

**ESTUDIO Y DISEÑO CONCEPTUAL DEL GASODUCTO QUE PERMITE LA  
IMPLEMENTACIÓN Y DESARROLLO DE REDES DOMICILIARIAS DE GAS EN  
LOS MUNICIPIOS DE REGIDOR, RÍOVIEJO, ARENAL Y MORALES EN EL SUR  
DE BOLÍVAR.**

**JOSÉ LUIS FLÓREZ NAVARRO  
SERGIO DANIEL MONSALVO OÑATE**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BUCARAMANGA, SANTANDER**

**2006**

**ESTUDIO Y DISEÑO CONCEPTUAL DEL GASODUCTO QUE PERMITE LA  
IMPLEMENTACIÓN Y DESARROLLO DE REDES DOMICILIARIAS DE GAS EN  
LOS MUNICIPIOS DE REGIDOR, RÍOVIEJO, ARENAL Y MORALES EN EL SUR  
DE BOLÍVAR.**

**JOSÉ LUIS FLÓREZ NAVARRO  
SERGIO DANIEL MONSALVO OÑATE**

**Trabajo de Grado para optar el  
Titulo de Ingeniero de Petróleos**

**Director**

**M.Sc. Nicolás Santos Santos**

**Codirector**

**Ing. Oscar Arenas Mantilla**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BUCARAMANGA, SANTANDER**

**2006**

*Con todo mi cariño a:*

*Dios, padre, amigo y guía*

*La memoria de mi abuelo Ramón*

*Mis adorados padres, Ramón y Dorfi*

*A mis queridos hermanos, Nemecio, Roger, Jairo y Yesenia*

*A mis sobrinos, Jairo Andrés, Andrea Marcela, Jairo José, Jorge Luis y Lizbet Marcela*

*A mi novia Brianda*

*Mis queridos tíos, en especial a Inocencio y Araceli*

*A todos mis amigos*

*José Luis*

*A Dios que me ha colmado de bendiciones y me ha dado la fuerza para alcanzar esta meta  
A mis amados padres Lucas y Elsy, que con su amor e incansable esfuerzo me han conducido hasta aquí  
A mis queridos hermanos Paloma, Juan Sebastián y Valentina  
A mi entrañable abuela, Mamallilla  
A mis tíos, primos y demás familiares  
A mis amigos, siempre amigos*

*Sergio Daniel*

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a:

**Nicolas Santos Santos**, M.Sc. Ingeniero de Petróleos y Director del proyecto, por haber confiado en nuestras capacidades y por su colaboración a lo largo del trabajo.

**Oscar Arenas Mantilla**, Ingeniero de Petróleos y Codirector del proyecto, por su permanente guía y recomendaciones.

**Asociación de Municipios del Magdalena Medio Bolivarenses (AMMMB)** y la **Corporación Regional del Sur de Bolívar (CSB)** y todo su equipo de trabajo por el apoyo brindado, lo cual facilitó el desarrollo del proyecto.

**Jorge Tafur**, Honorable Representante a la Cámara de la República; **Alcaldías Municipales** de Regidor, Ríoviejo, Arenal y Morales y **Jairo Florez Navarro**, Ingeniero de Petróleos, por la gestión para la ejecución futura de este proyecto.

**Profesores de la Escuela de Ingeniería de Petróleos (EIP)**, por su valiosa contribución en nuestra formación como profesionales.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	2
1. GENERALIDADES DEL GAS NATURAL .....	4
1.1. PLAN DE MASIFICACIÓN DEL GAS NATURAL EN COLOMBIA .....	6
1.2. MARCO LEGAL Y NORMATIVIDAD DE LA INDUSTRIA DEL GAS.....	7
1.2.1. Entidades vinculadas al manejo del Gas en Colombia y sus Funciones.	8
1.3. OFERTA DEL GAS NATURAL EN COLOMBIA .....	13
1.4. DEMANDA DEL GAS NATURAL EN COLOMBIA .....	14
2. GASODUCTOS .....	17
2.1. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO .....	17
2.1.1. Clases de Localidad para Diseño y Construcción.....	17
2.1.2. Presión de Diseño.....	18
2.1.3. Cálculo del Flujo de Gas.....	20
2.2. RED NACIONAL DE GASODUCTOS .....	25
2.3. GASODUCTO BALLENA – BARRANCABERMEJA .....	27
2.3.1. Estaciones Compresoras.....	31
3. DESCRIPCIÓN DE LA REGIÓN BENEFICIADA CON EL PROYECTO .....	35
3.1. DESCRIPCIÓN DEL MUNICIPIO DE REGIDOR.....	37
3.1.1. Localización.....	37
3.1.2. Hidrografía.....	37
3.1.3. Aspecto Socio - Económico.....	39
3.1.4. Población.....	39
3.2. DESCRIPCIÓN DEL MUNICIPIO DE RÍOVIEJO.....	40
3.2.1. Localización.....	40
3.2.2. Hidrografía.....	40

3.2.3. Aspecto Socio – Económico. ....	42
3.2.4. Población. ....	43
3.3. DESCRIPCIÓN DEL MUNICIPIO DE ARENAL. ....	43
3.3.1. Localización. ....	43
3.3.2. Hidrografía. ....	44
3.3.3. Aspecto Socio – Económico. ....	45
3.3.4. Población. ....	46
3.4. DESCRIPCIÓN DEL MUNICIPIO DE MORALES. ....	46
3.4.1. Localización. ....	46
3.4.2. Hidrografía. ....	47
3.4.3. Aspecto Socio – Económico. ....	48
3.4.4. Población. ....	49
4. DISEÑO DEL GASODUCTO .....	50
4.1. RUTA DEL GASODUCTO.....	50
4.1.1. Alternativa 1 (La Gloria – Morales). ....	50
4.1.2. Alternativa 2 (Gamarra – Regidor). ....	52
4.2. MODELO DE SIMULACIÓN.....	54
4.2.1. Simulador de Procesos.....	55
4.2.2. Montaje del Modelo de Simulación. ....	56
4.3. ANALISIS DE RESULTADOS .....	66
4.3.1. Simulación de Posibles Escenarios para las Alternativas.....	66
4.3.2. Simulación Alternativa 1 (La Gloria – Morales). ....	75
4.3.3. Simulación Alternativa 2 (Gamarra – Regidor). ....	78
4.4. CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DE LA CONDUCCIÓN .....	82
4.4.1. Dimensionamiento del Gasoducto. ....	82
4.5. DERECHO DE VÍA Y ACTIVIDADES CONSTRUCTIVAS. ....	83
4.5.1. Derecho de Vía.....	83
4.5.2. Cruces Especiales. ....	84
4.5.3. Transporte y Tendido de Tubería. ....	87
4.5.4. Predoblado y Doblado de la Tubería. ....	88

4.5.5. Alineación y Soldadura. ....	88
4.5.6. Apertura de la Zanja. ....	88
4.5.7. Bajado y Tapado de la Tubería.....	89
4.5.8. Prueba Hidrostática. ....	90
4.5.9. Protección de la Tubería.....	90
5. PLAN DE MANEJO AMBIENTAL (PMA) .....	93
5.1. ESTRATEGIAS PARA LA APLICACIÓN DEL PMA.....	93
5.1.1. Concertación en el Área del Proyecto.....	94
5.1.2. Acción Integrada entre los Programas del PMA. ....	94
5.1.3. Relaciones con la Comunidad para el Apoyo al Área con Proyectos de Carácter Socio-Ambiental. ....	94
5.1.4. Evaluación Periódica del Desarrollo del Proyecto. ....	94
5.2. MEDIDAS DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL.....	95
5.2.1. Prevención y Control.....	95
5.2.2. Protección de la Fauna Silvestre. ....	98
5.2.3. Movilización de Equipo, Manejo y Transporte de Tubería. ....	101
5.3. MITIGACIÓN Y RESTAURACIÓN. ....	105
5.3.1. Desbosque y Aprovechamiento Forestal. ....	105
5.3.2. Adecuación, Conformación y Manejo de Áreas Físicas.....	107
5.3.3. Apertura de Zanja y Tapado de Tubería. ....	112
5.3.4. Cruce de Corrientes Superficiales. ....	113
5.3.5. Cruce de Vías. ....	116
6. ANÁLISIS ECONÓMICO .....	118
6.1. VALOR DE LA INVERSIÓN. ....	118
6.1.1. Alternativa 1 (La Gloria – Morales). ....	118
6.1.2. Alternativa 2 (Gamarra – Regidor). ....	118
6.2. COSTOS DE ADMINISTRACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ...	121
6.3. DEMANDA. ....	121
6.4. COSTOS. ....	121
6.5. TARIFAS. ....	122

6.5.1. Alternativa 1 (La Gloria – Morales). .....	122
6.5.2. Alternativa 2 (Gamarra – Regidor). .....	123
6.5.3. Total Costos de Transporte. ....	124
6.6. COMPARACIÓN COSTOS DEL GLP vs. GAS NATURAL .....	125
6.6.1. Costos del GLP .....	125
6.6.2. Costos del Gas Natural.....	126
6.7. EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA. ....	126
6.7.1. Costo de las Tarifas de Transporte.....	127
6.7.2. Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna de Retorno (TIR). ....	127
6.7.3. Relación Beneficio Costo.....	128
CONCLUSIONES .....	130
RECOMENDACIONES.....	132
BIBLIOGRAFIA.....	133

