y realizar mantenimientos correctivos frecuentes a los equipos electromecánicos. La riqueza y humedad de la mezcla de gas combinada con un contaminante como el CO<sub>2</sub>, puede causar daños a nivel de dichos equipos (Bombas, Compresores, Generadores, Cromatógrafos, etc.), y afectar la integridad de líneas y ductos, incurriendo en altos costos de mantenimiento correctivo y/o hasta la reposición total de los mismos.

En consecuencia a lo anterior, se espera evaluar técnica y económicamente la posibilidad de tratamiento y acondicionamiento de la corriente de gas Floreña, para que luego pueda enviarse como gas seco para consumo en las estaciones del distrito ubicadas aguas abajo. Adicionalmente, como valor agregado, se contempla la obtención de productos blancos para venta (condensados), comúnmente usados como diluyentes en el transporte de crudos pesados.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Evaluar la viabilidad técnica y económica para el tratamiento de la corriente de gas Floreña en el *City Gate* de Yopal, antes de que ésta ingrese a la red nacional de transporte y llegue a su destino final de consumo en las diferentes estaciones del Distrito Casanare.

### OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Determinar las condiciones actuales de la corriente de gas floreña en cuanto a composición, flujo, condiciones de operación requeridas para la entrega a remitentes y compararlas con las establecidas en el Reglamento único de Transporte (RUT).
2. Mediante la simulación de procesos con *software*, seleccionar la mejor alternativa de tratamiento de gas para que se ajuste a las condiciones de operación y cumpla con la normatividad existente (RUT).
3. Desarrollar una simulación en estado estable bajo los escenarios de mínimo y máximo flujo de la corriente de gas (MMSCFD) para determinar la relación costo beneficio.
4. Realizar el flujo de caja del proyecto para determinar su viabilidad económica.

## 1 MARCO DE REFERENCIA

### 1.1 PROCESAMIENTO Y TRATAMIENTO DEL GAS NATURAL

El gas natural consiste principalmente de una mezcla de hidrocarburos gaseosos, el componente más común es el metano. El gas natural puede obtenerse como tal en yacimientos de gas libre, gas disuelto o asociado, gas condensado, o en depósitos de carbón. Durante el proceso de extracción de petróleo o gas de un pozo, el gas natural producido arrastra desde los yacimientos hidrocarburos condensables, impurezas ( $H_2S$ ,  $CO_2$ ) y agua en fase gaseosa, por lo que se dice que el gas que se recibe es un gas rico, amargo e hidratado:

- Amargo por los componentes ácidos que contiene.
- Rico por la presencia de hidrocarburos condensables.
- Hidratado por la presencia de agua que arrastra desde los yacimientos.

Mediante su tratamiento y procesamiento se eliminan las impurezas (procesos de endulzamiento) y se separan sus diferentes componentes (procesos de fraccionamiento). El gas producido es utilizado en la industria petroquímica para la extracción de líquidos de gas natural (LNG), en la inyección para la recuperación secundaria de petróleo (*gas lift*) y en el mercado interno como gas combustible para la producción de electricidad o como gas doméstico.

#### 1.1.1 Procesamiento del Gas Natural

El procesamiento del gas desde los yacimientos hasta los centros de consumo, se puede resumir en cuatro grandes etapas:

**1.1.1.1 Producción o Extracción de los Yacimientos:** El gas es extraído del subsuelo de los diversos tipos de yacimientos.

**1.1.1.2 Recolección y Tratamiento:** Incluye un primer proceso de limpieza en el cual el gas se separa de la fase líquida que lo compone y luego, en una planta de acondicionamiento (endulzamiento y deshidratación), se le extraen otros contaminantes tales como:  $CO_2$ ,  $H_2S$  y  $H_2O$ , entre otros.

**1.1.1.3 Procesamiento (Extracción y Fraccionamiento de Líquidos):** El gas que sale de las plantas de acondicionamiento (principalmente gas dulce rico), se somete a procesos para la extracción de los hidrocarburos más pesados, los cuales se llevan posteriormente a una planta de fraccionamiento en donde se separan para su comercialización. El residuo de este proceso se conoce como gas pobre, residual o gas metano por su alto contenido de dicho componente.

**1.1.1.4 Transmisión y Distribución:** El gas natural extraído del subsuelo fluye a través de tuberías que lo transportan y distribuyen a los centros de consumo respectivos, a través de gasoductos interconectados y requiriendo en algunos puntos de la red de distribución el uso de plantas compresoras que permitan elevar la presión y minimizar los efectos de la caída de presión por fricción o elevación del sistema de transmisión y distribución, de manera tal que se mantenga la presión requerida por el consumidor final.

## **1.1.2 Tratamiento del Gas Natural**

El tratamiento del gas natural implica el reagrupamiento, acondicionamiento y refinado del gas natural bruto con el fin de llevarlo a las condiciones del gas de ventas. Este proceso supone primero una extracción de los elementos líquidos del gas natural y después una separación entre los diferentes elementos que componen los líquidos. El Gas Natural se trata principalmente para:

- Remover vapor de agua (Deshidratación).
- Remover gas licuado de petróleo - GLP (Ajuste de Punto de Rocío, Turbo Expansión).
- Remover gases ácidos contaminantes y mercurio, si hubieren (Endulzamiento).

### **1.1.2.1 Deshidratación**

Todo gas natural de producción está totalmente saturado con agua en su fase de vapor, porque proviene de un yacimiento saturado (en equilibrio) con agua. Además generalmente contiene  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{S}$  que se remueven con soluciones acuosas tales como aminas, carbonato de potasio, etc., que saturan el gas con agua. Con el fin de remover la mayor cantidad de agua y por las razones expuestas a continuación, es necesario deshidratar el gas:

- El agua líquida y el gas natural pueden formar hidratos parecidos al hielo que pueden obstruir válvulas y tuberías, entre otros. Durante el procesamiento criogénico se puede formar hielo en los intercambiadores de calor de baja temperatura.
- El gas natural que contiene agua líquida es corrosivo, particularmente si contiene  $\text{CO}_2$  o  $\text{H}_2\text{S}$ .
- El vapor de agua se puede condensar en los gasoductos generando condiciones lentas de flujo.
- El vapor de agua aumenta el volumen y disminuye el poder calorífico del gas natural, por lo tanto se reduce la capacidad de la línea.

Los procedimientos para reducir el contenido de agua del gas, en orden de costos crecientes, y variables de efectividad, son:

- Refrigeración mecánica.
- Absorción del agua con glicoles.
- Adsorción del agua con lechos sólidos (Sílica gel, alúmina y tamices moleculares).

### 1.1.2.2 Ajuste del Punto de Rocío

El gas de venta debe cumplir especificaciones no solamente por contenido de agua sino cumplir ciertos requerimientos con respecto al punto de rocío por hidrocarburo. Dado que el punto de rocío por hidrocarburo varía con la composición, la presión y la temperatura, la definición de punto de rocío por hidrocarburo incluye los parámetros presión y temperatura. Normalmente el punto de rocío se especifica como una temperatura máxima a una presión seleccionada. En Estados Unidos estas especificaciones son 15 °F máximo a 800 psia. El valor de presión se selecciona porque generalmente está cerca a la temperatura de cricondenterma<sup>3</sup> para el gas de venta. La razón para el valor de temperatura de 15 °F es para asegurar que, cuando la línea se enfría a la temperatura de la tierra o cuando hay enfriamiento debido a expansión, no se forman hidrocarburos líquidos en la tubería. Se ha encontrado que dicha especificación de punto de rocío es adecuada, a fin de evitar hidrocarburo líquido en los sistemas de distribución de gas natural. Para alcanzar la especificación de punto de rocío por hidrocarburo, es necesario tratar el gas para remover prácticamente todos los hidrocarburos pesados de la mezcla. Entre los procesos disponibles para realizar dicho tratamiento se encuentran:

- Expansión Joule – Thompson (Unidades JT): En estas unidades el gas pasa primero por un intercambiador de calor en donde se pre-enfría para luego pasar a través de una válvula de expansión o estrangulador. Esta expansión es un proceso isoentálpico<sup>4</sup> en el que la caída de presión a través de la válvula genera una disminución de temperatura que provoca la separación de los líquidos condensables y del gas. Generalmente en este tipo de proceso, el gas debe luego re-comprimirse para alcanzar la presión requerida para su transporte.
- Refrigeración Externa o Mecánica: La refrigeración es el proceso más directo para la recuperación de líquidos, en la cual la refrigeración externa o mecánica se proporciona por un ciclo de expansión – compresión de gas, que generalmente utiliza al propano como agente refrigerante.

Como refrigerante se usa propano porque:

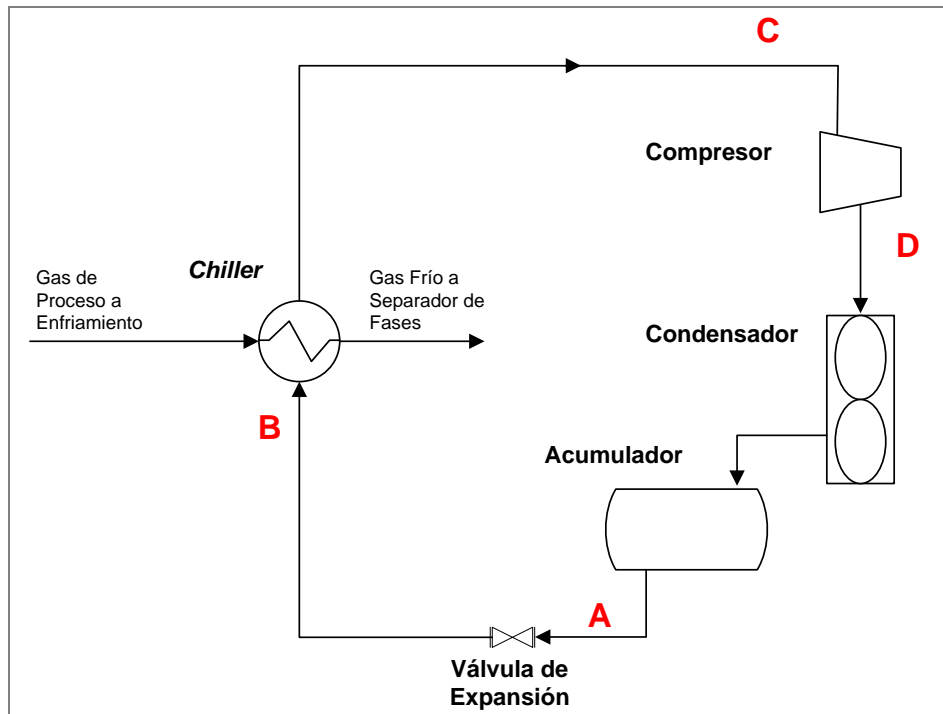
- Tiene presión positiva a la temperatura de evaporación.
- Condensa con aire o agua a baja presión.
- La baja relación de compresión permite operar en dos etapas.
- Tiene un calor latente de evaporación elevado.  
Tiene bajo costo y buena disponibilidad.

---

<sup>3</sup> Ver Glosario.

<sup>4</sup> *Ibidem*.

**Figura 2. Proceso Enfriamiento Mediante Refrigeración Mecánica o Externa (Ciclo de Refrigeración con Propano)**



Fuente: GPSA *Engineering Data Book* (Figure 14-3. One Stage Refrigeration System). Modificada por las autoras.

- A.** El líquido refrigerante saturado se expande en la válvula
  - B.** Debido a la expansión se vaporiza parcialmente y entra en el Chiller a una temperatura menor a la de la corriente de gas.
  - C.** Sale del Chiller totalmente vaporizado.
  - D.** Este vapor se comprime y se envía a un condensador donde se transforma en líquido al 100%, y posteriormente se almacena en un acumulador para repetir el ciclo.
- Separación a Baja Temperatura – Unidades LTS (*Low Temperature Separation*): Estos dispositivos se utilizan para la separación de gas y condensados a baja temperatura. Si hay suficiente presión disponible, se puede usar una refrigeración por expansión en un sistema LTS. El sistema de refrigeración por expansión utiliza el efecto Joule Thompson para reducir la temperatura. Esta reducción de temperatura permite además de la condensación de los hidrocarburos, la condensación de agua, por lo que el proceso puede remover hidrocarburos y agua en una misma unidad. Están diseñados para manejar y fundir los hidratos que se pueden formar al disminuir la temperatura del flujo. El punto de rocío que puede alcanzarse está limitado tanto por la caída de presión disponible como por la composición del gas. Este proceso es atractivo cuando se puede lograr suficiente remoción de líquidos a las condiciones de operación disponibles. En este proceso es usual la inyección de glicol al gas de alta presión para ayudar a evitar la formación de hidratos.

- Absorción con Aceite Pobre (*Lean Oil Process*): Consiste en poner en contacto el gas natural con un aceite en una absorbidora, con lo cual compuestos del gas se disuelven en el aceite. La cantidad de cada componente que se disuelve en el aceite, se incrementa a medida que disminuye su volatilidad a las condiciones de temperatura y presión de la absorbidora. El gas rico entra a la torre de absorción por el fondo y fluye hacia arriba a través de la absorbidora, la cual contiene platos o empaque. A medida que el gas fluye hacia arriba, entra en contacto íntimo con el aceite, el cual entra a la torre por la parte superior. Cuando el gas sale por la cima de la torre, se ha despojado de la mayor parte de los componentes pesados. El aceite rico sale por el fondo de la torre bajo control de nivel, intercambia calor con la corriente de aceite pobre y entra al tanque “*flash*”, el cual opera alrededor de la mitad de la presión de la torre de absorción. Una gran cantidad de compuestos livianos absorbidos, tales como metano y etano se liberan y se envían a recompresión.

### 1.1.2.3 Endulzamiento

Como se mencionó anteriormente, por lo general el gas natural que se produce a nivel mundial contiene CO<sub>2</sub>. Además en muchas partes del mundo, principalmente al norte de la línea ecuatorial, el gas natural contiene también H<sub>2</sub>S. Ambos compuestos son ligeramente solubles en agua. Cuando estos gases se disuelven en agua forman una solución medianamente acidificada, razón por la que estos compuestos son llamados gases ácidos. Las especificaciones máximas de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S a nivel internacional son 2 % vol y 4 ppmv, respectivamente. Cuando un gas natural excede las especificaciones por H<sub>2</sub>S y/o CO<sub>2</sub> se denomina un gas amargo (agrio); por el contrario, cuando el contenido de estos compuestos en el gas natural está por debajo de los límites especificados para gas de venta, se dice que es un gas dulce.

El gas natural que tiene concentraciones de H<sub>2</sub>S y CO<sub>2</sub> por encima de los límites permisibles, tiene que ser tratado para la remoción del gas ácido. Como el H<sub>2</sub>S reacciona con muchos compuestos, hay una gran variedad de procesos para extraerlo químicamente. En pequeñas concentraciones, es económico removerlo al hacerlo reaccionar con compuestos sólidos secos como el óxido de hierro o el óxido de zinc. Cuando las concentraciones son altas, se usan los solventes. En cuanto al CO<sub>2</sub>, se extrae solamente con solventes. La remoción de dichos componentes no hidrocarburos también se hace necesaria ya que pueden provocar fallas por corrosión en equipos y/o disminuir el valor comercial del gas restándole poder calorífico, además de que lo hacen inadecuado para su distribución y consumo.

Algunos de los procesos desarrollados para la remoción de gases ácidos son:

- Solución acuosa de aminas de varios tipos.
- Absorción física con secuestrantes líquidos.
- Proceso de Carbonato de Potasio.
- Tamices Moleculares.
- Membranas.

Aunque cada proceso tiene su aplicación específica, el proceso de amina es el más difundido ya que en general los solventes químicos presentan alta eficiencia en la eliminación de gases ácidos, aun cuando se trate de un gas de alimentación con baja presión parcial de CO<sub>2</sub>.