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Composición Típica de un Gas Natural.....	5
Tabla 2. Factores de Transmisión en Ecuaciones de Flujo en Tuberías. ....	21
Tabla 3. Red Nacional de Gasoductos. ....	27
Tabla 4. Ramales del Gasoducto Ballena – Barrancabermeja. ....	30
Tabla 5. Presiones Efectivas del Gasoducto Ballena - Barrancabermeja. ....	34
Tabla 6. Datos Geográficos de Regidor.....	38
Tabla 7. Datos Geográficos de Ríoviejo. ....	41
Tabla 8. Datos Geográficos de Arenal.....	44
Tabla 9. Datos Geográficos de Morales.....	47
Tabla 10. Ubicación aproximada de Puntos Especiales en Trazado de la Línea del Gasoducto La Gloria – Morales. ....	52
Tabla 11. Ubicación aproximada de Puntos Especiales en Trazado de la Línea del Gasoducto Gamarra – Regidor.....	54
Tabla 12. Cromatografía de Diferentes Cargas del Gas Guajira.....	57
Tabla 13. Calidad del Gas Guajira. ....	58
Tabla 14. Valores de Temperatura Ambiente para Regidor (°C). ....	61
Tabla 15. Valores de Temperatura Ambiente para Ríoviejo (°C). ....	61
Tabla 16. Valores de Temperatura Ambiente para Arenal (°C). ....	61
Tabla 17. Valores de Temperatura Ambiente para Morales (°C). ....	61
Tabla 18. Estimación del Consumo de Gas Natural a partir del Número de Viviendas en la Cabecera Municipal .....	62
Tabla 19. Condiciones de Operación del Gasoducto Ballena – Barrancabermeja para el Primer Semestre de 2005. ....	64

Tabla 20. Presión y Temperatura de Llegada y Salida a la City Gate de cada Municipio para la Alternativa 1 (La Gloria - Morales). .....	76
Tabla 21. Presión y Temperatura de Llegada y Salida a la City Gate de cada Municipio para la Alternativa 2 (Gamarra - Regidor). .....	80
Tabla 22. Cruces de Corrientes Hídricas del Gasoducto. ....	86
Tabla 23. Costo Total de Construcción del Gasoducto Alternativa 1 La Gloria – Morales. ....	119
Tabla 24. Costo Total de Construcción del Gasoducto Alternativa 2 Gamarra – Regidor. ....	120
Tabla 25. Estimación del Número de Viviendas y Consumo de Gas Natural para la Totalidad de los Municipios Beneficiados con el Proyecto. ....	122
Tabla 26. Tasa Interna de Retorno para cada una de las Alternativas. ....	128

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Consumo de Gas Natural por Sectores a 2004 (MPCD) .....	15
Figura 2. Consumo de Gas Natural Domiciliario de 1994 – 2004 (MPCD) .....	15
Figura 3. Consumo de Gas Natural Domiciliario por Estratos a 2004 (MPCD) .....	16
Figura 4. Mapa de la Red Nacional de Gasoductos.....	26
Figura 5. Mapa del Gasoducto Ballena – Barrancabermeja. ....	28
Figura 6. Mapa de la Región Beneficiada con el Proyecto. ....	36
Figura 7. Localización Geográfica del Municipio de Regidor. ....	38
Figura 8. Localización Geográfica del Municipio de Ríoviejo.....	42
Figura 9. Localización Geográfica del Municipio de Arenal. ....	45
Figura 10. Localización Geográfica del Municipio de Morales. ....	48
Figura 11. Trazado de la Línea del Gasoducto La Gloria - Morales.....	51
Figura 12. Trazado de la línea del Gasoducto Gamarra - Regidor. ....	53
Figura 13. Perfil Topográfico del Gasoducto Ballena – Barrancabermeja. ....	59
Figura 14. Perfil Topográfico Alternativa 1 (La Gloria – Morales). ....	59
Figura 15. Perfil Topográfico Alternativa 2 (Gamarra – Regidor). ....	60
Figura 16. Variación de la Presión VS. Perfil Topográfico del Gasoducto Ballena – Barrancabermeja. ....	65
Figura 17. Variación de la Temperatura VS. Perfil Topográfico del Gasoducto Ballena – Barrancabermeja. ....	65
Figura 18. Comportamiento de la presión VS. Perfil topográfico de la Alternativa 1 (La Gloria – Morales) para el escenario de la variación de la presión. ....	67
Figura 19. Comportamiento de la presión VS. Perfil topográfico de la Alternativa 2 (Gamarra - Regidor) para el escenario de la variación de la presión.....	67

Figura 20. Comportamiento de la temperatura VS. Perfil topográfico de la Alternativa 1 (La Gloria – Morales) para el escenario de la variación de la presión. .....	68
Figura 21. Comportamiento de la temperatura VS. Perfil topográfico de la Alternativa 2 (Gamarra – Regidor) para el escenario de la variación de la presión. .....	68
Figura 22. Comportamiento de la Presión VS. Perfil Topográfico de la Alternativa 1 (La Gloria – Morales) para el Escenario de la Variación de la Temperatura Ambiente.....	70
Figura 23. Comportamiento de la Presión VS. Perfil Topográfico de la Alternativa 2 (Gamarra - Regidor) para el Escenario de la Variación de la Temperatura Ambiente.....	70
Figura 24. Comportamiento de la Temperatura VS. Perfil Topográfico de la Alternativa 1 (La Gloria – Morales) para el Escenario de la Variación de la Temperatura Ambiente. ....	71
Figura 25. Comportamiento de la Temperatura VS. Perfil Topográfico de la Alternativa 2 (Gamarra – Regidor) para el Escenario de la Variación de la Temperatura Ambiente. ....	71
Figura 26. Comportamiento de la Presión VS. Perfil Topográfico de la Alternativa 1 (La Gloria – Morales) para el Escenario de la Variación de los Caudales Proyectados.....	72
Figura 27. Comportamiento de la Presión VS. Perfil Topográfico de la Alternativa 2 (Gamarra – Regidor) para el Escenario de la Variación de los Caudales Proyectados.....	73
Figura 28. Condiciones Operacionales respecto a la Carga en La Guajira de la Alternativa 1 (La Gloria - Morales) a Diferentes Temperaturas Ambiente.....	74
Figura 29. Condiciones Operacionales respecto a la Carga en La Guajira de la Alternativa 2 (Gamarra – Morales) a Diferentes Temperaturas Ambiente. ....	74
Figura 30. Variación de la Presión Sin Válvula VS. Perfil Topográfico del Gasoducto Alternativa 1 (La Gloria - Morales). ....	77

Figura 31. Variación de la Presión Con Válvula VS. Perfil Topográfico del Gasoducto Alternativa 1 (La Gloria - Morales).....	77
Figura 32. Variación de la Temperatura VS. Perfil Topográfico del Gasoducto Alternativa 1 (La Gloria - Morales). ....	78
Figura 33. Variación de la Presión Sin Válvula VS. Perfil Topográfico del Gasoducto Alternativa 2 (Gamarra - Regidor).....	80
Figura 34. Variación de la Presión Con Válvula VS. Perfil Topográfico del Gasoducto Alternativa 2 (Gamarra - Regidor).....	81
Figura 35. Variación de la Temperatura VS. Perfil Topográfico del Gasoducto Alternativa 2 (Gamarra - Regidor).....	81
Figura 36. Sección Típica de Cruce Vial.....	85
Figura 37. Cruce Subfluvial Típico en Corrientes Principales. ....	87
Figura 38. Detalle de Colocación y Tapado de Tuberías. ....	90

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A.....	135
ANEXO B.....	137
ANEXO C.....	138
ANEXO D.....	139
ANEXO E.....	140
ANEXO F.....	141
ANEXO G.....	142

## RESUMEN

**TITULO:** ESTUDIO Y DISEÑO CONCEPTUAL DEL GASODUCTO QUE PERMITE LA IMPLEMENTACIÓN Y DESARROLLO DE REDES DOMICILIARIAS DE GAS EN LOS MUNICIPIOS DE REGIDOR, RÍOVIEJO, ARENAL Y MORALES EN EL SUR DE BOLÍVAR.\*

### AUTORES\*\*

JOSÉ LUIS FLÓREZ NAVARRO.  
SERGIO DANIEL MONSALVO OÑATE.

### PALABRAS CLAVES

Gas Natural, gasoducto, demanda, transporte, simulación, plan de manejo ambiental.

### DESCRIPCIÓN

El auge en la diversificación y utilización de combustibles cada vez mas limpios, colocan al Gas Natural como principal protagonista debido a sus características de combustión, economía, abundancia y seguridad. El Plan de Masificación del Gas promovido por el Gobierno Nacional, ha cubierto cerca del 90 por ciento de la demanda de este recurso energético en los principales centros urbanos del país, a pesar de esto muchos municipios no cuentan con este beneficio debido a su difícil acceso. En este sentido se busca mejorar la calidad de vida de los habitantes de las cabeceras municipales de Regidor, Ríoviejo, Arenal y Morales, municipios ubicados en el Sur del Departamento de Bolívar, realizando un estudio y diseño conceptual del gasoducto que permita a la población beneficiarse con las bondades del gas natural. Este estudio comprende tres ejes temáticos fundamentales que son; estudio técnico, estudio ambiental y estudio económico.

El proyecto presenta en su fase inicial generalidades tanto del gas natural como de gasoductos, además de describir la región beneficiada con el mismo. En segunda instancia se muestra un estudio técnico donde se plantean las alternativas para el posible trazado del gasoducto, y estas son evaluadas mediante un proceso de simulación. Posteriormente se desarrolló un Plan de Manejo Ambiental con el fin de minimizar y mitigar los posibles impactos ambientales. Finalmente se realizó un análisis económico con base en los parámetros como el TIR, VPN y RB/C. Basados en los resultados técnicos, ambientales y económicos se da un concepto de viabilidad a una de las alternativas contempladas en el proyecto, la cual garantiza el servicio de gas natural domiciliario de forma segura y eficiente a las cabeceras municipales por un periodo característico de este tipo de proyectos.

---

\* Tesis de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Msc. Nicolás Santos Santos.  
Codirector: Ing. Oscar Arenas

## **ABSTRACT**

**TITLE:** STUDY AND CONCEPTUAL DESIGN OF A GAS PIPELINE THAT ALLOW THE IMPLEMENTATION AND DEVELOPMENT OF THE GAS DISTRIBUTION IN THE MUNICIPALITIES OF REGIDOR, RÍOVIEJO, ARENAL Y MORALES IN THE SOUTH BOLIVAR.\*

### **AUTHORS\*\***

JOSÉ LUIS FLÓREZ NAVARRO.  
SERGIO DANIEL MONSALVO OÑATE.

### **KEY WORDS**

Natural gas, gas pipeline, demand, transport, simulation, environmental manage plan

### **DESCRIPTION**

The boom in the diversification and utilization of combustibles each time more clean, put the natural gas how main protagonist due to combustion characteristics, economy, abundance and security. The Gas development Plan promoted for the national government has cover near of the 90 percent of demand of this energetic resource in the main urban centre of the country, in spite of this, many municipalities don't have with this benefit due to difficult access. In this way, is search to improve the quality of life of the municipalities of Regidor, Ríoviejo, Arenal y Morales of the south Bolivar, making a study and conceptual design of the gas pipelines that allow to the population benefit themselves with the advantages of the natural gas.

This study include tree fundamental thematic axis that are: technical study, environmental study and economic study. The study presents in the initial phase generalities such natural gas as gas pipelines, besides the description of the region benefited. In the second phase is show a technical study where is propose the alternatives for the possible lay out of the gas pipelines and this is evaluate with process simulation. After was develop an environmental manage plan for minimize and mitigate the possible environmental impacts. Finally, was performed an economic analysis with basis in the TIR, VPN y RB/C parameters. Based in the technical, environmental and economics results is gave a viability concept to one of the alternatives contemplates in the study, which guaranty the secure and efficient natural gas service to municipalities for a characteristic period of time of this kind of projects.

---

\* Degree Project

\*\* Faculty of Physical-Chemical Engineering. Petroleum Engineering School. Director: Msc. Nicolás Santos Santo. Codirector: Eng. Oscar Arenas Mantilla.

## INTRODUCCIÓN

Cada día es más evidente la escasez y alto costo de los combustibles líquidos, por lo cual el hombre ha buscado nuevas alternativas que suplan la basta demanda energética en el mundo, procurando minimizar los efectos ambientales. El gas natural aparece como principal protagonista debido a sus características ambientales, económicas, de combustión, abundancia y seguridad.

Aprovechando las grandes reservas de gas natural en nuestro país, se promueve por parte del Gobierno Nacional el Plan de Masificación del Gas, como fuente alterna de energía para la industria, el transporte (GNC) y el servicio domiciliario. La ejecución de este proyecto implica el mejoramiento y ampliación de la red nacional de transporte y distribución de gas natural, que aumenten la disponibilidad de este recurso, a un alto porcentaje de la población colombiana.

Debido a la gran extensión y accidentada topografía de nuestro territorio, el servicio de gas domiciliario, no ha podido llegar a algunos municipios de difícil acceso. Estos municipios en la actualidad suplen el sus necesidades energéticas utilizando gas propano (GLP) y uso inadecuado de madera seca, comúnmente llamado “fogón de leña”, que trae como consecuencia la tala indiscriminada de árboles afectando el medio ambiente, además de causar enfermedades pulmonares en las personas que utilizan este mecanismo para la preparación de alimentos.

Con el fin de mejorar la calidad de vida de los habitantes de las cabeceras municipales de Regidor, Ríoviejo, Arenal y Morales, municipios ubicados en el Sur del Departamento de Bolívar, se realizó realizar un estudio y diseño conceptual de

un gasoducto que permita la implementación y desarrollo de redes domiciliarias de gas natural, mediante un sistema de abastecimiento, que sea funcional tanto económica como técnicamente.

El estudio contempla una descripción completa de la zona beneficiada con el proyecto. Además de resaltar aspectos generales de la Industria del Gas Natural en Colombia, se presenta un diseño del gasoducto, basados en fundamentos teóricos y técnicos, a nivel de ingeniería conceptual.

## 1. GENERALIDADES DEL GAS NATURAL

El gas natural es una mezcla combustible de gases de gran poder calorífico, formado en las entrañas de la tierra en el curso de un proceso evolutivo de centenares de miles de años. Este es una mezcla de fluidos principalmente Metano (aprox. 98 %) y en proporciones menores etano y propano en estado libre o asociado. Los demás componentes, en muy pequeñas cantidades, son otros gases tales como óxidos de nitrógenos, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), ó vapor de agua, en la Tabla 1 se muestra la composición típica de un gas natural.

El gas natural se encuentra, al igual que el petróleo, en yacimientos en el subsuelo en uno de los siguientes estados, Asociado, cuando al ser extraído del yacimiento está mezclado con el crudo; y Libre o no Asociado, cuando se encuentra en un yacimiento que sólo contiene gas.

El gas natural se obtiene directamente de la naturaleza en los depósitos del subsuelo y es transportado a través de los sistemas de gasoductos hacia cada uno de los puntos de regulación (City Gate).

Encontrar yacimientos de gas natural, extraerlo, tratarlo, transportarlo y distribuirlo hasta los centros de consumo, es un proceso muy complejo. Exige un largo tiempo de investigación, diseño, preparación, y avanzados recursos tecnológicos para garantizar su utilización segura.

**Tabla 1.** Composición Típica de un Gas Natural.

HIDROCARBUROS	FORMULA	PORCENTAJE
Metano	CH <sub>4</sub>	70 – 98 %
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0 – 20 %
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	
Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	0 – 8 %
Oxígeno	O <sub>2</sub>	0 – 0.2 %
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0 – 5 %
Sulfuro de Hidrogeno	H <sub>2</sub> S	0 – 5 %
Gases Nobles	A, He, Ne, Xe	Trazas

Fuente: <http://www.naturalgas.org/overview/background.asp>

Todos estos esfuerzos e inversiones se justifican al considerar las ventajas que el gas natural presenta respecto a otros combustibles, entre las cuales vale la pena resaltar las siguientes:

- **Costos:** La utilización del gas natural como combustible para fines domésticos o industriales es menos costosa (una quinta parte) que la energía hidroeléctrica.
- **Limpieza:** La combustión de gas natural produce cantidades muchísimo menores de desechos (humo, hollín, compuestos volátiles tóxicos) que otros combustibles (ACPM, fuel oil, gasolina, leña, carbón, etc.). En grandes zonas industriales, la utilización masiva del gas natural significa mejorar notablemente la calidad del aire en el ambiente.
- **Conservación ambiental:** El gas natural es un combustible limpio, no contaminante. Uno de los propósitos del plan de masificación del consumo de

gas natural es promover la sustitución del consumo de leña que hoy se realiza para fines domésticos o industriales

### **1.1. PLAN DE MASIFICACIÓN DEL GAS NATURAL EN COLOMBIA**

La utilización del gas en Colombia se remonta al descubrimiento de los campos de Santander, como los son Payoa y Provincia, entre otros. Con excepción de los campos de gas libre, el gas asociado fue considerado por muchos años en el país, como un subproducto de la explotación del crudo, y era quemado en las teas de los campos petroleros, aunque sigue pasando pero en menor grado.

En Diciembre 18 de 1991, a través del Documento DNP-2571, el CONPES aprobó el programa para la masificación del consumo de gas, elaborado con base en el estudio adelantado en cooperación con la Comunidad Económica Europea, en el cual se identificaron los principales proyectos del Plan de Masificación de Gas.

En 1993, se expide el Decreto 408 del 3 de marzo, con el cual el CONPES aprobó las estrategias para el desarrollo del Plan de Gas, en el que se contemplaba la conformación de un sistema de transporte de Gas Natural, donde Ecopetrol ejercería, directamente o por contrato, la construcción de los gasoductos, utilizando esquemas de BOMT o similares, para conectar los campos de producción con los centros de consumo del país.