#### **1.1.2.4 Recuperación LPG - Estabilización de Condensado**

Los líquidos recuperados del gas natural (LNG), forman una mezcla que se separa en fracciones de compuestos individuales o mezclados, mediante una operación de fraccionamiento. Se le llama destilación al proceso mediante el cual se logra realizar la operación de fraccionamiento. El proceso de estabilización consiste en separar los componentes livianos tales como el Metano, Etano y parte del GLP. Estos gases se recuperan en media y baja presión por lo que se deben recomprimir a la presión del gas a la entrada. Cualquier planta de procesamiento de gas que produce líquidos del gas natural (NGL), requiere de al menos una fraccionadora para producir un líquido que cumpla con las especificaciones para venta. Por lo tanto, el propósito del fraccionamiento es obtener de una mezcla de hidrocarburos líquidos, ciertas fracciones que como productos deben cumplir especificaciones. Para separar una corriente líquida de hidrocarburos en varias fracciones, se requiere una torre de destilación por fracción. De otra forma, si lo que se quiere es estabilizar la corriente del hidrocarburo condensado recolectado en el separador de entrada a la planta, para recuperar las fracciones de pentano y más pesadas (C<sub>5+</sub>), se utiliza una torre estabilizadora en la cual se separan las fracciones de 5 hidrocarburos y más pesados, los cuales salen por el fondo y las fracciones de 4 hidrocarburos y más livianos (C<sub>4</sub>), las cuales salen por la cima.

## **1.2 MÉTRICAS PARA EVALUAR LA BONDAD FINANCIERA DE UN PROYECTO**

Un proyecto de inversión puede ser descrito por un gráfico de tiempo en donde se representan todos los ingresos/egresos. Pero esto no dice claramente si es o no conveniente desde el punto de vista financiero. Es por esto, que para analizar las bondades de un proyecto de inversión, o para comparar diferentes proyectos de inversión, se debe utilizar adecuadamente otra herramienta con tal fin, dicha herramienta es el índice de rentabilidad. Existen otras herramientas (período de restitución) pero la primera es la más utilizada. Para su cálculo existen muchos métodos, algunos errados, siendo el más acertado el método de la tasa interna del retorno. Aspectos a tener en cuenta:

- Se deben tener en consideración todos los movimientos que aparecen en el proyecto de inversión.
- Se debe tener en cuenta el valor del dinero relativo con el tiempo.
- Se debe tener en cuenta la tasa de interés de equivalencia o de oportunidad.

### **1.2.1 Indicadores de Riqueza (Cantidad de Dinero)**

#### **1.2.1.1 Valor Presente Neto (VPN)**

Es el método más conocido a la hora de evaluar proyectos de inversión a largo plazo. El VPN permite determinar si una inversión cumple con el objetivo básico financiero de maximizar la inversión y si dicha inversión puede incrementar o reducir el valor de las

empresas. Ese cambio en el valor estimado puede ser positivo, negativo o continuar igual. Si es positivo significará que el valor de la firma tendrá un incremento equivalente al monto del VPN. Si es negativo quiere decir que la firma reducirá su riqueza en el valor que arroje el VPN. Si el resultado del VPN es cero, la empresa no modificará el monto de su valor. Es importante tener en cuenta que el valor del VPN depende de las siguientes variables:

- **Inversión Inicial Previa:** Corresponde al monto o valor del desembolso que la empresa hará en el momento de contraer la inversión. En este monto se pueden encontrar: El valor de los activos fijos, la inversión diferida y el capital de trabajo. Los activos fijos son todos aquellos bienes tangibles necesarios para el proceso de transformación de materia prima o que pueden servir de apoyo al proceso. Estos activos fijos conforman la capacidad de inversión de la cual dependen la capacidad de producción y la capacidad de comercialización. La inversión diferida es aquella que no entra en el proceso productivo y que es necesaria para poner a punto el proyecto: construcción, instalación y montaje de una planta, la papelería que se requiere en la elaboración del proyecto como tal, los gastos de organización, patentes y documentos legales necesarios para iniciar actividades. El capital de trabajo es el monto de activos corrientes que se requiere para la operación del proyecto: el efectivo, las cuentas por cobrar, los inventarios. La depreciación juega un papel importante pues afecta positivamente a los flujos netos de efectivo por ser ésta deducible de impuestos lo que origina un ahorro fiscal.
- **Inversiones Durante la Operación:** Son las inversiones en reemplazo de activos, las nuevas inversiones por ampliación e incrementos en capital de trabajo.
- **Flujos Netos de Efectivo:** Es importante tener en cuenta la diferencia existente entre las utilidades contables y el flujo neto de efectivo. Las primeras son el resultado neto de una empresa tal y como se reporta en el estado de resultados; en otras palabras es la utilidad sobre un capital invertido. El flujo neto de efectivo es la sumatoria entre las utilidades contables con la depreciación y la amortización de activos nominales, partidas que no generan movimiento alguno de efectivo y, que por lo tanto, significan un ahorro por la vía fiscal debido a que son deducibles para propósitos tributarios. Cuanto mayor sea la depreciación y mayor sea la amortización de activos nominales menor será la utilidad antes de impuestos y por consiguiente menor los impuestos a pagar. Los flujos netos de efectivo son aquellos flujos de efectivo que el proyecto debe generar después de poner en marcha el proyecto, de ahí la importancia en realizar un pronóstico muy acertado con el fin de evitar errores en la toma de decisiones.
- **Tasa de Descuento:** La tasa de descuento es la tasa de retorno requerida sobre una inversión. La tasa de descuento refleja la oportunidad perdida de gastar o invertir en el presente por lo que también se le conoce como costo o tasa de oportunidad. Su operación consiste en aplicar en forma contraria el concepto de tasa compuesta. Es decir, si a futuro la tasa de interés compuesto capitaliza el monto de intereses de una inversión presente, la tasa de descuento revierte dicha operación.

En otras palabras, esta tasa se encarga de descontar el monto capitalizado de intereses del total de ingresos percibidos en el futuro. En evaluación de proyectos un inversionista puede llegar a tener dificultad para determinar la tasa de descuento.

En resumen, un proyecto es rentable para un inversionista si el VPN es mayor que cero.

- $VPN > 0 \Rightarrow$  Proyecto Rentable (realizarlo)
- $VPN < 0 \Rightarrow$  Proyecto NO Rentable (archivarlo)
- $VPN \approx 0 \Rightarrow$  Proyecto Indiferente

El momento en que se perciben los beneficios es muy importante. A medida que aumenta la tasa de interés, menos importantes son los costos e ingresos que se generan en el futuro y mayor importancia tienen los costos cercanos al inicio del proyecto. No toma en cuenta la duración del proyecto.

## **1.2.2 Indicadores de Rentabilidad (Velocidad de Generación de Riqueza)**

### **1.2.2.1 Tasa Interna de Retorno (TIR)**

Corresponde a aquella tasa descuento que hace que el VPN del proyecto sea exactamente igual a cero. La TIR también es conocida como la tasa de rentabilidad producto de la reinversión de los flujos netos de efectivo dentro de la operación propia del negocio y se expresa en porcentaje. También es conocida como tasa crítica de rentabilidad cuando se compara con la tasa mínima de rendimiento requerida (tasa de descuento) para un proyecto de inversión específico. La evaluación de los proyectos de inversión cuando se hace con base en la TIR, toma como referencia la tasa de descuento. Si la TIR es mayor que la tasa de descuento, el proyecto se debe aceptar pues estima un rendimiento mayor al mínimo requerido, siempre y cuando se reinviertan los flujos netos de efectivo. Por el contrario, si la TIR es menor que la tasa de descuento, el proyecto se debe rechazar pues estima un rendimiento menor al mínimo requerido.

- Ventajas:
  - Puede calcularse utilizando únicamente los datos correspondientes al proyecto.
  - No requiere información sobre el costo de oportunidad del capital, coeficiente que es de suma importancia en el cálculo del VPN.
- Desventajas:
  - Requiere finalmente ser comparada con un costo de oportunidad de capital para determinar la decisión sobre la conveniencia del proyecto.

## **1.2.3 Indicadores Misceláneos**

### **1.2.3.1 Tiempo de Repago**

También conocido como periodo de recuperación de la inversión o *Payback*. Es un instrumento que permite medir el plazo de tiempo que se requiere para que los flujos

netos de efectivo de una inversión recuperen su costo o inversión inicial. El Periodo de Recuperación de la Inversión es considerado un indicador que mide tanto la liquidez del proyecto como también el riesgo relativo pues permite anticipar los eventos en el corto plazo. Es importante anotar que este indicador es un instrumento financiero que al igual que el VPN y la TIR, permite optimizar el proceso de toma de decisiones. Las principales desventajas que presenta este indicador son que ignora los flujos netos de efectivo más allá del periodo de recuperación; sesga los proyectos a largo plazo que pueden ser más rentables que los proyectos a corto plazo; ignora el valor del dinero en el tiempo cuando no se aplica una tasa de descuento o costo de capital. Estas desventajas pueden inducir a los inversionistas a tomar decisiones equivocadas.

### **1.2.3.2 Relación Costo Beneficio**

Consiste en obtener la razón entre los beneficios actualizados del proyecto y los costos actualizados del proyecto. Si ésta razón es mayor que uno, es decir los beneficios actualizados son mayores que los costos actualizados “El proyecto es económicamente factible”. Si el resultado es igual a uno, los beneficios igualan a los costos sin generar riqueza alguna. Por tal razón sería indiferente ejecutar o no el proyecto.

## **2 COMPARACIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE LA CORRIENTE DE GAS FLOREÑA CON LAS ESTABLECIDAS EN EL REGLAMENTO ÚNICO DE TRANSPORTE (RUT)**

### **2.1 CONDICIONES ACTUALES CORRIENTE DE GAS FLOREÑA**

La composición del gas tiene un gran impacto en la viabilidad económica de su tratamiento y en la selección del proceso. En general, un gas con una gran cantidad de hidrocarburos licuables, produce una gran cantidad de productos y aumenta las ganancias del proceso de tratamiento y/o recuperación. A su vez, un gas rico implica también una inversión mayor e procesos de refrigeración e intercambio de calor. Los gases pobres, generalmente requieren condiciones de proceso más severas (bajas temperaturas) con el fin de aumentar la eficiencia del proceso de recuperación. Generalmente, los gases se caracterizan por los galones por miles de pies cúbicos de hidrocarburos recuperables en el gas (propano, componentes más pesados, y a menudo aplicable a etano); lo anterior se expresa comúnmente como GPM. La otra consideración importante sobre la composición del gas natural es la especificación del gas de venta; la especificación de venta está por lo general asociada con un mínimo poder calorífico superior del gas (HHV por sus siglas en inglés *Higher Heating Value*); pero en algunos casos el máximo HHV también puede ser una consideración.

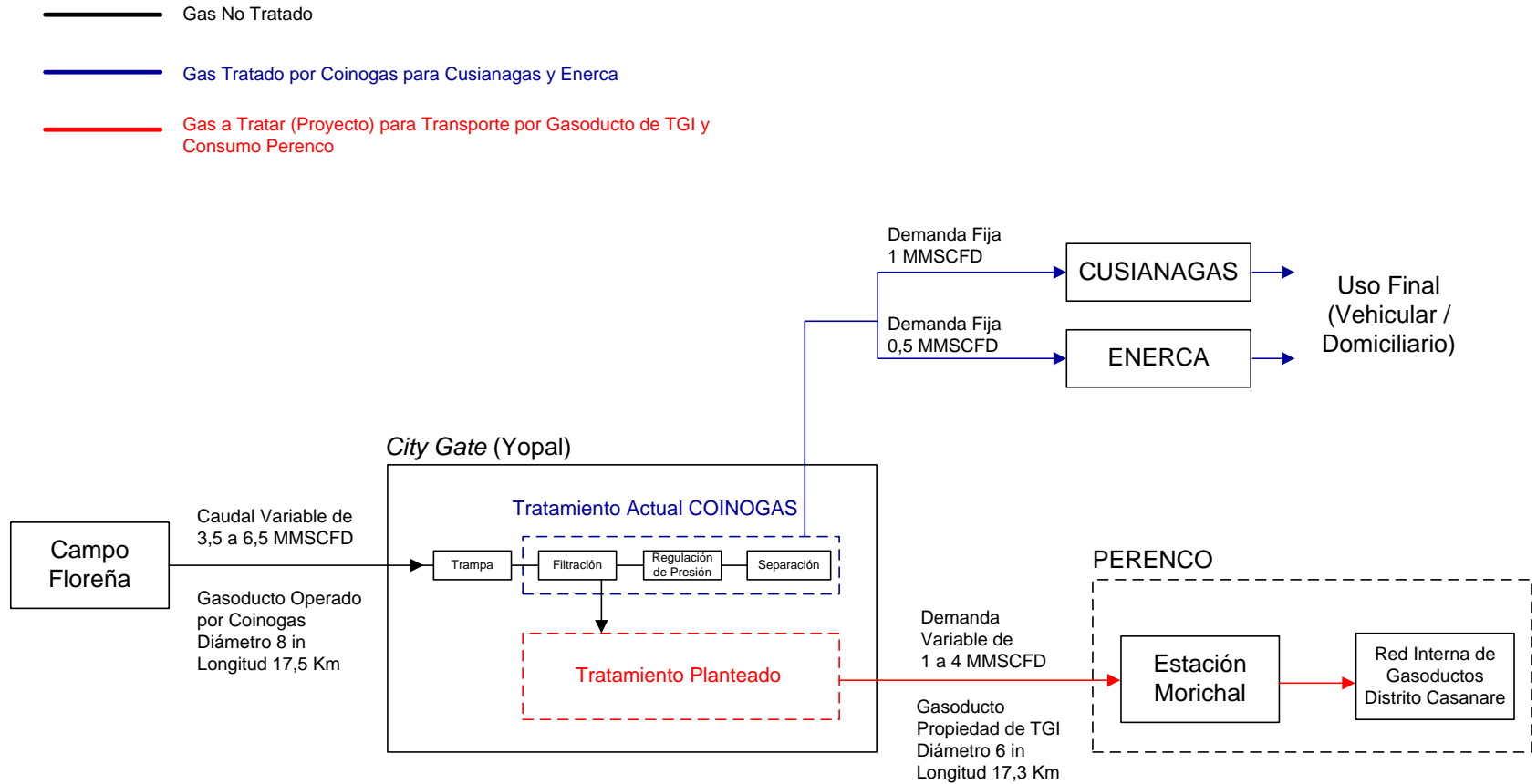
Teniendo en cuenta lo anterior, y a partir de las caracterizaciones tomadas de los históricos y expedientes del Campo Floreña, esta sección presenta las características de la corriente a tratar y la desviación de parámetros de la corriente de gas con respecto a la reglamentación existente. A partir de las condiciones actuales de la corriente de gas, en capítulos posteriores se plantea y justifica la selección más viable de tratamiento.

#### **2.1.1 Flujo de Proceso – Sistema Actual**

El flujo de proceso de la corriente de gas Floreña (Sistema Actual) se ilustra a continuación en la Figura 3. El gas sale de la estación Floreña ubicada en el corregimiento del Morro jurisdicción del Municipio de Yopal, a través de un ducto de 8" y 17,5 Km de longitud hasta su entrada en el *City Gate* de la ciudad de Yopal con una presión de 1200 psi. Una vez la corriente ingresa al *City Gate*, se filtra y al salir de los filtros se bifurca, una de las corrientes va para regulación y tratamiento para uso domiciliario e industrial (CUSIANA GAS, ENERCA y Base Perenco) y la otra, objeto de este estudio, se envía a la estación Morichal sin regulación ya que la presión de 1200 psi es la que se requiere para garantizar el flujo y la presión suficiente de gas para la operación de los equipos electromecánicos en las estaciones de producción de PERENCO COLOMBIA *Limited*, ubicadas por todo el Casanare con distancias que llegan hasta los 200 Km.

La corriente de gas se envía a la estación Morichal de Perenco a través del gasoducto propiedad de la empresa TGI. Como hace parte de la red nacional, a la corriente se le realiza un estricto control basado en la regulación establecida por el reglamento único de Transporte –RUT-.