Mediante la Ley 142 de 1994, se establece el marco normativo y tarifario, en el cual se determina que el sistema de transporte de gas es independiente de los productores, comercializadores y distribuidores.

El 20 de agosto de 1997, mediante la Ley 401, se creó la Empresa Colombiana de Gas, ecogás, como una entidad descentralizada del orden nacional, con carácter

de empresa industrial y comercial del Estado, vinculada al Ministerio de Minas y Energía.

Los objetivos del Plan de Masificación del Gas se pueden agrupar en tres categorías:

- **Energéticos:** Promover el uso eficiente de las reservas disponibles de hidrocarburos, especialmente las del gas natural, facilitando una oferta de energéticos flexible, suficiente y diversificada. Esto se logra a través de la sustitución de energéticos más costosos en diferentes sectores de consumo, en donde son utilizados en forma ineficiente.
- **Socio-económicos:** El uso eficiente de los energéticos da viabilidad al establecimiento de una canasta de energéticos más económica, acorde con el nivel de ingreso de la población. En el proceso de materialización del Plan, se movilizará una gran cantidad de capital privado que se incorporará a los diferentes negocios en el desarrollo del gas. El resultado del proceso será un incremento real de la cobertura del gas en mercados existentes y el suministro a nuevos centros de consumo.
- **Ambientales:** El uso eficiente de la energía es un factor determinante en la disminución del impacto ambiental de las actividades productivas del país. Adicionalmente, al ser el gas un combustible limpio, eficiente y abundante, permitirá reemplazar la utilización de energéticos altamente contaminantes.

## **1.2. MARCO LEGAL Y NORMATIVIDAD DE LA INDUSTRIA DEL GAS**

Todos los procesos involucrados en llevar a cabo la construcción de gasoductos, red de distribución de gas domiciliario y la comercialización del mismo, deben estar ceñidos a una serie de normas y leyes que rigen todos los aspectos relacionados con este propósito. Tanto para los materiales utilizados en la elaboración de los

diferentes equipos y accesorios, como los criterios a tener en cuenta para el diseño e implementación de redes domiciliarias de gas, garantizando la seguridad e integridad pública.

Existen una gran cantidad de normas técnicas y resoluciones enmanadas de entidades competentes en el ámbito internacional como lo son:

- American National Standards Institute, ANSI.
- American Petroleum Institute, API.
- American Society of Mechanical Engineers, ASME.
- American Society for Testing and Materials, ASTM.
- Departamento Norteamericano de Transporte; DOT.
- Interstate Commerce Comision, ICC.

### **1.2.1. Entidades vinculadas al manejo del Gas en Colombia y sus Funciones.**

Todos los aspectos relacionados con la regulación, vigilancia, ejecución de contratos y control de la industria del gas en general, en Colombia, se hace mediante autoridades competentes, tales como el Ministerio de minas y energía (MME), la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), y la Superintendencia de Servicios Públicos (SSPD) y la Empresa Colombiana de Gas ECOGAS.

A continuación se nombrarán las principales funciones de estas entidades vinculadas al sector del gas en nuestro país.

**1.2.1.1. Ministerio de Minas y Energía (MME).** EL Ministerio de minas y energía en relación con los servicios públicos de energía y gas combustible tiene las siguientes funciones.

- Señalar los requisitos técnicos que deben cumplir las obras, equipos y procedimiento que utilicen las empresas de servicios públicos del sector, cuando la comisión respectiva haya resuelto por la vía general que ese señalamiento es realmente necesario para garantizar la calidad del servicio, que no implica restricción indebida a la competencia.
- Elaborar máximo cada cinco años un plan de expansión de la cobertura del servicio público que debe tutelar el Ministerio, en el que se determinen las inversiones públicas que deben realizarse, y las privadas que deben estimularse.
- Identificar fuentes de financiamiento para el servicio público respectivo, colaborar en las negociaciones del caso, y procurar que las empresas del sector puedan competir en forma adecuada por esos recursos.
- Identificar el monto de los subsidios que debería dar la Nación para el respectivo servicio público, y los criterios con los cuales deberían designarse; hacer las propuestas del caso durante la preparación del presupuesto de la Nación.
- Recoger información sobre las nuevas tecnologías, sistemas de administración en el sector, y divulgarla entre las empresas de servicios públicos, directamente o en colaboración con otras entidades publicas o privadas.
- Impulsar bajo la dirección del Presidente de la República, en coordinación con el Ministerio de relaciones exteriores, las negociaciones internacionales relacionadas con el servicio público pertinente, participar en las conferencias internacionales que sobre el mismo sector se realicen.

- Desarrollar y mantener un sistema adecuado de información sectorial para el uso de las autoridades y el público en general.
- Las demás que les asigne la Ley, siempre y cuando no contradigan el contenido especial de la Ley 142 de 1994.

**1.2.1.2. Unidad de Planeación Minero Energética (UPME).** Esta unidad fue creada por el Artículo 12 del Decreto 2119 de 1992 y el Artículo 13 de la Ley 142 de 1994 la organizó como una unidad administrativa especial con un patrimonio propio, personería jurídica, régimen especial en la materia de contratación, administración de personal, salarios, prestaciones y autonomía presupuestal.

Las principales funciones de la UPME, asignadas por la Ley son las siguientes:

- Establecer los requerimientos energéticos de la población.
- Establecer la manera de satisfacer dichos requerimientos.
- Establecer y operar mecanismos y procedimientos que permitan evaluar la oferta de materiales energéticos, hidrocarburos y de energía.
- Desarrollar el sector energético.
- Elaborar y actualizar el Plan Energético Nacional y los demás planes subsectoriales.
- Evaluar la convivencia económica y social del desarrollo de fuentes y usos energéticos no convencionales.

**1.2.1.3. Comisión Reguladora de Energía y Gas (CREG).** Esta Comisión regula el ejercicio de los sectores de energía y gas combustible para asegurar la disponibilidad de una oferta energéticamente eficiente, propicia la competencia en el sector de minas y energía y propone la adopción de las medidas necesarias para impedir abusos de posición dominante, además busca la liberación gradual del mercado hacia la libre competencia.

Las funciones generales de la CREG relacionadas con el gas combustible son:

- Regular el ejercicio de las actividades de los sectores de energía y gas combustible para asegurar una oferta energéticamente eficiente.
- Proponer la adopción de medidas para impedir abusos de posición dominante y buscar la libre competencia del mercado en una forma gradual.
- Regular el mercado mayorista de energía y gas combustible.
- Fijar tarifas de ventas del gas combustible ó delegar en empresas distribuidoras la facultad de fijarlas con estricta sujeción a las normas y a los reglamentos que expida la comisión.
- Definir la metodología y regular tarifas para los servicios de despacho y coordinación prestados por el Centro Nacional de Despacho.
- Preparar proyectos de ley y someterlos a consideración del Gobierno y recomendarle la adopción de los derechos reglamentarios que se necesiten.
- Definir criterios de eficiencia para evaluar la gestión de las empresas de servicios públicos.

- Fijar las normas de calidad a que deban someterse las empresas.
- Establecer formulas para la fijación de tarifas y señalar cuando hay suficiente competencia como para que la fijación de tarifas sea libre.
- Determinar quienes son grandes consumidores de gas combustibles.
- Ordenar la fusión de empresas cuando ello sea indispensable para ampliar la cobertura y abaratar los costos.
- Ordenar la liquidaron de empresas monopolísticas oficiales que no cumplan con los requisitos de eficiencia según la Ley 142 de 1994.

**1.2.1.4. Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD).** Este organismo de carácter técnico fue creado por la Ley 142 de 1994. El cual esta adscrito al Ministerio de Desarrollo Económico con personería jurídica y autonomía administrativa y patrimonial.

Las principales funciones que ejerce la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) son:

- Vigilar el cumplimiento de las leyes a que estén sujetos quienes presten el servicio público.
- Vigilar y controlar el cumplimiento de los contratos entre las empresas de servicios públicos y los usuarios, sancionando sus violaciones.
- Establecer los sistemas de información y contabilidad que deben aplicar quienes presten servicios públicos.

- Dar conceptos a las comisiones y ministerios sobre medidas que se estudien en relación con los servicios públicos.
- Vigilar que los subsidios se destinen a las personas de menores ingresos de la población.
- Evaluar la gestión financiera, técnica y administrativa de las empresas de los servicios públicos de acuerdo con los indicadores definidos por las comisiones.
- Vigilar que las empresas cumplan con los requisitos técnicos que hayan sido señalados por los ministerios.
- Verificar las diferentes obras y equipos.
- Tomar posesión de las empresas de servicios públicos si es el caso.

### **1.3. OFERTA DEL GAS NATURAL EN COLOMBIA**

La geología del país permite establecer un amplio potencial de hidrocarburos, el cual para ser llevado al nivel de reservas explotables requiere de una amplia campaña de exploración y el posterior desarrollo de la infraestructura para la producción y el transporte.

Con la entrada en operación del Gasoducto de Occidente en agosto de 1997 y el aumento de la capacidad de producción en el área de la Guajira por la construcción de la segunda plataforma del campo Chuchupa, se aumentó la disponibilidad de la oferta de 430 MPCD a 700 MPCD, con la cual el país se fortaleció para enfrentar un eventual racionamiento de energía en el año de 1998.

A comienzos de 1997 el país contaba con un total de 11.468 GPC de gas entre reservas probadas y probables, y la producción y el consumo promedio alcanzaba 579 MPCD. El transporte del gas desde la costa hacia el interior empezó a consolidar el Plan de Masificación con la construcción de la línea Ballena – Barrancabermeja, y la interconexión con el resto del país y los otros centros de producción mediante los gasoductos Barrancabermeja – Neiva, y Cusiana – Apiay. Finalmente, a finales de 2005, el país dispuso de 3.996 GPC<sup>1</sup> de reservas comerciales, lo que significa una relación reservas / producción de 20 años.

#### **1.4. DEMANDA DEL GAS NATURAL EN COLOMBIA**

Los beneficios de la puesta en marcha del Plan de Masificación de Gas Natural son incalculables. La ampliación de la canasta energética tanto en los sectores consumidores como en los productivos, incluyendo el transporte, alivió de manera importante los presupuestos de las familias y las empresas, lo que generó mayor competitividad ante la aparición de tratados internacionales de libre comercio.

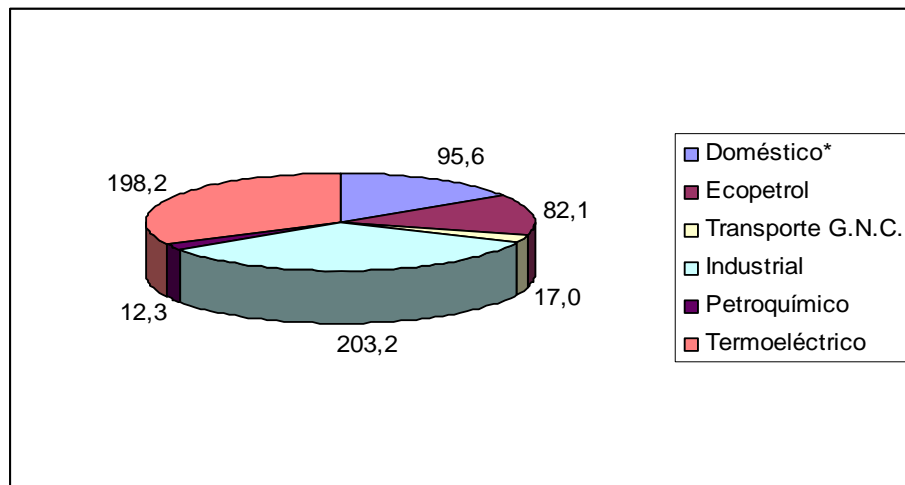
El consumo de gas natural domestico a 2004, es un 16% del consumo nacional como se observa en la figura 1. Este consumo tiende a aumentar gracias al Plan de Masificación del Gas, como se ha venido observando con el pasar de los años, el consumo de gas natural domiciliario pasó de 30,8 MPCD en 1994 a 95,6 MPCD en el 2004 como lo muestra la figura 2. El consumo de gas natural domiciliario es mayor en los estratos 2 y 3 como se puede observar en la figura 3. En 1994 se tenían conectados 790.000 instalaciones de gas y después de una década a diciembre del 2004, se cuenta con cerca de 3.250.000, lo que significa que cerca de 14 millones de colombianos disponen de un energético más limpio y económico. A la fecha 298 municipios, de los 1098 que existen en el país, cuentan con el servicio de gas natural domiciliario, lo que significa que el Plan de

---

<sup>1</sup> Informe anual 2005. ECOPETROL.

Masificación del Gas ha cubierto en un 27,1% el consumo del sector residencial en Colombia.

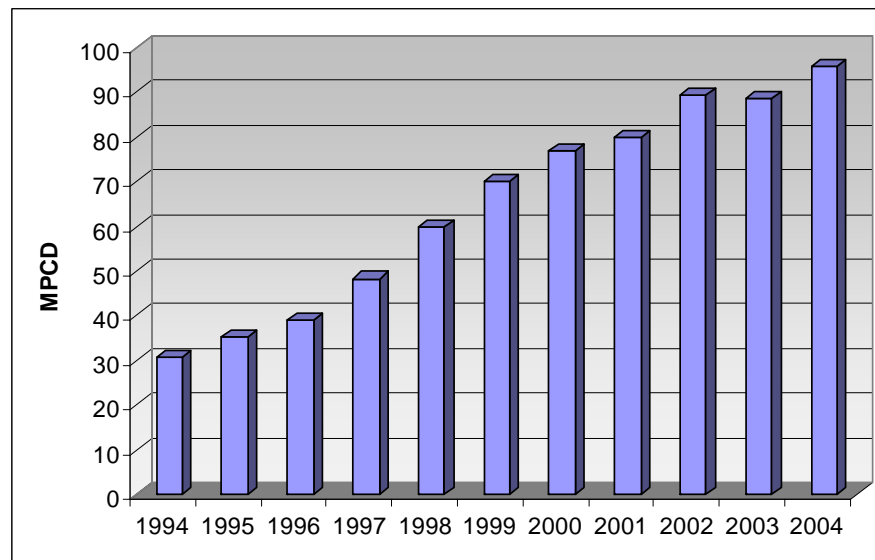
**Figura 1.** Consumo de Gas Natural por Sectores a 2004 (MPCD)



\* Incluye comercial

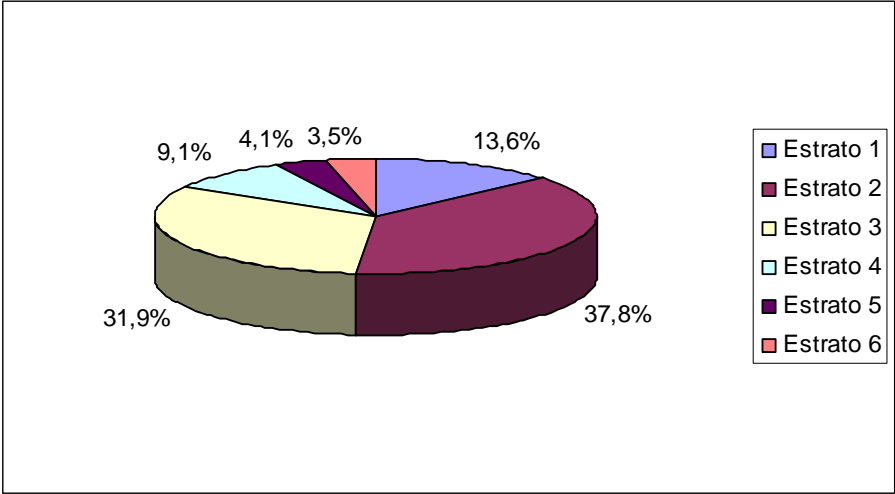
Fuente: Boletín Estadístico de Minas y Energía 1994 – 2004. UPME.

**Figura 2.** Consumo de Gas Natural Domiciliario de 1994 – 2004 (MPCD)



Fuente: Boletín Estadístico de Minas y Energía 1994 – 2004. UPME.

**Figura 3.** Consumo de Gas Natural Domiciliario por Estratos a 2004 (MPCD)



Fuente: Boletín Estadístico de Minas y Energía 1994 – 2004. UPME.

## **2. GASODUCTOS**

Una variedad de fórmulas pueden ser utilizadas para el cálculo de flujo de gas en tuberías. Estas fórmulas tienen en cuenta los efectos de presión, temperatura, diámetro tubería, longitud, gravedad específica del gas, rugosidad de la tubería y factor de desviación del gas. Teniendo en cuenta que los requerimientos de diseño sean adecuados para la seguridad pública bajo todas las condiciones que se encuentren en la industria del gas, se nombran algunos puntos que hay que tener en cuenta para el diseño de tuberías.

### **2.1. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO**

Para el diseño de una tubería de acero se deben tener en cuenta algunos parámetros y escenarios, en las cuales la Clase de localidad juega un papel fundamental, para el cálculo de la presión de diseño. A continuación se muestra los diferentes parámetros a tener en cuenta en el diseño de tuberías.

#### **2.1.1. Clases de Localidad para Diseño y Construcción.**

La posibilidad de daños a los ductos se hace mayor con las grandes concentraciones de edificios destinados a la habitación humana. La determinación de la Clase de Localidad, provee un método para evaluar el grado de exposición de la línea a los daños.

- Localidad Clase 1. Es cualquier sección de 1 milla de longitud que tiene 10 o menos edificios destinados a la ocupación humana. Esta Localidad refleja

áreas tales como tierras estériles, desiertos, montañas, tierra de pastoreo, tierras agrícolas, y áreas escasamente pobladas.

- Localidad Clase 2. Es cualquier sección de 1 milla que tiene más de 10 pero menos de 46 edificios destinados a la ocupación humana. En esta localidad refleja áreas tales como las zonas periféricas de las ciudades y pueblos, zonas industriales, ranchos o quintas campestres, etc.
- Localidad Clase 3. Es cualquier sección de 1 milla que tiene 46 o mas edificios destinados a la ocupación humana. Esta localidad refleja áreas tales como los desarrollos de viviendas suburbanas, centros de compras, áreas residenciales, áreas industriales y otras áreas pobladas que no cumplen con los requerimientos de una Localidad de Clase 4.
- Localidad Clase 4. Una localidad de clase 4 incluye áreas donde prevalecen edificios de varios pisos, donde el tráfico es pesado o denso. Y donde pudiera haber otras numerosas construcciones o servicios subterráneos.