**Figura 3. Flujo de Proceso Actual Corriente de Gas desde Campo Floreña hacia Perenco**



Fuente: Las Autoras.

## 2.1.2 Características Corriente de Gas Floreña

A continuación, en las Tablas 1 y 2, se presentan las características de la corriente de gas, con base en los históricos reportados por el Campo Floreña. En la Tabla 1 se presentan los resultados promedio de la caracterización de la corriente que sale del campo Floreña y en la Tabla 2 se presenta para la corriente que llega a la entrada del *City Gate* de la Ciudad de Yopal.

**Tabla 1. Caracterización de la Corriente de Gas de Salida Campo Floreña**

Fecha	Temp. °F	Presión Psig	% Molar										MW	Real Gas Gravity	Real Net Btu/soft (14.65psia, 60 F)	Real Gross Btu/soft (14.65psia, 60 F)	GPM C3+	HUMEDAD LB/MMSCF	H2S PPM
			Nitr. N2	Carbón Dioxide CO2	Methane CH4	Ethane C2H6	Propane C3H8	I-Butane C4H10	N-Butane C4H10	I-Pentane C5H12	N- Pentane C5H12	Hexanes Plus C6+							
27-sep-06	106	1200	0,44	2,95	78,40	9,35	4,46	1,26	1,48	0,70	0,42	0,53	21,64	0,7497	1115,75	1229,96			
27-nov-06	100	1201	0,46	2,96	78,48	9,40	4,58	1,21	1,39	0,65	0,39	0,48	21,55	0,7463	1110,38	1224,20			
30-ene-07	100	1200	0,48	2,99	77,89	9,50	5,06	1,30	1,43	0,52	0,31	0,53	21,71	0,7500	1116,74	1230,94	2,79		
03-jul-07	120	1174	0,61	2,85	80,20	9,20	4,34	1,04	1,08	0,39	0,21	0,08	20,71	0,7170	1068,38	1179,14			
23-dic-07	102	1180	0,48	2,32	80,79	9,11	4,44	1,05	1,18	0,35	0,20	0,07	20,57	0,7122	1075,54	1187,04			
27-ene-08	102	1206	0,48	2,83	81,25	8,79	3,93	0,94	1,04	0,32	0,18	0,24	20,51	0,7102	1060,85	1171,12			
22-may-08	111	1231	0,48	2,89	80,98	9,01	4,01	0,93	1,03	0,31	0,18	0,17	20,52	0,7105	1059,96	1170,14	3,04		
22-abr-09	116	1220	0,39	3,17	80,49	9,08	4,29	0,98	1,05	0,33	0,18	0,04	20,62	0,7140	1059,81	1169,91			
22-sep-09	116	1208	0,46	3,30	79,27	9,39	4,66	1,14	1,21	0,36	0,18	0,03	20,96	0,7257	1072,72	1183,68			
26-mar-10	114	1211	0,39	3,25	81,05	8,94	3,97	0,90	0,96	0,31	0,17	0,07	20,46	0,7084	1049,97	1159,34			
19-abr-10	103	1207	0,35	3,22	81,67	8,76	3,86	0,84	0,88	0,26	0,14	0,03	20,26	0,7016	1041,61	1150,40			
23-jun-10	113	1300	0,40	3,29	80,77	8,99	4,07	0,95	1,01	0,32	0,17	0,03	20,54	0,7110	1052,84	1162,40			
19-jul-10	112	1210	0,41	3,20	81,46	8,51	4,08	0,91	0,95	0,29	0,15	0,04	20,38	0,7057	1046,92	1156,08			
19-ago-10	108	1200	0,53	3,21	80,58	9,96	3,74	0,80	0,82	0,22	0,11	0,02	20,33	0,7040	1042,79	1151,60			
16-sep-10	116	1215	0,39	3,20	81,37	8,65	3,99	0,93	0,98	0,30	0,16	0,03	20,40	0,7063	1047,99	1151,23			
26-oct-10	113	1214	0,39	3,24	83,28	6,93	3,81	0,89	0,96	0,31	0,16	0,04	20,10	0,6960	1032,17	1140,27			
19-nov-10	113	1200	0,41	3,12	83,00	7,45	3,68	0,88	0,95	0,31	0,17	0,03	20,11	0,6960	1034,81	1143,14			
31-dic-10	119	1200	0,40	3,37	80,34	9,28	4,17	0,96	1,01	0,30	0,15	0,02	20,60	0,7133	1054,28	1163,91			
31-ene-11	113	1163	0,66	3,30	80,25	9,39	4,05	0,92	0,97	0,28	0,15	0,02	20,55	0,7115	1049,24	1158,44			
22-mar-11	114	1208	0,37	3,39	80,50	9,08	4,10	0,96	1,03	0,33	0,18	0,04	20,62	0,7139	1054,96	1164,64			
01-nov-11	115	1220	0,34	3,35	78,39	9,31	4,78	1,29	1,50	0,57	0,33	0,14	21,44	0,7427	1098,02	1210,84			
26-nov-11	116	1220	0,35	3,12	72,97	15,73	4,42	1,12	1,24	0,39	0,21	0,45	22,05	0,7641	1134,59	1250,08			
31-dic-11	119	1200	0,40	3,37	80,34	9,28	4,17	0,96	1,01	0,30	0,15	0,02	20,60	0,7133	1054,28	1163,91			
<b>Promedio Floreña</b>	<b>111,3</b>	<b>1208,2</b>	<b>0,44</b>	<b>3,12</b>	<b>80,16</b>	<b>9,26</b>	<b>4,20</b>	<b>1,01</b>	<b>1,09</b>	<b>0,37</b>	<b>0,20</b>	<b>0,14</b>	<b>20,75</b>	<b>0,72</b>	<b>1066,7</b>	<b>1177,1</b>	<b>2,92</b>		

Fuente: Expediente del Campo Floreña. Perenco Colombia Limited

**Tabla 2. Caracterización de la Corriente de Gas a la Entrada del City Gate**

Fecha	Temp.	Presión	% Molar										Mw	Real Gas Gravity	Real Net	Real Gross	GPM	HUMEDAD	H2S PPM
	F	Psig	Nitr.	Carbón Dioxide	Methane	Ethane	Propane	I-Butane	N-Butane	I-Pentane	N-Pentane	Hexanes Plus			Btu/soft (14.65psia, 60°F)	Btu/soft (14.65psia, 60°F)		C3+	
09-nov-06	86	1230	0,53	2,82	77,27	9,60	4,71	1,24	1,48	0,64	0,41	1,30	22,34	0,7710	1150,60	1267,50	3,09		
30-jun-07	82	1220	0,85	2,95	77,30	9,14	4,55	1,18	1,38	0,58	0,37	1,70	22,53	0,7780	1153,00	1270,00	3,13	0,92	2
23-abr-08	81	1215	0,08	3,31	78,92	8,00	4,19	1,80	1,93	0,25	0,24	0,94	22,22	0,7714	1140,30	1256,50	3,08	1,41	2
22-may-08	88	1258	0,53	3,29	78,35	9,25	4,69	1,18	1,34	0,50	0,30	0,57	21,59	0,7462	1100,70	1213,80	2,61	2,27	2
23-jun-08	80	1241	0,50	2,99	76,87	9,38	4,74	1,22	1,46	0,58	0,38	1,86	22,79	0,7907	1172,00	1290,40	3,31	2,79	2
20-ago-08	82	1260	0,49	3,05	77,20	9,54	4,86	1,20	1,46	0,59	0,39	1,22	22,31	0,7718	1143,70	1260,00	3,05	1,25	1,8
18-dic-08	81	1240	0,45	3,01	78,47	9,46	4,71	1,15	1,34	0,48	0,30	0,63	21,58	0,7475	1105,40	1218,60	2,63	2,29	1,9
23-ene-09	83	1200	0,46	3,12	78,74	9,55	4,71	1,13	1,24	0,44	0,25	0,36	21,30	0,7352	1089,90	1202,3	2,44	3,82	2,7
23-feb-09	86	1250	0,44	3,27	78,49	9,61	4,51	1,17	1,28	0,49	0,29	0,45	21,44	0,7403	1094,00	1206,70	2,48	3,8	2,08
14-jun-09	80	1160	0,45	3,36	75,04	9,68	5,04	1,49	1,86	0,79	0,50	1,79	23,30	0,8103	1183,20	1301,6	3,66		
22-jun-10	91	1160	0,42	3,39	77,13	9,24	4,69	1,31	1,49	0,65	0,40	0,21	22,43	0,7774	1144,90	1261,20	3,10		
09-may-11	87	1020	0,59	5,18	73,47	10,93	6,20	0,97	1,49	0,29	0,27	0,61	22,65	0,7832	1114,10	1227,60	2,94		
20-abr-12	82	1240	0,52	2,67	79,06	8,88	4,61	1,26	1,42	0,54	0,33	0,71	21,58	0,7457	1118,30	1233,10	2,73		
<b>Premedio City Gate</b>	<b>83,8</b>	<b>1207,2</b>	<b>0,49</b>	<b>3,26</b>	<b>77,41</b>	<b>9,40</b>	<b>4,79</b>	<b>1,25</b>	<b>1,47</b>	<b>0,52</b>	<b>0,34</b>	<b>0,95</b>	<b>22,16</b>	<b>0,76</b>	<b>1131,5</b>	<b>1245,9</b>	<b>2,94</b>	<b>2,32</b>	<b>2,06</b>

Fuente: Expediente del Campo Floreña. Perenco Colombia Limited

## 2.2 REGLAMENTO ÚNICO DE TRANSPORTE (RUT)

En Colombia el Congreso de la República a través de la Comisión Quinta del Senado se encarga de legislar asuntos relacionados con el tema de Minas y Energía. Con el fin de regular las actividades de los servicios públicos, hacia el año 1994 crea las Leyes 142 y 143 bajo las cuales surge la Comisión de Regulación de Energía y Gas –CREG-, como Unidad Administrativa Especial del Ministerio de Minas y Energía, una entidad eminentemente técnica cuyo objetivo es lograr que los servicios de energía eléctrica, gas natural y gas licuado de petróleo (GLP) se presten al mayor número posible de personas, al menor costo posible para los usuarios y con una remuneración adecuada para las empresas que permita garantizar calidad, cobertura y expansión.

Es función de la Comisión de Regulación de Energía y Gas regular el ejercicio de las actividades de los sectores de energía y gas combustible para asegurar la disponibilidad de una oferta energética eficiente, propiciar la competencia en el sector de minas y energía y proponer la adopción de las medidas necesarias para impedir abusos de posición dominante y buscar la liberación gradual de los mercados hacia la libre competencia. Posteriormente hacia el año 1996 la CREG estableció bajo la resolución 057, las bases para desarrollar un Código de Transporte y crea el Reglamento Único de Transporte de Gas Natural –RUT- que es un conjunto de normas que reglamentan la actividad de las empresas que prestan el Servicio de Transporte de Gas Natural y su interrelación con los demás agentes. La vigilancia al cumplimiento de esta reglamentación la realiza la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios SSPD.

El gas natural entregado al transportador por el agente, en el punto de entrada del sistema de transporte y por el transportador en el punto de salida, deberá cumplir con ciertas especificaciones de calidad. Según lo anterior, a continuación en la Tabla 3 se presentan las especificaciones que el gas natural debe cumplir para poder ser transportado por gasoductos.

**Tabla 3. Especificaciones de Calidad para el Gas Natural Según RUT**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor Normal (Sistema Internacional)</b>	<b>Valor Normal (Sistema Inglés)</b>
Máximo poder calorífico bruto (GHV)*	42.8 MJ/m <sup>3</sup>	1.150 BTU/ft <sup>3</sup>
Mínimo poder calorífico bruto (GHV)*	35.4 MJ/m <sup>3</sup>	950 BTU/ft <sup>3</sup>
Punto de rocío de los hidrocarburos a cualquier presión y para todos los pisos térmicos**	7.2 °C	45 °F
Contenido total de H <sub>2</sub> S máximo	6 mg/m <sup>3</sup>	0.25 grano/100SCF
Contenido total de azufre máximo	23 mg/m <sup>3</sup>	1.0 grano/100SCF
Contenido CO <sub>2</sub> , máximo en % volumen	2%	2%

Parámetro	Valor Normal (Sistema Internacional)	Valor Normal (Sistema Inglés)
Contenido de N <sub>2</sub> , máximo en % volumen	3%	3%
Contenido de inertes máximo en % volumen***	5%	5%
Contenido de oxígeno máximo en % volumen	0.1%	0.1%
Contenido máximo de vapor de agua	97 mg/m <sup>3</sup>	6.0 Lb/MSCF
Temperatura de entrega máximo	49 °C	120°F
Temperatura de entrega mínimo	7.2 °C	45 °F
Contenido máximo de polvos y material en suspensión****	1.6 mg/m <sup>3</sup>	0.7 grano/1000 ft <sup>3</sup>

Fuente: Reglamento Único de Transporte (RUT) de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), Diciembre de 1999.

\* Todos los datos sobre metro cúbico o pie cúbico de gas están referidos a Condiciones Estándar.

\*\* Los líquidos pueden ser: hidrocarburos, agua y otros contaminantes en estado líquido. En el RUT se establece que “el gas natural deberá entregarse con una calidad tal que no forme líquido, a las condiciones críticas de operación del Sistema de Transporte. La característica para medir la calidad será el *Cricodentherm* el cual será fijado para cada caso en particular dependiendo del uso y de las zonas donde sea utilizado el gas.”

\*\*\* Se considera como contenido de inertes la suma de los contenidos de CO<sub>2</sub>, nitrógeno y oxígeno.

\*\*\*\* El máximo tamaño de las partículas debe ser 15 micrones.

### 2.3 COMPARACIÓN CONDICIONES ACTUALES DE LA CORRIENTE DE GAS VS. CONDICIONES RUT

A partir de la información presentada en las subsecciones anteriores de este capítulo, a continuación en la Tabla 4 se establecen las desviaciones que presenta el gas Floreña en cuanto a su caracterización, con respecto a los parámetros que reglamenta el RUT.

**Tabla 4. Comparación Condiciones Gas Floreña Vs. Condiciones RUT**

Parámetro	Valor Normal (Sistema Internacional)	Valor Normal (Sistema Inglés)	Valor Gas Floreña	Desviación
Máximo poder calorífico bruto (GHV)	42.8 MJ/m <sup>3</sup>	1150 BTU/ft <sup>3</sup>	1246 BTU/ft <sup>3</sup>	96 BTU/ft <sup>3</sup>
Mínimo poder calorífico bruto (GHV)	35.4 MJ/m <sup>3</sup>	950 BTU/ft <sup>3</sup>	1132 BTU/ft <sup>3</sup>	Cumple

Parámetro	Valor Normal (Sistema Internacional)	Valor Normal (Sistema Inglés)	Valor Gas Floreña	Desviación
Punto de rocío de los hidrocarburos a cualquier presión y para todos los pisos térmicos	7.2 °C	45 °F	98.64 °F	53.64 °F
Contenido total de H <sub>2</sub> S máximo	6 mg/m <sup>3</sup>	0.25 grano/100SCF	2 mg/m <sup>3</sup>	Cumple
Contenido total de azufre máximo	23 mg/m <sup>3</sup>	1.0 grano/100SCF	-	-
Contenido CO <sub>2</sub> , máximo en % volumen	2%	2%	3.3%	1.3%
Contenido de N <sub>2</sub> , máximo en % volumen	3%	3%	0.5%	Cumple
Contenido de inertes máximo en % volumen	5%	5%	-	-
Contenido de oxígeno máximo en % volumen	0.1%	0.1%	-	-
Contenido máximo de vapor de agua	97 mg/m <sup>3</sup>	6.0 Lb/MMSCF	2.3 Lb/MMSCF	Cumple
Temperatura de entrega máximo	49 °C	120°F	91°F	Cumple
Temperatura de entrega mínimo	7.2 °C	45 °F	80 °F	Cumple
Contenido máximo de polvos y material en suspensión	1.6 mg/m <sup>3</sup>	0.7 grano/1000 ft <sup>3</sup>	-	-

Fuente: Expediente del Campo Floreña. Perenco *Colombia Limited*. Reglamento Único de Transporte (RUT) de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), Diciembre de 1999. Modificada.