### **2.1.2. Presión de Diseño.**

La presión de diseño para los sistemas de tuberías de gas o el espesor nominal de pared para una presión de diseño dada, se deberá determinar mediante la siguiente fórmula.

$$P = \frac{2 St}{D} FET$$

Donde:

P = presión de diseño (psig)

F = factor de diseño

E = factor de junta longitudinal

D = diámetro nominal exterior (pulgadas)

S = tensión mínima de fluencia especificada (psi)

T = factor de disminución de temperatura

t = espesor nominal de pared (pulgadas)

La presión de diseño obtenida por la fórmula, se deberá reducir para que esté en conformidad con lo siguiente:

- P para tubería soldada a tope en horno, no deberá exceder el 60% de la presión de prueba en fábrica.
- P no deberá exceder el 85% de de la presión de prueba en fábrica para toda la demás tubería prevista.

El factor de diseño F, varía de acuerdo a las diferentes áreas o centros poblados por donde pasará el gasoducto. En la Localidad de clase 1 se utiliza un factor de diseño de 0,72 a 0,80. El factor de diseño es 0,60 en la Localidad de clase 2, mientras que en las Localidades de Clase 3 y 4, se utilizan factores de diseño de 0,50 y 0,40 respectivamente.

Al fijar los valores del factor de diseño F, se ha dado la debida consideración y dejado holguras para las distintas tolerancias para los espesores deficientes que se dan en las especificaciones de tubería usada en la construcción de gasoductos.

El factor de junta longitudinal E, varía con el tipo de costura usado en la manufactura de la tubería. Para tuberías sin costura y alguna tubería soldada longitudinalmente el factor es 1. Cuando la tubería es manufacturada por otro método de soldadura, debe usarse un factor de 0,60 ó 0,80 para el calculo de la máxima presión de operación permisible.

El factor de disminución de temperatura T, para varias tuberías de acero es 1 cuando se opera a una temperatura de 250 F o menor a 0,867 para una temperatura de operación de 450 F.

### 2.1.3. Cálculo del Flujo de Gas.

Diversas ecuaciones son aceptadas para el cálculo de la capacidad de flujo de gasoductos.

La forma general de la ecuación de flujo es la siguiente:

$$Q_b = C_1 \left( \frac{T_b}{P_b} \sqrt{\frac{1}{f}} \right) \left[ \frac{P_1^2 - P_2^2 - E}{GLTZ} \right]^{0.5} D^{2.5}$$

$$E = \frac{C_2 P_{avg} G (H_2 - H_1)}{ZT}$$

Donde:

Q:	Tasa de flujo, SCF/D
f :	Factor de fricción de Moddy, adimensional
T <sub>b</sub> :	Temperatura base, °R
P <sub>b</sub> :	Presión base, psia
P <sub>1</sub> :	Presión de entrada, psia
P <sub>2</sub> :	Presión de salida, psia
P <sub>avg</sub> :	Presión promedia, psia
G:	Gravedad específica
H <sub>1</sub> :	Punto de elevación a la entrada, pies
H <sub>2</sub> :	Punto de elevación a la salida, pies
Z:	Factor de compresibilidad
T:	Temperatura del gas, °R
L:	Longitud de la tubería, millas
C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> ,	Constantes del sistema que depende del sistema de unidades

Esta ecuación asume que el flujo es estable a lo largo de la tubería, isotérmico y la compresibilidad del gas es constante.

**2.1.3.1. Factor de Transmisión.** El factor de fricción de Moody normalmente se expresa en términos de “Factor de transmisión”, el cual refleja el grado de transmisibilidad del gas a través de la tubería.

El régimen de flujo del gas en tuberías, normalmente es en su totalidad turbulento o parcialmente turbulento. Se han hecho muchas investigaciones sobre el flujo de gas en tubería, sin embargo la diferencia entre ellas radica en la forma de definir el factor de transmisión, por que todas ellas se derivan de la ecuación general. En la Tabla 2 se muestran las principales ecuaciones de flujo utilizadas y su correspondiente factor de transmisión.

**Tabla 2.** Factores de Transmisión en Ecuaciones de Flujo en Tuberías.

ECUACION	FACTOR DE TRANSMISION $\sqrt{1/f}$
Tubería lisa	$4 \log \left( Nre / 1.4126 \sqrt{1/f} \right)$
Tubería rugosa	$4 \log \left( 3.7 D/K \right)$
Weymouth	$11.16 D^{0.167}$
Panhandle A	$6.9 Nre^{0.07305}$
Panhandle B	$16.5 Nre^{0.01961}$
AGA Parcialmente Turbulento	$4Df \log \left( Nre / 1.4126 \sqrt{1/f} \right)$
AGA Totalmente Turbulento	$4 \log \left( 3.7 D/Ke \right)$

Fuente: Gas Pipeline Design and Distribution Networks. Section One: Desing.

Donde:

Nre: Numero de Reynolds

D: Diámetro externo de la tubería, pulgadas

Ke: Rugosidad efectiva,  $10^{-6}$  pulgadas

K: Rugosidad absoluta

**2.1.3.2. Ecuación para Tubería Lisa.** La ecuación de Prandtl-Van Karmen para tubería lisa establece que el factor de fricción solo depende del número de Reynolds, y se expresa así:

$$Q_b = 38.77 \frac{Tb}{Pb} \left[ \frac{P_1^2 - P_2^2 - E}{GLTZ} \right]^{0.5} 4 \log \left[ \frac{Nre}{1.4 \sqrt{1/f}} \right] D^{2.5}$$

Esta ecuación es usada para flujo parcialmente turbulento, que es el caso de tuberías de distribución (gas domiciliario)

**2.1.3.3. Ecuación para Tubería Rugosa.** La ecuación de Nikuradse para tubería lisa establece que el factor de fricción es función únicamente del área seccional de flujo. Por lo tanto depende de la rugosidad relativa de la tubería (diámetro/rugosidad) y no de las propiedades del fluido o tasa de flujo. Esta ecuación es:

$$Q_b = 38.77 \frac{Tb}{Pb} \left[ \frac{P_1^2 - P_2^2 - E}{GLTZ} \right]^{0.5} \left[ 4 \log \frac{3.7D}{K} \right] D^{2.5}$$

Esta ecuación es ideal para flujo totalmente turbulento, como es el caso de los gasoductos.

La rugosidad absoluta, K, debe ser definida en términos de la rugosidad efectiva antes de ser utilizada esta ecuación. Si el gas es limpio y seco, normalmente la rugosidad absoluta es igual a la efectiva.

#### 2.1.3.4. Ecuación de Weymouth.

$$Q_b = 432.7 \frac{Tb}{Pb} \left[ \frac{P_1^2 - P_2^2 - E}{GLTZ} \right]^{0.5} D^{2.667}$$

El factor de fricción únicamente, depende del diámetro. Esta ecuación es muy útil para gasoductos de diámetros grandes (> 36") bajo condiciones de flujo totalmente turbulento. Normalmente se utiliza para evaluar cambios en tuberías existentes. No es recomendable para diseñar gasoductos nuevos.

#### 2.1.3.5. Ecuación de Panhandle.

$$Q_b = 435.9 \left( \frac{Tb}{Pb} \right)^{1.0788} \left[ \frac{P_1^2 - P_2^2 - E}{G^{0.85} LTZ} \right]^{0.5394} D^{22.6182}$$

Se usa para flujo parcialmente turbulento. Es una buena aproximación de la ecuación de Prandtl para tubería lisa. Normalmente se usan factores de eficiencia para lograr un mayor ajuste con los datos reales de operación.

### 2.1.3.6. Ecuación de Panhandle Modificada.

$$Q_b = 737 \left( \frac{Tb}{Pb} \right)^{1.02} \left[ \frac{P_1^2 - P_2^2 - E}{G^{0.961} LTZ} \right]^{0.510} D^{2.530}$$

La ecuación de Panhandle modificada, fue desarrollada para flujo totalmente turbulento o alta rata de flujo, también usa un factor de eficiencia para ajustar los resultados.

Las ecuaciones de Panhandle no son una buena herramienta para diseño porque sus resultados dependen de los factores de eficiencia, los cuales únicamente pueden ser obtenidos a partir de datos reales de operación.

### 2.1.3.7. Ecuación AGA para Flujo Parcialmente Turbulento.

$$Q_b = 38.77 \frac{Tb}{Pb} \left[ \frac{P_1^2 - P_2^2 - E}{GLTZ} \right]^{0.5} 4Df \log \left[ \frac{N Re}{1.4 \sqrt{1/f}} \right] D^{2.5}$$

Es la mejor ecuación para flujo de gas en régimen parcialmente turbulento (redes de distribución).

### 2.1.3.8. Ecuación AGA para flujo totalmente turbulento

$$Q_b = 38.77 \frac{Tb}{Pb} \left[ \frac{P_1^2 - P_2^2 - E}{GLTZ} \right]^{0.5} 4 \log \left[ \frac{Nre}{1.4 \sqrt{1/f}} \right] D^{2.5}$$

La fórmula desarrollada por la American Gas Association (AGA), es considerada la más acertada y utilizada, para el diseño de gasoductos. Esta fórmula involucra el cálculo de factor de transmisión basado en el régimen de flujo y otros parámetros, teniendo en cuenta los cambios de elevación.

## **2.2. RED NACIONAL DE GASODUCTOS<sup>2</sup>**

A través de la Red Nacional de Gasoductos (Ver Figura 4), se busca suministrar gas natural a los principales centros de consumo industrial y residencial. Se estima que para el año 2010, más de cuatro millones y medio de familias se estarán beneficiando con el uso del Gas Natural. El plan de masificación del gas natural busca, además, reducir el consumo de leña y la tala de árboles. Otro factor benéfico, es sustituir el uso de la energía eléctrica, la cual es más costosa que el gas.

Esta red está conformada por un sistema de tres gasoductos principales a los cuales se conectan ramales regionales. Estos últimos transportan el gas hasta los municipios. Así, el gas es llevado a las residencias e industrias a través de redes domiciliarias de distribución.

Ecogás, a través de su propia red o la que contrate con el sector privado, maneja el sistema central de gasoductos y los subsistemas de distribución hasta los municipios. Las redes municipales de distribución son contratadas por el Ministerio de Minas y Energía, mediante licitación para áreas exclusivas de servicio, o por los municipios directamente.

Durante el año 2005, ecogás transportó un total de 98.840,1 MPC, equivalentes a un promedio diario de 270.8 MPCD. El Gasoducto Ballena - Barrancabermeja, obviamente, continuó siendo el de mayor participación en términos de gas

---

<sup>2</sup> <http://www.ecogas.com.co/seccion.asp?id=8>

transportado por la Empresa; por el mismo se movilizaron, en el 2005, un promedio diario de 146.1 MPCD.

**Figura 4.** Mapa de la Red Nacional de Gasoductos.



Fuente: ECOGAS

Los gasoductos troncales y regionales (ramales) de la red de Ecogás, tienen una extensión total de 3.233 km. En la tabla 3 se muestra la red nacional básica de gasoductos y algunas de sus características. En esta cifra no se consideran las redes domiciliarias para la distribución en los municipios. La capacidad actual de transporte del sistema es de 150 mpc/d, en el tramo Ballena - Barrancabermeja y de 200 mpc/d a partir de Barrancabermeja, pero la cantidad que se transporta depende de la demanda efectiva.

**Tabla 3.** Red Nacional de Gasoductos.

GASODUCTO	PROPIETARIO	FECHA DE ENTRADA	LONGITUD (Kilómetros)	DIÁMETRO (Pulgadas)
RED BÁSICA				
Ballena-Barranca	CENTRAGAS	Abr/96	578	18
Centro-Oriente	ECOPETROL	Dic./96	573	12-22
Mariquita-Cali	TRANSGAS	May./97	340	20
Barranca-B/manga	TRANSORIENTE	Dic./96	158	6-10
Sebastopol-Medellín	TRANSMETANO	Dic./97	145	12-14
Cusiana-Apiay	ECOPETROL	Jun./95	149	12-14

Fuente: <http://www.upme.gov.co/energia/pen/abastecimiento.htm>

### 2.3. GASODUCTO BALLENA – BARRANCABERMEJA<sup>3</sup>

El gasoducto Ballena – Barrancabermeja (Ver figura 5) fue el primero desarrollado dentro del Plan de Masificación del Gas Natural aprobado en marzo de 1993 por el Consejo Nacional de Política Económica y Social CONPES, siendo la empresa estatal Ecopetrol la encargada de su organización y puesta en marcha.

Ecopetrol, el día 12 de Mayo de 1994, suscribió con la firma Centragas - Transportadora de Gas de la Región Central de ENRON & Cía, S.C.A.-, el contrato para la prestación del servicio de transporte de Gas Natural por Gasoducto entre

<sup>3</sup> <http://www.ecogas.com.co/subseccion.asp?id=17>

Ballena (Departamento de La Guajira) y Barrancabermeja (Departamento de Santander), que luego cedió a Ecogás, bajo la modalidad BOMT, a través del cual Centragas financia la totalidad del proyecto, lo construye y posteriormente lo opera y mantiene por un tiempo de 15 años, al cabo del cual, Ecogás tiene la opción de comprarlo o dejarlo definitivamente como una propiedad de Centragas.

**Figura 5.** Mapa del Gasoducto Ballena – Barrancabermeja.



Fuente: ECOGAS

En la etapa previa a la construcción del proyecto y de acuerdo con las condiciones del contrato, Centragas obtuvo los recursos financieros requeridos para la construcción del Gasoducto, mediante la emisión de bonos en el mercado internacional por valor de MUS\$ 171.0. Adicionalmente en esta misma etapa fue necesario desarrollar, de acuerdo con las exigencias del Ministerio del Medio Ambiente, el Plan de Gestión Social para definir las zonas de influencia del proyecto, su caracterización y la puesta en práctica de medidas tanto de compensación como de mitigación, en aquellas poblaciones cercanas al Gasoducto y en especial con las comunidades indígenas Wayuú, del sector de la Guajira.

El Ministerio del Medio Ambiente expidió el 25 de julio de 1994, la Licencia Ambiental # 204, autorizando la construcción del Gasoducto. Atendidas todas las recomendaciones del Ministerio del Medio Ambiente y con los recursos económicos preparados, el Acta de Iniciación de dicho contrato se firmó el 14 de diciembre de 1994, dando inicio a la construcción el 21 de enero de 1995, con una terminación de esta fase el 24 de febrero de 1996. Centragas subcontrató la construcción con la firma Techint y la interventoría de la misma, con la firma Promigas.

El gasoducto Ballena - Barrancabermeja cuenta con una planta Deshidratadora de Gas en Ballena (km 0 +000), indispensable para mantener el gas dentro de las condiciones de humedad exigidas para su transporte y una Estación Terminal en Barrancabermeja (km 578,8 + 000), sistema de telecomunicaciones a lo largo del trazado, estaciones de lanzamiento y recepción de raspadores y válvulas de corte o seccionamiento, entre otras.

Los 578,8 km de construcción de la línea principal se realizaron en tubería de 18 pulgadas de diámetro, con un espesor de 0.344" y calidad API 5LX-60; los 199 km de ramales de conducción de gas hasta las 31 poblaciones beneficiarias del

proyecto en su etapa inicial, fueron construidos en tubería de 2" a 4" de diámetro, calidad API 5L Gr. B. En la Tabla 4 se muestran las generalidades de cada ramal.

**Tabla 4.** Ramales del Gasoducto Ballena – Barrancabermeja.

TRAMO	MUNICIPIO	ABSCISA	DEPARTAMENTO	DIAMETRO (Pulgadas)	LONGITUD (Kilómetros)
Troncal				<b>18</b>	<b>578,807</b>
Ramal 1	Hato Nuevo*	81.098	La Guajira		
Ramal 2	Papaya*	90.065	La Guajira	2	7,23
Ramal 3	Barrancas*	93.785	La Guajira	2	0.06
Ramal 4	Fonseca*	105.529	La Guajira	2	
Ramal 5	San Juan del Cesar*	127.640	La Guajira	2	1.4
Ramal 6	El Molino*	130.494	La Guajira	2	0.06
Ramal 7	Villanueva*	139.983	La Guajira	2	5.62
Ramal 8	Urumita*	145.445	La Guajira	3	3.84
Ramal 9	La Paz*	169.770	Cesar	4	11.276
Ramal 10	Valledupar*	169.770	Cesar	2	4.599
Ramal 11	San Diego	177.917	Cesar	2	3,200
Ramal 12	Agustín Codazzi	214.596	Cesar	2	4,159
Ramal 13	Casacará	238.385	Cesar	2	7,497
Ramal 14	Becerril	246.186	Cesar	2	12,049
Ramal 15	La Jagua de Ibirico	265.030	Cesar	2	10,853
Ramal 16	Palmita	280.786	Cesar	2	5,846
Ramal 17	Rincón Hondo	293.029	Cesar	2	0,024
Ramal 18	Chiriguana	293.635	Cesar	2	11,621
Ramal 19	San Roque	305.230	Cesar	2	1,123
Ramal 20	Curumaní	320.029	Cesar	2	8,216
Ramal 21	Sabanagrande	SRC **	Cesar	2	0,003
Ramal 22	Pailitas	351.727	Cesar	2	3,622
Ramal 23	El Burro	358.898	Cesar	2	0,048
Ramal 24	Tamalameque/El Banco	858.884	Magdalena	3	17,133
Ramal 25	Tamalameque/El Banco	358.884	Magdalena	3	27,948
Ramal 26	Pelaya	379.174	Cesar	2	1,307
Ramal 27	La Mata	388.198	Cesar	2	3,808
Ramal 28	La Gloria	388.198	Cesar	2	15,212
Ramal 29	Gamarra	424.218	Cesar	2	10,941
Ramal 30	Aguachica	424.318	Cesar	2	0,010
Ramal 31	San Alberto	492.497	Cesar	2	12,708
<b>TOTAL GASODUCTOS</b>					<b>157,328</b>

\* Ramal y City Gate propiedad de Promigas

\*\*Sale del ramal a Curumaní

Fuente: ECOGAS

La capacidad nominal de transporte del gasoducto Ballena - Barrancabermeja es del orden de 108 mpc/d, a condiciones de presión de 1,200 psig en la Estación Ballena y 300 psig en Barrancabermeja, utilizando sólo la presión de los campos de producción de Chuchupa (costa - afuera). Esta capacidad se incrementó mediante la instalación de Estaciones compresoras.