A partir de los datos presentados en la Tabla 4, se establece que el gas entregado por gasoducto desde la estación Floreña hasta las estación Morichal de Perenco, se encuentra en un “límite crítico” según las especificaciones de calidad exigidas por el RUT. La mayor desviación se encuentra en los parámetros de poder calorífico y contenido de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Las desviaciones en los parámetros de calidad generan problemas de integridad y de combustión en equipos electromecánicos tanto para el transportador (Coinogas y TGI) como para el Operador (Perenco) debido a los problemas al interior de las facilidades de producción. A partir de la comparación se confirma la necesidad de plantear la presente evaluación técnico – económica con el fin de determinar el aprovechamiento del potencial energético del gas y de brindar una solución de suministro “confiable, segura y económicamente manejable”, mediante la aplicación de

la tecnología más adecuada que permita retirar los hidrocarburos líquidos del gas sin afectar la presión del sistema.

### **3 SELECCIÓN DE LA MEJOR TECNICA PARA EL TRATAMIENTO DE LA CORRIENTE DE GAS FLOREÑA**

#### **3.1 TRATAMIENTO PROPUESTO**

Como resultado del análisis comparativo desarrollado en la sección 2.3, a partir del cual se pudo establecer que el gas entregado por gasoducto desde la estación Floreña hasta la estación Morichal de Perenco se encuentra en un "límite crítico" según las especificaciones de calidad exigidas por el RUT; teniendo en cuenta que las mayores desviaciones se presentan en los parámetros de poder calorífico y contenido de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), y que la cromatografía de la corriente evidencia que el gas Floreña es un gas rico, se propone instalar en el *City Gate* de la Ciudad de Yopal una planta de tratamiento para endulzamiento, deshidratación, control de punto de rocío y recuperación y estabilización de condesados de la corriente de gas Floreña.

A continuación, en la Tabla 9, se presenta una comparación de las técnicas seleccionadas con otras técnicas de tratamiento. Las técnicas seleccionadas se encuentran resaltadas en la tabla teniendo en cuenta sus ventajas y aplicabilidad al caso de estudio.

**Tabla 5. Comparación de Métodos para Selección de la Mejor Alternativa de Tratamiento para el Caso de Estudio**

<b>ENDULZAMIENTO</b>			
<b>Técnica</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>	<b>Aplicabilidad al Caso de Estudio</b>
Absorción Química (Aminas)	Las reacciones que se presentan entre la solución y los gases ácidos son reversibles y por lo tanto la solución al salir de la torre se envía a regeneración disminuyendo consumo de solvente y por ende beneficiando la economía del proceso.	Cuando el gas tiene cantidades relativamente altas de CO <sub>2</sub> , algunos solventes pueden reaccionar irreversiblemente con dicho compuesto formando productos de degradación que obligan a sustituir con mayor frecuencia la solución de amina, incurriendo así en mayores costos de operación. Unidades con poca flexibilidad para ampliaciones.	Típicamente, en el tratamiento de gas se utilizan soluciones acuosas de aminas para remover H <sub>2</sub> S y CO <sub>2</sub> . El gas de carga proveniente del Campo Floreña es rico en CO <sub>2</sub> , por tanto la técnica aplica.
Adsorción Física (Tamices Moleculares)	Altamente selectiva. Es un proceso rápido cuya velocidad aumenta cuando aumenta la temperatura, pero desciende cuando aumenta la cantidad adsorbida.	Dado que los procesos de adsorción son generalmente exotérmicos, al aumentar la temperatura disminuye la cantidad adsorbida.	La tecnología aplica en la remoción del dióxido de carbono, pero este no es un proceso atractivo para altas tasas de flujo y/o grandes concentraciones de (CO <sub>2</sub> ).
Permeación (Membranas)	Unidades con buena flexibilidad para expansiones ya que son esencialmente modulares.	El efecto de separación no es absoluto y por lo tanto, siempre habrá pérdidas de hidrocarburos en la corriente de gas ácido.	Dado que la separación se logra aprovechando la ventaja de las diferencias de afinidad / difusividad, y que el H <sub>2</sub> O; H <sub>2</sub> S y CO <sub>2</sub> son altos difusores. La tecnología aplica ya que dichos compuestos pueden pasar a través de una membrana.
<b>DESHIDRATACIÓN</b>			
<b>Técnica</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>	<b>Aplicabilidad al Caso de Estudio</b>
Absorción del Agua con Glicoles	En la deshidratación de volúmenes relativamente grandes de gas natural a alta presión, los sistemas de deshidratación con glicoles resultan más económicos, para una disminución del punto de rocío alrededor de 50°F. Los glicoles son los desecantes líquidos más comunes. La frecuencia de regeneración es menor en comparación con otros procesos.	El glicol es susceptible a contaminación y puede resultar corrosivo.	La deshidratación con glicol es la más usada para la mayoría de las aplicaciones donde se requiere la deshidratación del gas natural para cumplir con las especificaciones de transporte en tuberías.

Adsorción del Agua con Lechos Sólidos	La deshidratación con desecantes sólidos es mucho más eficiente que la deshidratación con glicol, con esta técnica se alcanza menos de 0.05 LbH <sub>2</sub> O/MMPCS.	Generalmente las unidades con desecante sólido son más costosas que las unidades con glicol.	Al ser más costosas que las unidades con glicol, su uso está limitado a aplicaciones de gases con alto contenido de H <sub>2</sub> S, requerimientos de muy bajos valores de punto de rocío como en procesos criogénicos, y casos especiales como gases que contienen oxígeno.
<b>CONTROL DE PUNTO DE ROCÍO</b>			
<b>Técnica</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>	<b>Aplicabilidad al Caso de Estudio</b>
Separación a Baja Temperatura – Unidades LTS o Joule – Thompson (Unidades JT)	El proceso permite la remoción de hidrocarburos y agua en una misma unidad. Es un proceso sencillo, económico y es muy común que se encuentre montado en patines.	Altos requerimientos de presión para evitar caídas que estén por debajo de la presión especificada en el transporte, y por lo tanto, un proceso de compresión de gas que aumentaría los costos tanto de inversión como de operación de la unidad.	En el caso de estudio, el gas sale de la estación Floreña con una presión de 1200 psi y se envía a la estación Morichal sin regulación ya que la presión de 1200 psi es la que se requiere para garantizar el flujo y la presión suficiente de gas para la operación de los equipos electromecánicos en las estaciones de producción de PERENCO. El uso de una unidad JT en este caso no aplicaría porque la reducción de presión del gas incurriría en costos posteriores de recompresión para cumplir con la especificación de transporte.
Refrigeración Externa o Mecánica	La refrigeración mecánica es el proceso más simple, directo y confiable para la recuperación de NGL, evitando así la formación de líquido durante el transporte del gas y asegurando las especificaciones de entrega.	Requerimientos de potencia para operación del compresor. Unidades de larga entrega.	El proceso de refrigeración mecánica se puede utilizar para el control de punto de rocío de hidrocarburo cuando no se da prioridad a la recuperación de líquidos; premisa que aplicaría al caso de estudio.
Absorción con Aceite Pobre ( <i>Lean Oil Process</i> )	La torre de absorción puede operar a la presión del gas de alimentación con pérdidas de presión mínimas en la corriente de gas que sale del proceso.	Requiere gran cantidad de equipos de proceso con requerimientos excesivos de energía. La mayoría de las plantas de este tipo han sido paradas o reemplazadas por procesos más modernos de refrigeración.	En este caso de estudio, el uso de un aceite como absorbente (usualmente una mezcla de compuestos parafínicos de peso molecular de entre 100 y 200) incurriría en costos adicionales de compra y transporte del absorbente.

Fuentes: (GPSA). *Engineering Data Book*. JARAMILLO, Alonso. Diseño y Operación de Unidades para Procesamiento de Gas y Aplicaciones de Simulación de Procesos 2002. Modificada.

### 3.1.1 Flujo de Proceso – Sistema Propuesto<sup>5</sup>

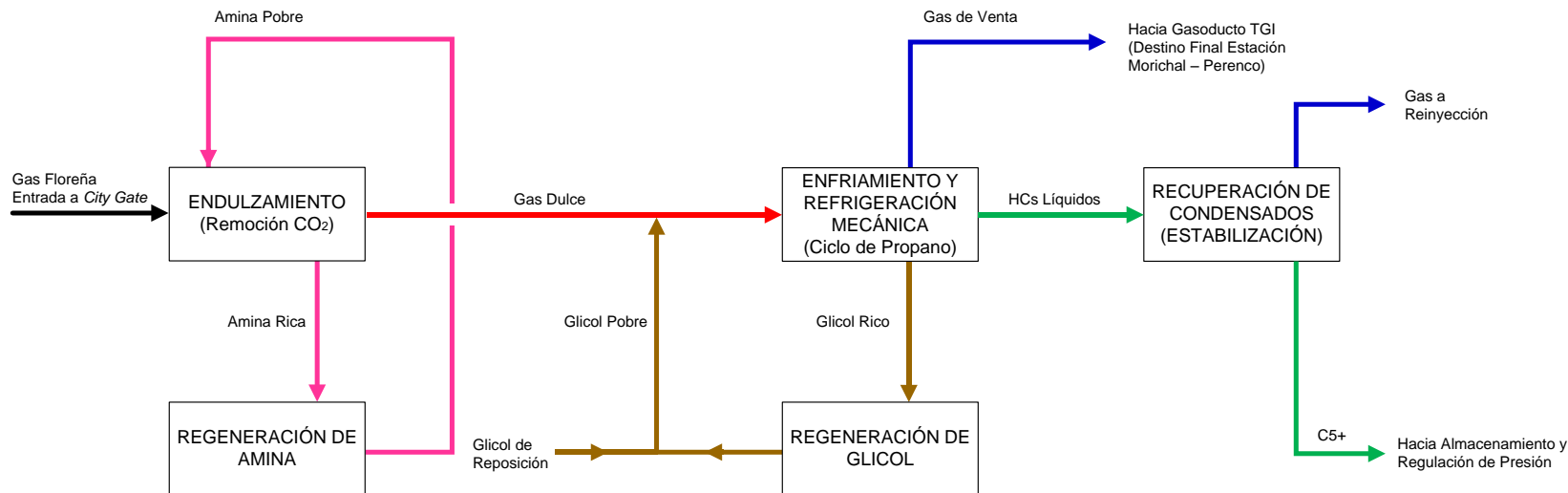
El esquema general del tratamiento de la corriente de gas Floreña se ilustra a continuación en la Figura 4. Diagrama de Bloques de Proceso – Sistema Propuesto. El gas de carga proveniente del Campo Floreña, y rico en CO<sub>2</sub>, se envía a una contactora de amina; por la parte superior de la contactora ingresa el solvente pobre disuelto con agua y en la medida que fluye hacia abajo entra en contacto con el gas rico que fluye en contracorriente. Cuando el gas alcanza la cima de la torre, casi todo el CO<sub>2</sub> se ha removido. El gas, ahora se denomina dulce y cumple con las especificaciones de contenido de CO<sub>2</sub>. El solvente rico en dióxido de carbono sale por el fondo de la contactora y se envía a un proceso de separación, precalentamiento y despojo por medio del cual se regenera. El solvente regenerado (solvente pobre) sale por el fondo de la torre despojadora, se enfría y se bombea nuevamente a la contactora de amina para cerrar el ciclo.

Teniendo en cuenta que el gas dulce que sale de la contactora está saturado con agua, se le inyecta una corriente de glicol para evitar la formación de hidratos debido a las bajas temperaturas que se alcanzan con los procesos de enfriamiento y refrigeración siguientes en el proceso. La corriente de gas pasa por el lado tubos de dos intercambiadores de calor que operan en serie, en donde se pre-enfría y condensa una pequeña porción de líquido, al ceder calor a las corrientes de gas e hidrocarburo líquido provenientes del separador de baja presión LTS que fluyen por el lado casco de los intercambiadores. Con el fin de recuperar los líquidos, el gas dulce y pre-enfriado pasa posteriormente por el lado tubos de un *chiller* en donde se condensa parcialmente con una corriente de propano refrigerante que fluye por el lado casco. A lo largo del proceso la corriente de propano refrigerante cumple con el siguiente ciclo: Sale del *chiller* totalmente vaporizada, se comprime y se envía a un *air cooler* en donde se condensa totalmente, luego se almacena en un acumulador. Al salir del acumulador el líquido refrigerante saturado se expande al pasar por una válvula diseñada para tal fin.

---

<sup>5</sup> Para mayor información, ver Anexo 1 del presente documento.

**Figura 4. Diagrama de Bloques de Proceso – Sistema Propuesto**



Fuente: Las Autoras.

Debido a la expansión, el propano se vaporiza parcialmente y entra de nuevo por el lado casco del *chiller* a una temperatura menor a la de la corriente de gas. El propano refrigerante sale de nuevo totalmente vaporizado por el lado casco del *chiller* e inicia otra vez el ciclo. Después del pre-enfriamiento y condensación parcial, la corriente de gas que sale por el lado tubos del *chiller* se envía a un separador de baja temperatura (LTS). Allí se separan tres fases, el hidrocarburo líquido y el gas, como se mencionó anteriormente, se utilizan como medios enfriantes al fluir por el lado casco de los intercambiadores que pre-enfrían la corriente de gas dulce proveniente de la contactora de amina y que recibe la inyección de glicol. Por la bota del LTS se separa la corriente de glicol rico y y; al igual que la corriente de amina, se envía a un proceso de regeneración.

En el proceso de regeneración, la corriente de glicol rico se precalienta con glicol regenerado (pobre) e ingresa a la torre regeneradora o despojadora de agua. La despojadora tiene un serpentín de cima a través del cual fluye el glicol rico para enfriar los vapores que ascienden desde el fondo de la torre, este enfriamiento genera un reflujo en la torre que permite minimizar las pérdidas de glicol en el vapor de agua despojada. Los vapores que ascienden desde el fondo de la despojadora se generan en un rehervidor de fondo diseñado para elevar la temperatura del glicol rico y propiciar el despojo de vapor de agua.

El glicol regenerado (pobre) sale por el fondo de la despojadora, precalienta la corriente de glicol rico y se mezcla con una corriente de glicol de reposición (*make-up*). Después se bombea y, como se mencionó anteriormente, se mezcla con la corriente de gas dulce que se dirige al proceso de enfriamiento y refrigeración. Las corrientes de hidrocarburo líquido y gas que pre-enfrían la corriente de gas dulce, salen por el lado casco de los intercambiadores. La corriente de hidrocarburo líquido se envía a una torre de estabilización, en donde se retiran por la cima componentes livianos como nitrógeno, CO<sub>2</sub>, metano y etano, obteniéndose por el fondo un producto líquido rico en GLP y condensados (C5+). Los condensados se almacenan en condiciones adecuadas en un tanque de condensados quedando a disposición para transferencia y transporte. La corriente de gas se envía como gas de ventas hacia la estación Morichal de Perenco a través del gasoducto propiedad de TGI. Según el proceso de tratamiento descrito, la corriente de gas proveniente de Floreña sale del *City Gate* cumpliendo todas las especificaciones establecidas por el RUT (HHV, CO<sub>2</sub>, presión, temperatura, entre otras). Desde este punto en adelante, hasta la llegada a la estación Morichal, las condiciones de entrega son responsabilidad del transportador (TGI).

### **3.2 SIMULACIONES DE PROCESO - ESCENARIOS DE MÍNIMO Y MÁXIMO FLUJO**

El propósito de esta sección es presentar los casos de estudio desarrollados y simulados en estado estable mediante el Simulador de Procesos *Aspen Hysys V7.3*, según el proceso de tratamiento propuesto en la sección 3.1. Por medio del *software* fue posible simular el comportamiento de las variables en cada uno de los procesos unitarios que conforman el tratamiento sugerido. Con la simulación del proceso se evaluó numéricamente y se validó el sistema propuesto para tratar la corriente de gas Floreña y llevarla de las condiciones específicas de entrada a las condiciones requeridas en la salida, según las especificaciones que establece el RUT. Los resultados obtenidos se presentan continuación.

#### **3.2.1 Casos de Estudio**

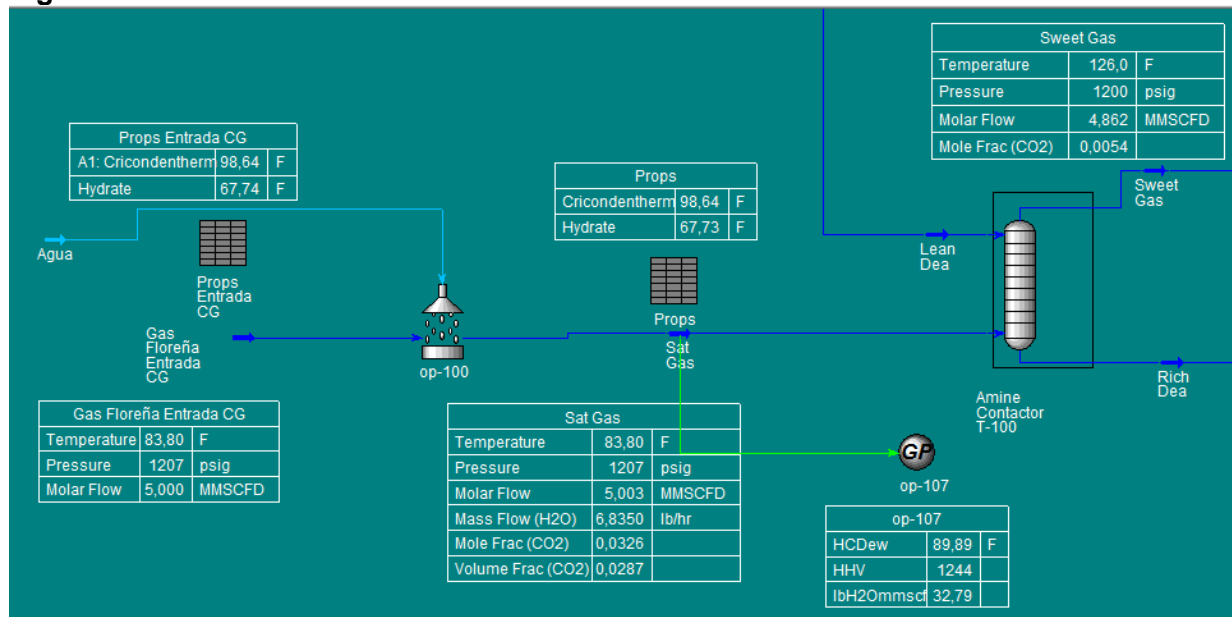
Como se mencionó anteriormente, en la actualidad Perenco tiene como fuente principal energética gas natural para la operación y producción de 5 contratos en el Departamento de Casanare (Colombia). La demanda de gas de Perenco es de 7 MMSCFD; 5 MMSCFD son producidos por los pozos de su propiedad (Morichal y Tocaría) y 2 MMSCFD son comprados a las compañías Ecopetrol y Equión de la producción del campo Floreña. Dependiendo de la producción de los pozos Morichal y Tocaría, la cantidad de gas comprado de la producción del campo Floreña puede variar. Si la producción de los pozos de Perenco aumenta a 5 MMSCFD, se compran 2 MMSCFD provenientes del campo Floreña; si por el contrario, la producción de Perenco decrece a 2 MMSCFD, la compra de gas aumenta a 5 MMSCFD.

Por las razones anteriores, el presente estudio se desarrollará bajo los escenarios de flujo mínimo y máximo de gas desde el campo Floreña hasta la entrada al *City Gate* de la ciudad de Yopal de 2 y 5 MMSCFD, respectivamente. Cabe resaltar que actualmente se adelantan y desarrollan proyectos paralelos para el tratamiento de las corrientes de gas producidas por los pozos de Perenco, según lo anterior, el alcance de los casos de estudio se limita a la corriente de gas producido por el campo Floreña.

Para cumplir con la normatividad vigente en cuanto material particulado, todo el gas que se recibe en el *City Gate* proveniente desde el campo Floreña se pre-filtra antes de bifurcarse; el sistema de filtración allí instalado retiene partículas mayores a 5 micrones de la corriente de gas. Como se mencionó en secciones anteriores, una parte de la corriente que se separa es tratada por Coinogas con destino final empresas Cusiana Gas y Enerca (1.5 MMSCFD). La otra parte de la corriente separada es la que tiene como destino final la estación Morichal de Perenco. Teniendo en cuenta que el RUT reglamenta que el máximo tamaño de las partículas debe ser 15 micrones, se establece que la corriente de interés de este estudio ya cumple con dicha especificación. Para los dos casos de estudio, 2 y 5 MMSCFD, la composición de la corriente de gas Floreña<sup>6</sup>, las condiciones de entrada del gas y las condiciones requeridas de salida son las mismas.

Según lo anterior, aunque se presenten esquemas para las dos corridas y para efectos de descripción y análisis, en esta sección se hará referencia a los resultados obtenidos para la corrida con 5MMSCFD. En la sección 3.3 del presente documento, Tabla 5, se presentan los resultados generales para la corrida con 2 MMSCFD. A continuación se ilustran las condiciones iniciales de la corriente de gas. Como lo presentan los esquemas, la única variación en las condiciones de entrada sería con respecto a la cantidad de flujo de gas Floreña a tratar. Debido a que las caracterizaciones del gas (cromatografía) se presentaron en base seca, para el desarrollo de las simulaciones se saturó la corriente con el fin determinar el contenido de agua en la corriente de gas de entrada.

**Figura 5. Condiciones de Entrada Corriente de Gas Floreña - 5 MMSCFD**



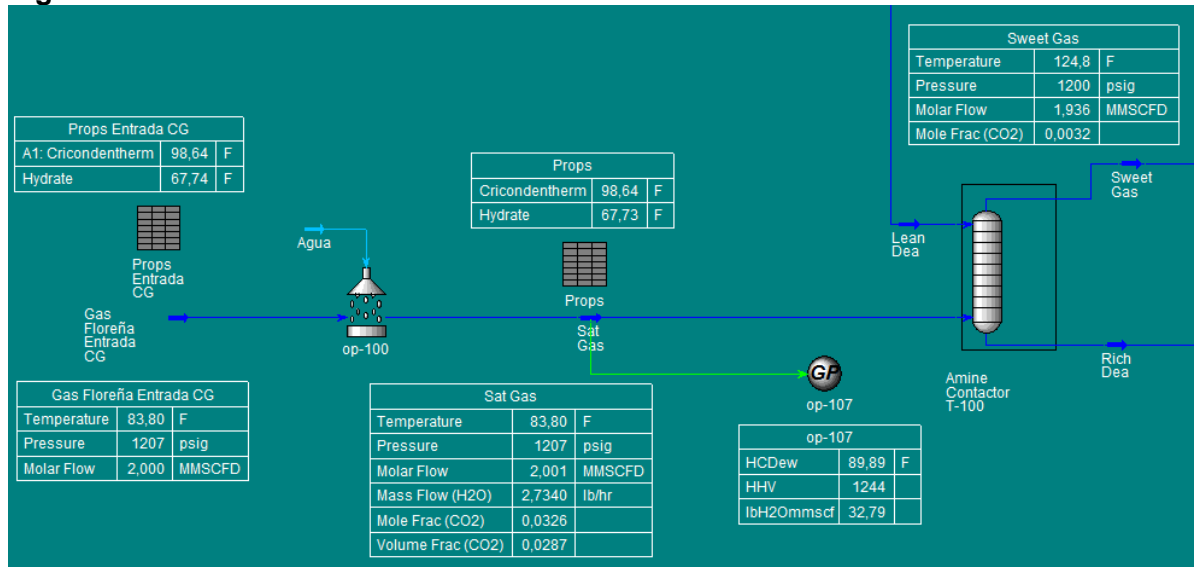
Fuente: Las Autoras.

El gas de entrada, rico en CO<sub>2</sub> se trata en una contactora de amina (Dietanolamina) para cumplir con la reglamentación máxima de 2% volumen.

<sup>6</sup> Tabla 2 Caracterización de la Corriente de Gas a la Entrada del *City Gate* – *Fila Promedio City Gate*

El gas que sale por la cima de la contactora se denomina gas dulce dado que reduce su contenido de CO<sub>2</sub> de 3.26 a 0.54 % volumen cumpliendo con la reglamentación.

**Figura 6. Condiciones de Entrada Corriente de Gas Floreña 2 MMSCFD**



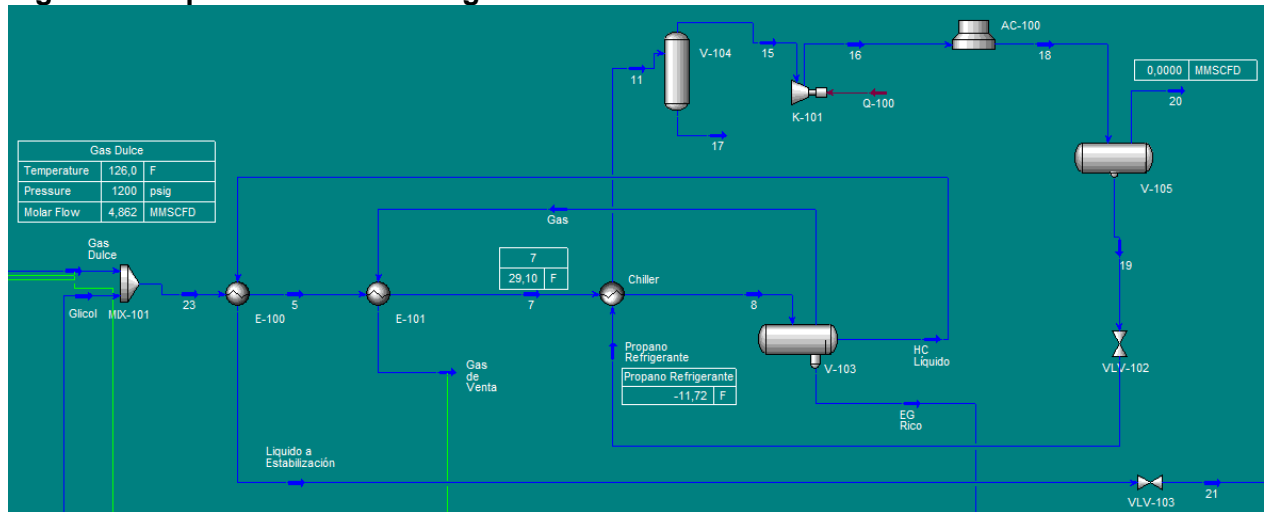
Fuente: Las Autoras.

El solvente utilizado en la simulación es DEA, escogido ya que cuando el gas tiene cantidades relativamente altas de CO<sub>2</sub>, otros solventes como la MEA pueden reaccionar irreversiblemente con dicho compuesto formando productos de degradación que obligan a sustituir con mayor frecuencia la solución de amina, incurriendo así en mayores costos de operación. El uso de la DEA conduce a menores flujos de circulación ya que permite operar en concentraciones de solución pobre mayores que la MEA 30% y 20%, respectivamente. Al estar el gas dulce que sale de la contactora saturado con agua, a la corriente de gas dulce de entrada a la sección de enfriamiento y refrigeración mecánica se le inyecta glicol para evitar la formación de hidratos.

La corriente mezcla de gas y glicol entra por el lado tubos de dos intercambiadores de calor en donde se pre-enfría y condensa una pequeña porción de líquido, al ceder calor a las corrientes de gas e hidrocarburo líquido provenientes del separador de baja presión LTS. Con el fin de recuperar los líquidos el gas pre-enfriado pasa posteriormente por el lado tubos del *chiller* en donde se condensa parcialmente con la corriente de propano refrigerante que fluye por el lado casco. A lo largo del proceso la corriente de propano refrigerante sale del *chiller* totalmente vaporizada, se comprime y se envía al *air cooler* en donde se condensa totalmente, luego se almacena en el acumulador. Al salir del acumulador el propano saturado se expande al pasar por la válvula diseñada para tal fin.

Debido a la expansión, el propano se vaporiza parcialmente (pasa de tener una fracción de vapor de 0 a una fracción de vapor de 0.48 a la salida de la válvula de expansión) y entra de nuevo por el lado casco del *chiller* a una temperatura menor a la de la corriente de gas. El propano refrigerante sale de nuevo totalmente vaporizado por el lado casco del *chiller* (fracción de vapor igual a 1) e inicia otra vez el ciclo.

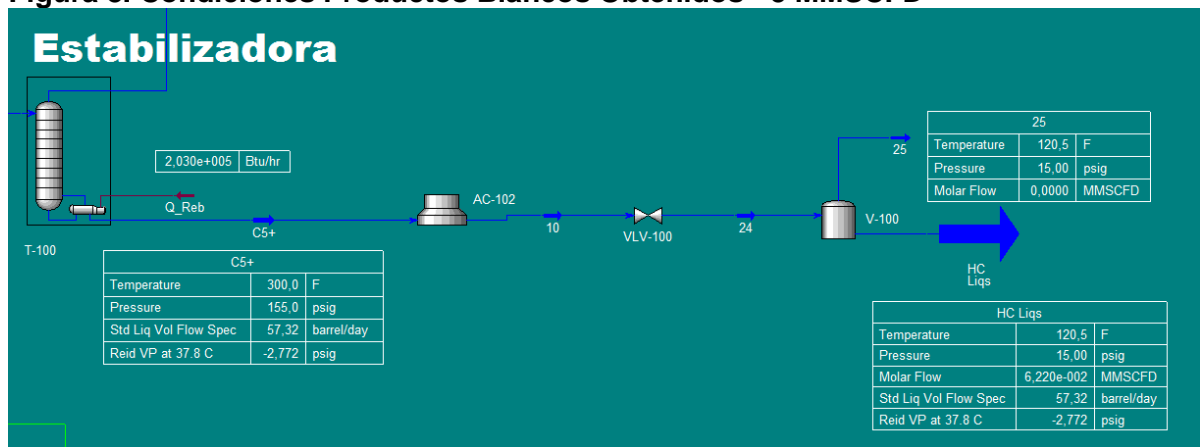
**Figura 7. Esquema General Refrigeración Mecánica**



Fuente: Las Autoras.

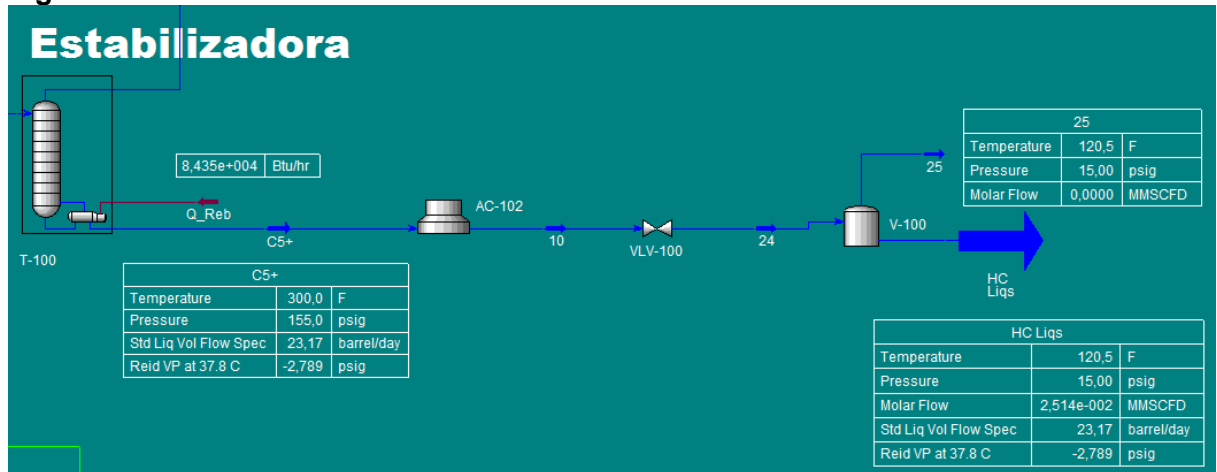
La corriente de gas que sale por el lado tubos del *chiller* se envía al separador de baja temperatura (LTS) en donde se separan tres fases: hidrocarburo líquido y gas, que se utilizan como medios enfriantes al fluir por el lado casco de los intercambiadores gas-líquido y gas-gas; por la bota del LTS se separa la corriente de glicol rico que; al igual que la corriente de amina, se envía a un proceso de regeneración. Las corrientes de hidrocarburo líquido y gas del LTS, salen por el lado casco de los intercambiadores. La corriente de hidrocarburo líquido se envía a una torre de estabilización, en donde se retiran por la cima componentes livianos como nitrógeno, CO<sub>2</sub>, metano y etano, obteniéndose por el fondo un producto líquido rico en GLP y condensados (C5+). El gas de cima sale a 150 psig y se reinyecta a la línea de gas de consumo Base Perenco que opera a 60 psig. Los condensados se almacenan en condiciones adecuadas en un tanque de condensados quedando a disposición para transferencia y transporte. Como se ilustra a continuación en la Figura 8, se recuperan 57.32 BPD de hidrocarburos líquidos con una RVP @ 100 °F (37.8 °C) de 11,92 psia (-2.772 psig), razón por la cual no hay formación de gas durante el almacenamiento.

**Figura 8. Condiciones Productos Blancos Obtenidos - 5 MMSCFD**



Fuente: Las Autoras.

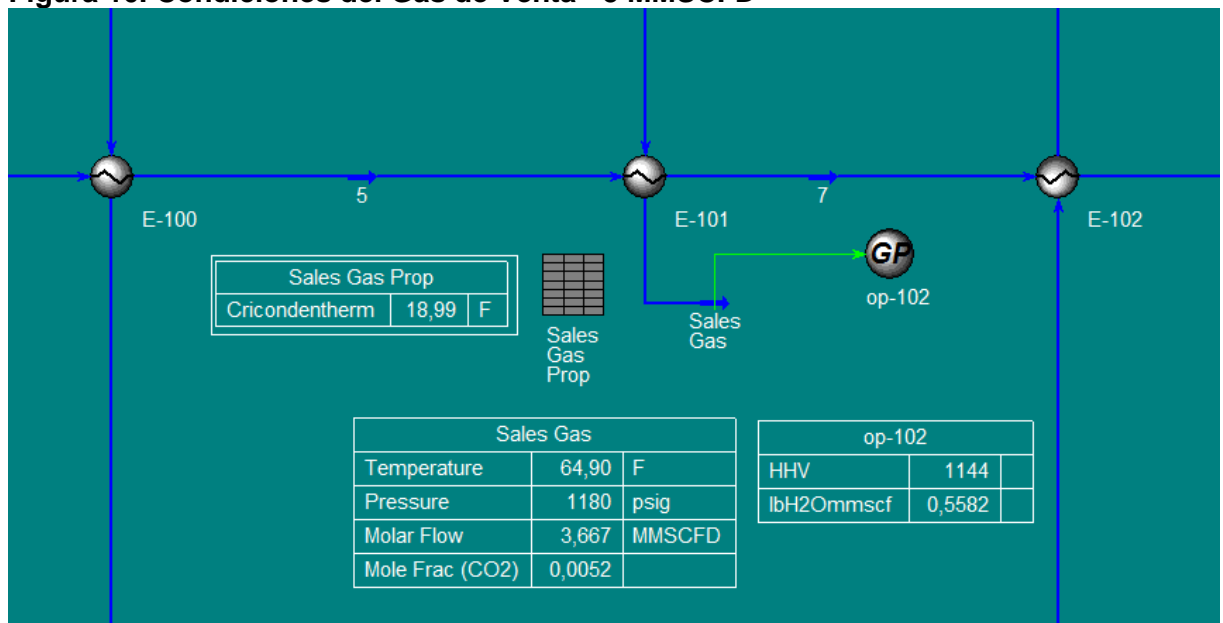
**Figura 9. Condiciones Productos Blancos Obtenidos - 2 MMSCFD**



Fuente: Las Autoras.

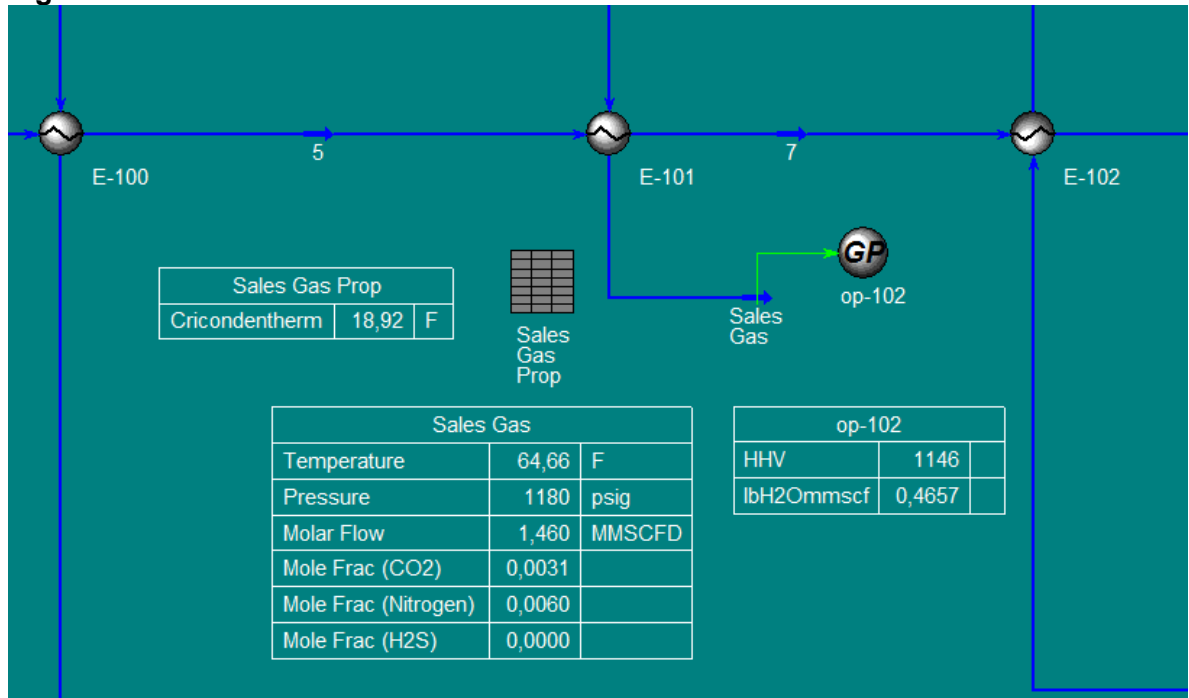
Como se representa a continuación en la Figura 10, la corriente que sale por el lado casco del intercambiador de calor gas-gas es la corriente que se envía como gas de ventas hacia la estación Morichal de Perenco a través del gasoducto propiedad de TGI. Como resultado del tratamiento propuesto, la corriente de gas sale del *City Gate* cumpliendo las especificaciones establecidas por el RUT y que se encontraban en límites críticos previo al tratamiento (HHV, CO<sub>2</sub>, presión, y temperatura, entre otras). Después del tratamiento propuesto en este estudio, se garantizan las condiciones de entrega del gas de ventas en la salida del *City Gate* de la ciudad de Yopal con una presión de 1195 psia (1180 psig); desde este punto en adelante, hasta la llegada a la estación Morichal, las condiciones de entrega son responsabilidad del transportador (TGI).

**Figura 10. Condiciones del Gas de Venta - 5 MMSCFD**



Fuente: Las Autoras.

**Figura 11. Condiciones del Gas de Venta - 2 MMSCFD**



Fuente: Las Autoras.

### 3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS ALTERNATIVA PROPUESTA

Al igual que en la sección 2.3 del presente documento, a continuación en la Tabla 6 se presentan los resultados obtenidos por simulación para las corridas con 2 y 5 MMSCFD, y se comparan con los parámetros reglamentados por el RUT. A partir de la comparación se evidencia técnicamente la viabilidad de la alternativa de tratamiento seleccionada en este estudio.

**Tabla 6. Condiciones de Entrada Vs. Condiciones de Salida del Gas de Venta**

Parámetro	Valor Establec. RUT	Valor Gas Floreña Entrada	Valor Gas Floreña Salida – 2 MMSCFD	Valor Gas Floreña Salida – 5 MMSCFD	Desviación
Máximo poder calorífico bruto (GHV)*	1150 BTU/ft <sup>3</sup>	1245.9 BTU/ft <sup>3</sup>	1146 BTU/ft <sup>3</sup>	1144 BTU/ft <sup>3</sup>	Cumple
Mínimo poder calorífico bruto (GHV)*	950 BTU/ft <sup>3</sup>	1245.9 BTU/ft <sup>3</sup>	1146 BTU/ft <sup>3</sup>	1144 BTU/ft <sup>3</sup>	Cumple
Pto. de rocío de los hidrocarburos a cualquier presión y para todos los pisos térmicos (Máx. Cricodent.)**	45 °F	98.64 °F	18.92 °F	18.99 °F	Cumple

Parámetro	Valor Establec. RUT	Valor Gas Floreña Entrada	Valor Gas Floreña Salida – 2 MMSCFD	Valor Gas Floreña Salida – 5 MMSCFD	Desviación
Contenido total de H <sub>2</sub> S máximo	6 mg/m <sup>3</sup>	2 mg/m <sup>3</sup>	0 mg/m <sup>3</sup>	0 mg/m <sup>3</sup>	Cumple
Contenido total de azufre máximo	23 mg/m <sup>3</sup>	-	-	-	-
Contenido CO <sub>2</sub> , máximo en % volumen	2%	3.3%	0.31%	0.52%	Cumple
Contenido de N <sub>2</sub> , máximo en % volumen	3%	0.5%	0.60%	0.60%	Cumple
Contenido de inertes máximo en % volumen***	5%	3.8%	0.91%	1.12%	Cumple
Contenido de oxígeno máximo en % volumen	0.1%	-	-	-	-
Contenido máximo de vapor de agua	6.0 Lb/MMSC F	2.3 Lb/MMSC F	0.47 Lb/MMSC F	0.59 Lb/MMSC F	Cumple
Temperatura de entrega máximo	120°F	91°F	64.66°F	64.90°F	Cumple
Temperatura de entrega mínimo	45 °F	80 °F	64.66°F	64.90°F	Cumple
Contenido máximo de polvos y material en suspensión****	1.6 mg/m <sup>3</sup>	-	-	-	-

Fuente: Las Autoras.

\* Todos los datos sobre metro cúbico o pie cúbico de gas están referidos a Condiciones Estándar.

\*\* Los líquidos pueden ser: hidrocarburos, agua y otros contaminantes en estado líquido. En el RUT se establece que “el gas natural deberá entregarse con una calidad tal que no forme líquido, a las condiciones críticas de operación del Sistema de Transporte. La característica para medir la calidad será el *Cricondentherm* el cual será fijado para cada caso en particular dependiendo del uso y de las zonas donde sea utilizado el gas.”

\*\*\* Se considera como contenido de inertes la suma de los contenidos de CO<sub>2</sub>, nitrógeno y oxígeno.

\*\*\*\* El máximo tamaño de las partículas debe ser 15 micrones.

## 4 ANÁLISIS ECONÓMICO

Como base para el desarrollo de una buena y aterrizada evaluación económica, se usará el *Software Aspen Process Economic Analyzer* (APEA), una herramienta que permite hacer la evaluación económica de procesos porque estima los costos de capital y de operación, de modo que puede generar flujos de caja, a partir de los cuales se hace el estudio de rentabilidad. Por medio de la herramienta, se puede hacer un dimensionamiento básico de los equipos, a partir del cual se estima su costo. Una característica destacable del programa es que la estimación de los costos de instalación, instrumentación, tubería, etc., no se calcula con un porcentaje del costo de los equipos, sino que sigue modelos de instalación rigurosos basados en el diseño de cada equipo.

Con el fin de evaluar la rentabilidad económica de la recuperación de condensados vs. la inversión en infraestructura y los costos de operación (Opex), se analizan dos escenarios de máximo (5 MMSCFD) y mínimo (2 MMSCFD) flujo de gas. De acuerdo con los resultados obtenidos en el capítulo anterior, bajo el escenario de máximo flujo se recuperan 2407 galones por día (57,32 bopd) de condensados (C5+) y bajo el escenario de flujo mínimo 973 galones por día (23,17 bopd).

### 4.1 PREMISAS

Con el objetivo de cuantificar los dos escenarios de análisis, se realiza un presupuesto general basado en las siguientes consideraciones:

- Los precios de los equipos fueron tomados de los resultados obtenidos con el *software* APEA como una aproximación de los costos comerciales del mercado actual.
- Para establecer el precio del galón de condensado obtenido en la planta, se tomó como referencia el precio de un galón de producto destilado nafténico<sup>7</sup>, 3,64 USD/Galón.
- El precio del Kilogramo de DEA<sup>8</sup> (Dietanolamina) utilizado para el análisis es de USD \$1,8/Kg.
- La tasa de cambio representativa del mercado correspondiente a un dólar de los Estados Unidos de Norteamérica equivale a COP \$1830/USD\$.

### 4.2 INVERSIONES (CAPEX)

Para hacer los análisis económicos, se hará una proyección a 7 años, teniendo en cuenta la información del Contrato de Gas en Firme celebrado entre las empresas Perenco Colombia *Limited* y B.P., hoy Equión y Ecopetrol, sobre el pronóstico de producción de gas del campo Floreña hasta el año 2020, sostenible para un envío de gas superior a 2 MMSCFD.

---

<sup>7</sup> <http://www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=192&conID=36336&pagID=129391>

<sup>8</sup> <http://www.quiminet.com/productos/dea-21542303/precios.htm>

Como parte primordial de la definición de costos, en la Tabla 7 se establece el costo del equipo para el escenario de máximo flujo y en la Tabla 8 para el escenario de mínimo flujo.

**Tabla 7. Costos de Equipo Mayor para el City Gate Yopal – Escenario Máximo Flujo**

<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Costo Total (USD\$)</b>
3	Aero-Enfriadores ( <i>Air Cooler</i> )	215.800
1	Torre Contactora de Amina	905.200
1	Torre Contactora de Glicol	657.000
14900 Lb/h <sup>9</sup>	Dietanolamina	23.760
6	Intercambiadores de Calor	423.700
1	Separador de Baja Temperatura (LTS)	89.700
4	Recipientes de Almacenamiento	226.000
3	Bomba Centrífuga	237.000
1	Compresor Centrífugo	699.248
1	Generador a Gas (350 Kw)	504.979
<b>Total USD</b>		<b>3.928.387</b>

Fuente: Bases de *Software Aspen Process Economic Analyzer* (APEA), modificado por las autoras.

**Tabla 8. Costos de Equipo Mayor para el City Gate Yopal – Escenario Mínimo Flujo**

<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Costo Total (USD\$)</b>
3	Aero-Enfriadores ( <i>Air Cooler</i> )	203.400
1	Torre Contactora de Amina	853.700
1	Torre Contactora de Glicol	574.500
14900 Lb/h <sup>10</sup>	Dietanolamina	23.760
6	Intercambiadores de Calor	343.000
1	Separador de Baja Temperatura (LTS)	79.500
4	Recipientes de Almacenamiento	226.000
3	Bombas Centrífugas	198.400
1	Compresor Centrífugo	637.009
1	Generador a gas (375 Kw)	504.979
<b>Total USD</b>		<b>3.644.248</b>

Fuente: Bases de *Software Aspen Process Economic Analyzer* (APEA), modificado por las autoras.

<sup>9</sup> Consumo puntual que se mantiene en circulación a lo largo del ciclo operativo. Su reposición varía dependiendo la pérdida de concentración de amina y se toma como un costo operativo.

<sup>10</sup> *Ibidem*.

Como complemento del costo de los equipos, se tienen las obras de instalación de los mismos, en las que se involucra el recurso humano y los materiales menores.

Para ambos escenarios el costo de las obras es igual ya que, aunque la capacidad del equipo varíe de acuerdo al caudal de gas a tratar, la dimensión de los equipos a instalar es la misma. En la Tabla 9 se resumen los costos de las diferentes obras necesarias para la modificación del *City Gate* Yopal.

**Tabla 9. Costos de Obras - Escenarios de Máximo y Mínimo Flujo**

<b>Descripción</b>	<b>Costo Material (USD\$)</b>	<b>Costo HH (USD\$)</b>
Obra mecánica (Incluye Tubería, Válvulas y Accesorios).	457.000	366.000
Obra Civil (Incluye Materiales)	170.917	111.089
Obra de Instrumentación (Incluye Materiales)	1.041.388	265.539
Obra Eléctrica y aislamiento (Incluye Materiales)	545.089	181.468
Pintura (Incluye Materiales)	16.569	39.693
<b>Total USD</b>	<b>3.194.752</b>	

Además de las inversiones anteriores, se tiene la compra de terreno; el cual es de aproximadamente una hectárea por un valor de USD \$45.000, teniendo en cuenta que en el área actual del *City Gate* no se cuenta con espacio suficiente para la ubicación e instalación de los equipos propuestos en este estudio.

En resumen, para el escenario de máximo flujo la inversión total requerida, incluido un *Overhead* del 15%, es de USD \$8.305.460; y para el escenario de mínimo flujo la inversión total requerida, incluido también un *Overhead* del 15%, es de USD \$7.916.660.

**Tabla 10. Resumen Total Inversiones – CAPEX**

<b>Inversiones - CAPEX (USD\$)</b>	<b>Escenario Máximo Flujo</b>	<b>Escenario Mínimo Flujo</b>
<b>Equipos</b> Torres contactoras, compresores, bombas, intercambiadores, tanques de almacenamiento, Generador.	3.982.387	3.644.248
<b>Obras</b> Eléctrica, mecánica, civil e Instrumentación. (Incluye materiales y Mano de Obra)	3.194.752	3.194.752
<b>Terrenos y Gestión Inmobiliaria</b>	45.000	45.000
<b>Subtotal</b>	7.222.139	6.884.000
<b>Overhead (15%)</b>	1.083.321	1.032.600
<b>Total USD</b>	<b>8.305.460</b>	<b>7.916.600</b>

Fuente: Las Autoras.

### 4.3 GASTOS DE OPERACIÓN (OPEX)

Para el cálculo del OPEX, se asume un incremento anual del 4%, tomando como referencia el IPC. A continuación se desglosan los costos directos e indirectos cargados al OPEX para los dos escenarios:

- Planta de tratamiento: Se estima que en un plazo de cinco (5) años de entrada en funcionamiento deberá realizarse una reparación cuyo valor corresponde al 10% del valor original.
- Equipos electromecánicos (Bombas, Compresor y Generador): Se estima un mantenimiento mecánico y eléctrico, preventivo y correctivo, correspondiente al 7% sobre ingresos.
- Materiales, repuestos, herramientas menores y productos necesarios para la operación: Se estima un 13% sobre ingresos. En esta línea se incluye el consumo del Etilenglicol; para una carga necesaria de 160 Lb/h y una reposición (*make-up*) de 0,2 Lb/h, a un precio de USD \$1/L. En este costo se incluye también el costo de reposición de DEA; como se explicó anteriormente para mantener la circulación de la solución de amina se requiere poco cerca del 3%, porque gracias a la regeneración se mantiene en la concentración adecuada. Por tanto solo su costo de reposición está contemplado en esta línea.
- Nómina: La operación se manejará con una nómina de, dos (2) operadores de planta con turno de 12 horas cada uno, un (1) técnico de instrumentación y medición con turno de 8 horas, un (1) Ingeniero de procesos y un (1) Ingeniero HSE de operación alterna en campo y oficina. Por tanto se estima un 20% sobre ingresos.
- *Catering*: Hace referencia al hospedaje y alimentación del personal de planta, y al mantenimiento de las instalaciones. Se estima un costo de USD \$47.200 anuales.
- Transporte: Tiene en cuenta el alquiler de una camioneta con su combustible, necesaria para las operaciones y desplazamiento del personal. Respecto al transporte de los productos blancos obtenidos (C5+), se asume que se venderán en sitio. Se estima un costo de USD \$25.600 anuales.
- Sistemas y comunicaciones: Se estima un presupuesto de USD \$7.000 anuales.

Una vez integrados los estimados de los costos de inversión y los costos de operación, se establece el estado de pérdidas y ganancias (P&G), y posteriormente se desarrolla el flujo de caja del proyecto en una hoja de cálculo desarrollada por las autoras para este estudio. Se procede a realizar un análisis de rentabilidad y de sensibilidad en función de indicadores económicos para definir si existe alguna alternativa económicamente viable.

En las Tablas 11 y 12 se presentan los Indicadores Financieros producto del análisis para los escenarios de Máximo Flujo (5 MMSCFD) y Mínimo Flujo (2 MMSCFD), respectivamente.

**Tabla 11. Indicadores Financieros – Escenario Máximo Flujo**

Indicadores Financieros			
	Actual	Unidades	Comentarios
Pronóstico Volumétrico	2407	GPD	Ofrece la mayor idea del grado de materialidad del activo.
VPN Proyecto	\$ (3.326.707)	US\$	Muestra la capacidad del proyecto de generar valor, lo que favorece proyectos grandes. No captura la magnitud de las inversiones.
VPN Beneficios	\$ 12.115.037	US\$	Máxima ganancia posible.
TIR	-3%	%	Muestra la rentabilidad del proyecto, favoreciendo aquellos con ingresos tempranos. No ofrece una idea la capacidad de generar caja.
CAPEX totales	\$ 8.305.460	US\$	Inversiones de capital requeridas durante la vida del proyecto.
OPEX totales	\$ 8.108.282	US\$	Costos operacionales totales a lo largo de la vida del proyecto.
Periodo de recuperación	7,5	Años	Tiempo en que se recupera la Inversión.
Relación Beneficio-costos (B/C ratio)	1,37	Adimensional	Utilizado por algunas compañías en lugar del DROI.

Sensibilidad			
	Actual	Unidades	
Inversión	\$ 8.305.460	US\$	
Volumen	2407	GPD	Producto de Tratar 5 MMSCFD.
Precio	\$ 3,64	US\$/Gl.	

Fuente: Las Autoras.

**Tabla 12. Indicadores Financieros – Escenario Mínimo Flujo**

Indicadores Financieros			
	Actual	Unidades	Comentarios
Pronóstico Volumétrico	973	GPD	Ofrece la mayor idea del grado de materialidad del activo.
VPN Proyecto	\$ (5.854.473)	US\$	Muestra la capacidad del proyecto de generar valor, lo que favorece proyectos grandes. No captura la magnitud de las inversiones.
VPN Beneficios	\$ 4.897.354	US\$	Máxima ganancia posible.
TIR	-20%	%	Muestra la rentabilidad del proyecto, favoreciendo aquellos con ingresos tempranos. No ofrece una idea la capacidad de generar caja.
CAPEX totales	\$ 7.916.660	US\$	Inversiones de capital requeridas durante la vida del proyecto.
OPEX totales	\$ 3.855.942	US\$	Costos operacionales totales a lo largo de la vida del proyecto.
Periodo de recuperación	14	Años	Tiempo en que se recupera la Inversión.
Relación Beneficio-costos (B/C ratio)	1,10	Adimensional	Utilizado por algunas compañías en lugar del DROI.

Sensibilidad			
	Actual	Unidades	
Inversión	\$ 7.916.660	US\$	
Volumen	973	GPD	Producto de Tratar 2 MMSCFD.
Precio	\$ 3,64	US\$/Gl.	

Fuente: Las Autoras.

A continuación, en las Tablas 13 y 14, se presentan los Flujos de Caja desarrollados para los escenarios de máximo y mínimo flujo, respectivamente.

Tabla 13. Flujo de Caja – Escenario Máximo Flujo

MEDICIÓN DEL VALOR DEL PROYECTO											
PROYECTO: Tratamiento de Gas Floreña - City Gate Yopal											
Escenario de Máximo Flujo - 5 MMSCFD											
1. BASES GENERALES											
7	Período de Inversión (años):		1								
8	Período de Operación (años):		7								
9	Vida útil activos (años):		20								
10	Año base para el análisis a precios constantes		2013								
11	Volumen de condensado esperado (Gl/D)		2407								
12	Precio unitario del galón de Nafta (USD\$/Gl)		\$3,64								
13	% Incremento anual (IPC)		4%								
14	Porcentaje de Impuestos:		33%								
15	Tasa de descuento:		10%								
2. INVERSIONES DE CAPITAL - CAPEX (USD)											
18	Vasijas y Equipos de Tratamiento	\$	3.804.700								
19	Dietanolamina (35 Canecas /210 Kg).	\$	23.760								
20	Tubería, Válvulas y Accesorios	\$	457.000								
21	Obra mecánica	\$	366.000								
22	Obra Civil (Incluye Materiales)	\$	282.000								
23	Obra de Instrumentación (Incluye Materiales)	\$	1.307.000								
24	Obra Eléctrica y aislamiento (Incluye Materiales)	\$	726.000								
25	Pintura (Incluye Materiales)	\$	56.000								
26	Compra de Tierras (predio de 1 Ha)	\$	45.000								
27	Overhead (Gastos y Costes Administrativos).	\$	1.238.000								
				0	1	2	3	4			
				2013	2014	2015	2016	2017			
29				2018	2019	2020					
30	INGRESOS (USD \$ / Volumen producido por año )	70%	\$	2.238.558	\$ 2.328.100	\$ 2.421.224	\$ 2.518.073	\$ 2.618.796	\$ 2.723.548	\$ 2.832.490	
Opex											
32	Costos Directos (% sobre Ingresos)	%		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
34	Personal de Ingeniería y operadores de planta	20%	\$	447.712	\$ 465.620	\$ 484.245	\$ 503.615	\$ 523.759	\$ 544.710	\$ 566.498	
35	Materiales, repuestos, herramientas menores y productos necesarios para la operación.	13%	\$	291.013	\$ 302.653	\$ 314.759	\$ 327.350	\$ 340.444	\$ 354.061	\$ 368.224	
36	Mantenimiento Mecánico y Eléctrico Preventivo y Correct.	7%	\$	156.699	\$ 162.967	\$ 169.486	\$ 176.265	\$ 183.316	\$ 190.648	\$ 198.274	
37	Mantto quinquenal de la planta (Sobre Costo Planta)	10%	\$	-	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 380.470	\$ -	\$ -	
Costos Indirectos (Estimación USD\$/año)											
39	Catering	\$47.200	\$	49.088	\$ 51.052	\$ 53.094	\$ 55.217	\$ 57.426	\$ 59.723	\$ 62.112	
40	Transporte personal y productos	\$25.600	\$	26.624	\$ 27.689	\$ 28.797	\$ 29.948	\$ 31.146	\$ 32.392	\$ 33.688	
41	Sistemas y comunicaciones	\$7.000	\$	7.280	\$ 7.571	\$ 7.874	\$ 8.189	\$ 8.517	\$ 8.857	\$ 9.212	
42											
43	Depreciación Activos (Método Línea Recta): Años	20	\$	353.373	\$ 353.373	\$ 353.373	\$ 353.373	\$ 353.373	\$ 353.373	\$ 353.373	
P&G											
45				2013	2014	2015	2016	2017	2018		
46	+ Ingresos		\$	2.238.558	\$ 2.328.100	\$ 2.421.224	\$ 2.518.073	\$ 2.618.796	\$ 2.723.548	\$ 2.832.490	
47	- Egresos		-\$	978.415	-\$ 1.017.552	-\$ 1.058.254	-\$ 1.100.584	-\$ 1.152.077	-\$ 1.190.392	-\$ 1.238.007	
48											
49	Flujo Bruto		\$	1.260.143	\$ 1.310.549	\$ 1.362.971	\$ 1.417.489	\$ 1.093.719	\$ 1.533.156	\$ 1.594.483	
50	- Depreciación		-\$	353.373	-\$ 353.373	-\$ 353.373	-\$ 353.373	-\$ 353.373	-\$ 353.373	-\$ 353.373	
51											
52	Flujo Neto Antes de Impuestos		\$	906.770	\$ 957.176	\$ 1.009.598	\$ 1.064.116	\$ 740.346	\$ 1.179.783	\$ 1.241.110	
53	- Impuestos		-\$	299.234	-\$ 315.868	-\$ 333.167	-\$ 351.158	-\$ 244.314	-\$ 389.329	-\$ 409.566	
54											
55	Flujo Neto Después de Impuestos		\$	607.536	\$ 641.308	\$ 676.430	\$ 712.958	\$ 496.032	\$ 790.455	\$ 831.544	
56	+ Depreciación		\$	353.373	\$ 353.373	\$ 353.373	\$ 353.373	\$ 353.373	\$ 353.373	\$ 353.373	
57	- Inversiones		-\$	8.305.460							
58											
59	Flujo Neto de Fondos		-\$	8.305.460	\$ 960.909	\$ 994.681	\$ 1.029.803	\$ 1.066.331	\$ 849.405	\$ 1.143.828	\$ 1.184.917
60											
61	VPN Proyecto	USD\$	-\$	3.326.707							
62	TIR			-3%							
63	VPN Beneficios	\$		12.115.037							
64	VPN Costos	\$		8.856.652							
65	Relación Costo Beneficio			1,37							

Fuente: Las Autoras.

Tabla 14. Flujo de Caja – Escenario Mínimo Flujo

MEDICIÓN DEL VALOR DEL PROYECTO								
PROYECTO: Tratamiento de Gas Floreña - City Gate Yopal								
Escenario de Mínimo Flujo - 2 MMSCFD								
<b>1. BASES GENERALES</b>								
7	Período de Inversión (años):	1						
8	Período de Operación (años):	7						
9	Vida útil activos (años):	20						
10	Año base para el análisis a precios constantes	2013						
11	Volumen de condensado esperado (Gl/D)	973						
12	Precio unitario del galón de Nafta (USD\$/Gl)	\$3,64						
13	% Incremento anual (IPC)	4%						
14	Porcentaje de Impuestos:	33%						
15	Tasa de descuento:	10%						
<b>2. INVERSIONES DE CAPITAL - CAPEX (USD)</b>								
18	Vasijas y Equipos de Tratamiento	\$ 3.415.900						
19	Dietanolamina (35 Canecas /210 Kg)	\$ 23.760						
20	Tubería, Válvulas y Accesorios	\$ 457.000						
21	Obra mecánica	\$ 366.000						
22	Obra Civil (Incluye Materiales)	\$ 282.000						
23	Obra de Instrumentación (Incluye Materiales)	\$ 1.307.000						
24	Obra Eléctrica y aislamiento (Incluye Materiales)	\$ 726.000						
25	Pintura (Incluye Materiales)	\$ 56.000						
26	Compra de Tierras y gestión inmobiliaria (predio de 1	\$ 45.000						
27	Overhead	\$ 1.238.000						
28			0	1	2	3	4	5
29			2013	2014	2015	2016	2017	2018
30	USD \$ / Volumen producido por año	70%	\$ 904.909	\$ 941.106	\$ 978.750	\$ 1.017.900	\$ 1.058.616	\$ 1.100.961
31								
32			2013	2014	2015	2016	2017	2018
33	<b>Opex</b>	<b>%</b>						
34	<b>Costos Directos (% sobre Ingresos)</b>							
35	Personal de Ingeniería y operadores de planta	20%	\$ 180.982	\$ 188.221	\$ 195.750	\$ 203.580	\$ 211.723	\$ 220.192
36	Materiales, repuestos, herramientas menores y productos necesarios para la operación.	13%	\$ 117.638	\$ 122.344	\$ 127.238	\$ 132.327	\$ 137.620	\$ 143.125
37	Mantenimiento Mecánico y Eléctrico Preventivo y Correct.	7%	\$ 63.344	\$ 65.877	\$ 68.513	\$ 71.253	\$ 74.103	\$ 77.067
38	Mantto quinquenal de la planta (Sobre Costo Planta)	10%	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 341.590	\$ -
39	<b>Costos Indirectos (Estimación USD\$/año)</b>							
40	Catering	\$47.200	\$ 49.088	\$ 51.052	\$ 53.094	\$ 55.217	\$ 57.426	\$ 59.723
41	Transporte personal y productos	\$25.600	\$ 26.624	\$ 27.689	\$ 28.797	\$ 29.948	\$ 31.146	\$ 32.392
42	Papelería, computadores, Impresiones, comunicaciones	\$7.000	\$ 7.280	\$ 7.571	\$ 7.874	\$ 8.189	\$ 8.517	\$ 8.857
43	Depreciación Activos (Método Línea Recta): Años	20	\$ 333.933	\$ 333.933	\$ 333.933	\$ 333.933	\$ 333.933	\$ 333.933
44	<b>P&amp;G</b>							
45			2013	2014	2015	2016	2017	2018
46	+ Ingresos		\$ 904.909	\$ 941.106	\$ 978.750	\$ 1.017.900	\$ 1.058.616	\$ 1.100.961
47	- Egresos		-\$ 444.956	-\$ 462.754	-\$ 481.264	-\$ 500.515	-\$ 520.125	-\$ 541.357
48	<b>Flujo Bruto</b>		\$ 459.954	\$ 478.352	\$ 497.486	\$ 517.385	\$ 538.491	\$ 559.604
49	- Depreciación		-\$ 333.933	-\$ 333.933	-\$ 333.933	-\$ 333.933	-\$ 333.933	-\$ 333.933
50	<b>Flujo Neto Antes de Impuestos</b>		\$ 126.021	\$ 144.419	\$ 163.553	\$ 183.452	\$ 204.558	\$ 225.671
51	- Impuestos		-\$ 41.587	-\$ 47.658	-\$ 53.972	-\$ 60.539	-\$ 67.856	-\$ 75.471
52	<b>Flujo Neto Después de Impuestos</b>		\$ 84.434	\$ 96.761	\$ 109.580	\$ 122.913	\$ 136.702	\$ 150.200
53	+ Depreciación		\$ 333.933	\$ 333.933	\$ 333.933	\$ 333.933	\$ 333.933	\$ 333.933
54	- Inversiones		-\$ 7.916.660					
55	<b>Flujo Neto de Fondos</b>		-\$ 7.916.660	\$ 418.367	\$ 430.694	\$ 443.513	\$ 456.846	\$ 470.673
56		USD\$						
57	VPN Proyecto	-\$ 5.854.473						
58	TIR	-20%						
59	VPN Beneficios	\$ 4.897.354						
60	VPN Costos	\$ 4.460.892						
61	Relación Costo Beneficio	1,10						

Fuente: Las Autoras.

## 5 CONCLUSIONES

Se realizó la evaluación técnica del proyecto de inversión para el tratamiento de la corriente de gas Floreña en el *City Gate* de Yopal (Casanare), esta evaluación se condensa en la Tablas 5 y a partir de los resultados de tratamiento se evidencia técnicamente la viabilidad de la alternativa de tratamiento seleccionada en este estudio.

Aunque la evaluación técnica es viable, como para cualquier proyecto de inversión, el análisis económico es determinante. Se realizó la evaluación económica del proyecto de inversión para el tratamiento de la corriente de gas Floreña en el *City Gate* de Yopal (Casanare), esta evaluación se condensa en las Tablas 11 y 12, de las cuales se obtienen las siguientes conclusiones:

- El VPN es negativo bajo los dos escenarios de análisis, por lo cual se consideraría en este punto del estudio que el proyecto es inviable y no rentable.
- La TIR de este proyecto está entre el -3% y -20%. Este indicador toma en cuenta el valor del dinero en el tiempo, por lo cual una TIR negativa como la obtenida indica que este proyecto no es rentable y que su tiempo de repago es largo, entre 7,5 y 14 años.
- Observando los resultados obtenidos como indicadores financieros del proyecto, se concluye que la inversión a realizar no generará rentabilidad para los inversionistas. Aunque la relación costo beneficio sea mayor a 1 bajo los dos escenarios, no es determinante porque esta no tiene en cuenta el retorno de la inversión.
- Aunque bajo el escenario de máximo flujo se obtiene un VPN negativo para un tiempo de 7 años, si se prolonga el tiempo de análisis el VPN puede hacerse positivo; no obstante el riesgo es alto ya que para llegar a tratar una corriente de gas de 5 MMSCFD se necesitaría que Perenco Colombia *Limited* disminuyera su producción interna de gas o esperara a que sus campos bajaran la producción de 5 a 2 MMSCFD, quedando así obligado a comprar el gas faltante a Floreña. Lo anterior no se presenta viable hasta este punto del estudio teniendo en cuenta el alto costo del gas comprado a Floreña (4,5 USD \$/MBTU) sumado al costo de tratamiento del gas resultante de este estudio.

## 6 RECOMENDACIONES

Dado que no es económicamente viable invertir en una planta de tratamiento de gas para transportarlo bajo condiciones RUT por el ducto de Yopal a Morichal, se recomienda a Perenco Colombia *Limited* negociar la compra del gasoducto con la empresa TGI, cuyo costo no superaría el millón de dólares vs. los 8 millones de dólares de la planta.

Con el fin de mitigar posibles problemas de corrosión dada la calidad del gas, es importante Implementar rutinas de mantenimiento preventivo frecuentes (limpieza con PIG) con el fin de evitar acumulaciones de condensados y agua en la línea, mantener la protección catódica, y el constante monitoreo de corrosión con cupones junto con la aplicación de secuestrantes de CO<sub>2</sub>.

Se recomienda crear alianzas entre los beneficiarios del gasoducto Floreña - Yopal para gestionar ante EQUION y ECOPETROL su participación en un proyecto de ampliación de la planta de tratamiento existente en Floreña que incluya la remoción de CO<sub>2</sub> y el mejoramiento del poder calorífico del gas.

El gas de cima de la torre estabilizadora que sale a 150 psig, es un gas residual que podría aprovecharse inyectándolo a la línea de gas de consumo Base Perenco que opera a 60 psig.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

ASPEN PROCESS ECONOMIC ANALYZER – Reference Manual.

ASPEN HYSYS – Reference Manuals.

BRAVO, Oscar; SÁNCHEZ Marleny. Gestión Integral de Riesgos. Tomo I. Tercera Edición. Julio de 2009.

CAMPBELL. Gas Conditioning and Processing. Vol1-4.

Evaluación económica de proyectos de inversión [en línea]. Neiva (Huila): “publicador desconocido” 17 de Marzo 2013 [citado 20 de Abril, 2013] Disponible en Internet: <<http://www.gerencie.com/evaluacion-economica-de-proyectos-de-inversion.html>>

GAS PROCESSORS SUPPLIERS ASSOCIATION (GPSA). Engineering Data Book. Volumes 1 and 2. 12th Ed.

Reglamento Único de Transporte (RUT) de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), Diciembre de 1999. Disponible en Internet [http://www.creg.gov.co/html/i\\_portals/index.php](http://www.creg.gov.co/html/i_portals/index.php)

ICONTEC INTERNATIONAL. EL COMPENDIO DE TESIS Y OTROS TRABAJOS DE GRADO. {En línea}. {Consultado junio 2009}. Disponible en: [http://www.ICONTEC.org/BancoConocimiento/C/compendio\\_de\\_tesis\\_y\\_otros\\_trabajos\\_de\\_grado/compendio\\_de\\_tesis\\_y\\_otros\\_trabajos\\_de\\_grado.asp?CodIdioma=ESP](http://www.ICONTEC.org/BancoConocimiento/C/compendio_de_tesis_y_otros_trabajos_de_grado/compendio_de_tesis_y_otros_trabajos_de_grado.asp?CodIdioma=ESP)

JARAMILLO, Alonso. Diseño y Operación de Unidades para Procesamiento de Gas y Aplicaciones de Simulación de Procesos. 2002

KIDNAY, Arthur. J. PARRISH, William. R. Fundamentals of Natural Gas Processing. 2006

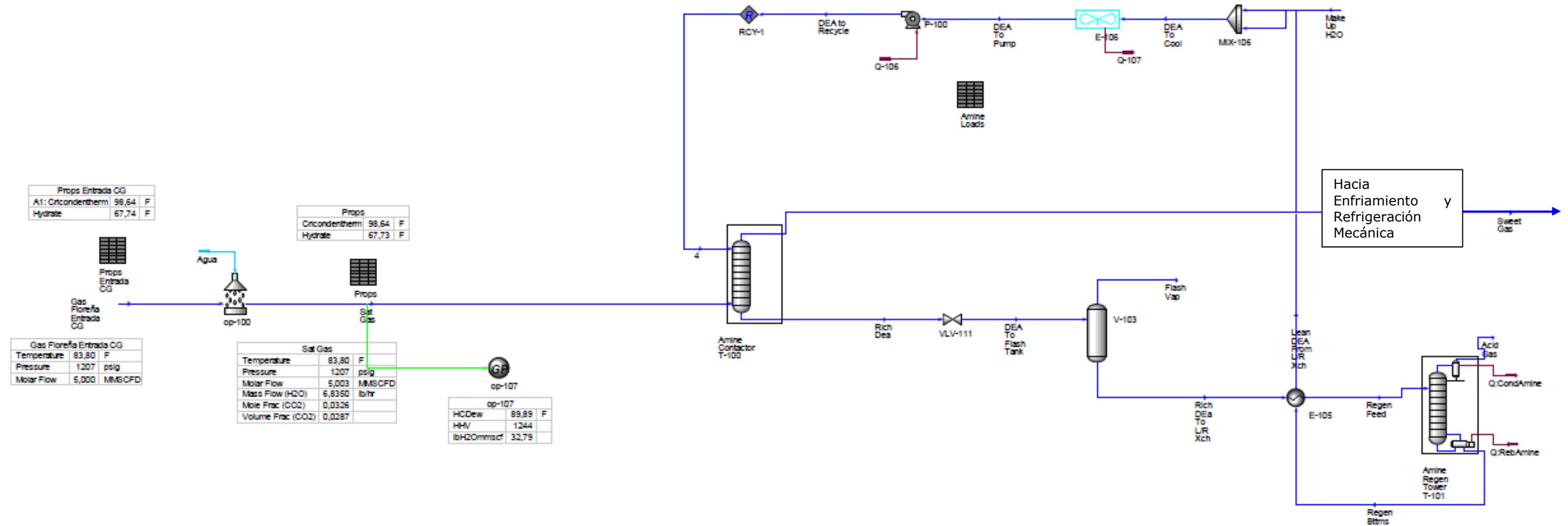
MOKHATAB, Saeid. POE, William. A. SPEIGHT, James. Handbook of Natural Gas Transmission & Processing 2006

PÉREZ, Martha Ilce; CALDERÓN Zuly. Orientaciones Prácticas para la Elaboración Exitosa de Trabajos de Grado en Ingeniería.

VÁQUIRO, José Didier. Asesoría y Consultoría para PYMES. Gerencia de Proyectos para PYMES [en línea], Marzo 2013 [citado 20 de Abril, 2013] Disponible en Internet: <[http://www.pymesfuturo.com/Proyectos\\_pymes.htm](http://www.pymesfuturo.com/Proyectos_pymes.htm)>.

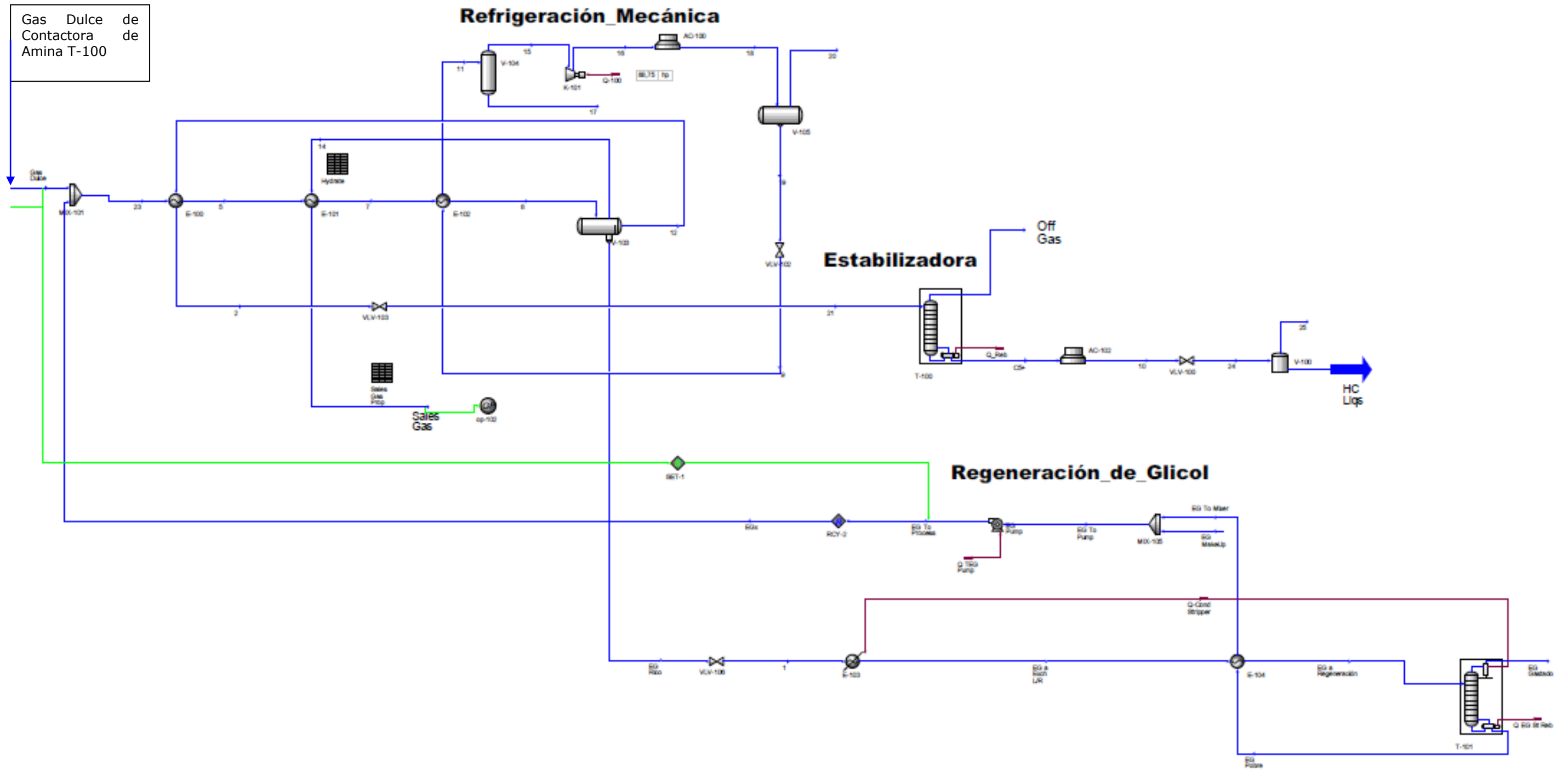
## ANEXOS

### ANEXO A. Diagrama de Flujo General – Carga de Gas, Endulzamiento y Regeneración de Amina



Fuente: Las Autoras.

**ANEXO B. Diagrama de Flujo General – Refrigeración Mecánica, Estabilización y Regeneración de Glicol**



Fuente: Las Autoras.