En la actualidad cuenta con las Estaciones Compresoras de Hatonuevo y Norean las cuales son operadas por Uniwhale de Colombia E U y la Estación compresora de Casacará que sirve de soporte al sistema y bajo la responsabilidad de Ecopetrol su operabilidad. Con estas Estaciones compresoras la capacidad de transporte es del orden de 160 mpc/d.

Beneficia directamente a 31 poblaciones de los Departamentos de La Guajira, Cesar, Magdalena y Santander. Su interconexión con los otros gasoductos troncales facilita el transporte de este gas hasta Cali y Bogotá. Durante el primer semestre de 1998 su operación fue vital para enfrentar con éxito los efectos del fenómeno de El Niño.

### **2.3.1. Estaciones Compresoras<sup>4</sup>.**

La función de una estación compresora de gas es elevar la presión del fluido en la línea, con el fin de suministrarle la energía necesaria para su transporte. En la estación el flujo inicia su recorrido por la línea de succión, pasando por equipos de subprocesos como el Cromatógrafo, registra algunos parámetros que miden la Calidad del gas, el Slug Catcher, en el se expande el gas, ayudando a separar los condensados, Filtro de Succión o Separador, extrae impurezas sólidas, Medidor Ultrasónico de flujo, registra y almacena datos de presión, temperatura, volumen y caudal, Higrómetro, muestra temperaturas de rocío. El gas continúa su recorrido a los compresores, entrando a los "scrubbers" de Succión y de combustible, estos

---

<sup>4</sup> <http://www.ecogas.com.co/subseccion.asp?id=24>

extraen aún mas los líquidos del gas, sigue a los cabezales de succión y entra al compresor Finalmente, el gas a una mayor presión, sale por la línea de descarga de las compresoras, para bajar su temperatura el gas pasa a través de los enfriadores o "Coolers", entra al filtro de descarga o Coalescente, este ayuda a separar los líquidos del gas, seguido hace registro en el Medidor Ultrasónico de flujo de esta línea.

Toda estación cuenta también con un suministro de potencia para la puesta en marcha de los compresores, un motor por cada compresor, un ventilador para el sistema de enfriamiento, un sistema de válvulas intrínscico en el funcionamiento de los compresores, garantizando la presión de trabajo deseada, un pequeño compresor para el accionamiento de válvulas y toda la instrumentación necesaria para el control del proceso de compresión.

Además, dentro de la estación se cuentan con tanques de almacenamiento para los lubricantes y refrigerantes que son utilizados en los motores, y para los condensados drenados en la operación, esto último, con el propósito de proteger y conservar el entorno natural. Es importante señalar que en cada estación de compresión de gas natural, se cuenta con el plan de manejo ambiental dando cumplimiento a las disposiciones legales nacionales sobre la materia.

**2.3.1.1. Estación Compresora de Hato Nuevo.** Está ubicada en inmediaciones de la trampa de raspadores del kilómetro 79 del gasoducto Ballena-Barrancabermeja, en el municipio de Hato Nuevo, departamento de la Guajira. Esta estación de compresión de gas natural entró en funcionamiento en el mes de mayo de 1999 y su capacidad de compresión es de 200 mpc/d.

**2.3.1.2. Estación Compresora de Casacará.** Ubicada al sur del departamento del Cesar, en inmediaciones del corregimiento de Casacará en el municipio Agustín Codazzi, instalada en el kilómetro 238+385 del Gasoducto Ballena - Barrancabermeja. Inici operaciones a partir del 12 de diciembre de 1997. Cuenta con una capacidad de compresión de 200 mpc/d. Hoy día esta bajo responsabilidad de Ecopetrol.

**2.3.1.3. Estación Compresora de Norean.** Se encuentra localizada, en el municipio de Gamarra, en el sector conocido como Mahoma. Esta estación esta ubicada en cercanías de la trampa de raspadores localizada en el kilómetro 412 del gasoducto Ballena-Barrancabermeja. la Estación entró en funcionamiento en marzo de 1999.

**2.3.1.4. Estación Compresora de Barrancabermeja.** Se encuentra ubicada en el Centro Operacional de Gas de Barrancabermeja (COGB), en inmediaciones del Campo Galn, cerca de las instalaciones de Petrosantander y Centragas, vecinas al Complejo Industrial de Barrancabermeja. Inici operaciones a partir del 1 de diciembre del mismo año y cuenta actualmente con una capacidad de compresión de 200 mpc/d.

En la tabla 5 se muestran las presiones efectivas de cada una de las compresoras del gasoducto Ballena – Barrancabermeja, con su respectiva presión de succión y descarga.

**Tabla 5.** Presiones Efectivas del Gasoducto Ballena - Barrancabermeja.

PUNTO DE CONTROL	PRESIONES CRITICAS (PSIG)	
	Mínimas	Máxima
Ballena	1100	1170
HatoNuevo (S) / (D)	900 / 1100	1000 / 1170
Casacará (S) / (D)	700 / 1100	850 / 1170
Noreán (S) / (D)	610 / 1100	850 / 1170
Barrancabermeja (S)	650	950

(S) Presión de Succión

(D) Presión de Descarga

Fuente: <http://beo.ecogas.com.co/default.html>

### **3. DESCRIPCIÓN DE LA REGIÓN BENEFICIADA CON EL PROYECTO**

Con el propósito de buscar alternativas energéticas para suplir la basta demanda de combustible en el mundo, se promueve por parte del Gobierno Colombiano la Masificación del Gas como recurso energético para el consumo en la mayoría de las viviendas de nuestro país.

En la actualidad en los municipios de Regidor, Ríoviejo, Arenal y Morales en el Sur del departamento de Bolívar, se utiliza gas propano o también denominado gas licuado del petróleo (GLP) almacenado en cilindros de 20, 40 y 100 libras, como recurso energético en los domicilios. También se usa inadecuadamente madera seca, llamado comúnmente en la región “fogón de leña” como combustible para la cocción de alimentos, que trae como consecuencia la tala indiscriminada de árboles afectando el medio ambiente y además es causante de enfermedades pulmonares en las personas que utilizan este mecanismo para la preparación de alimentos.

Con el estudio y diseño del gasoducto que permite la implementación y desarrollo de redes domiciliarias de gas en estos municipios del Sur de Bolívar, se mejorará la calidad de vida de los habitantes en las cabeceras municipales, y con este se evita la especulación, la escasez y abuso de precios por parte de las empresas comercializadoras del gas propano, se minimiza la utilización de cilindros para ataques terroristas por parte de los grupos armados al margen de la ley, considerando que esta región ha sido bastante afectada por la violencia generada por estos grupos.

La región beneficiada con el gasoducto que permite la implementación de redes

domiciliarias de gas natural, comprende los municipios de Regidor, Ríoviejo, Arenal y Morales en el Departamento de Bolívar. Se estudiarán las posibilidades de conexión al gasoducto Ballena - Barrancabermeja, específicamente en los ramales ubicados en los municipios de La Gloria y Gamarra, ubicados en el Departamento del Cesar. En la Figura 6 se observan las diferentes zonas que harán parte del estudio para el diseño del gasoducto.

**Figura 6.** Mapa de la Región Beneficiada con el Proyecto.



Fuente: Enciclopedia Microsoft Encarta 2005.

### **3.1. DESCRIPCIÓN DEL MUNICIPIO DE REGIDOR.**

Regidor es un joven municipio ubicado al sur del Departamento de Bolívar. Fue segregado del municipio de Río viejo, Departamento de Bolívar y erigido como entidad territorial mediante la ordenanza No. 040 del treinta (30) de Noviembre de 1995 expedida por la asamblea departamental de Bolívar.

El territorio esta conformado por 39600 hectáreas. Su casco urbano se encuentra localizado a 464 km. de la ciudad de Cartagena D.T. Su temperatura promedio es de 29 ° C. El municipio esta bañado por el Río Magdalena, contando a su vez con varias ciénegas, quebradas y corrientes menores. En la tabla 6 se muestran los principales datos geográficos del municipio.

#### **3.1.1. Localización.**

El municipio de regidor se encuentra ubicado al norte de Colombia, al sur occidente del Departamento de Bolívar, siendo su posición Geoastronómica es 8° 5" de latitud Norte y 73° 5"de longitud occidental.

Limita al norte con el municipio de El Peñón, al Sur con el municipio de Río Viejo, al occidente con el municipio San Martín de Loba y al oriente con el Río Magdalena. Ver Figura 7.

#### **3.1.2. Hidrografía.**

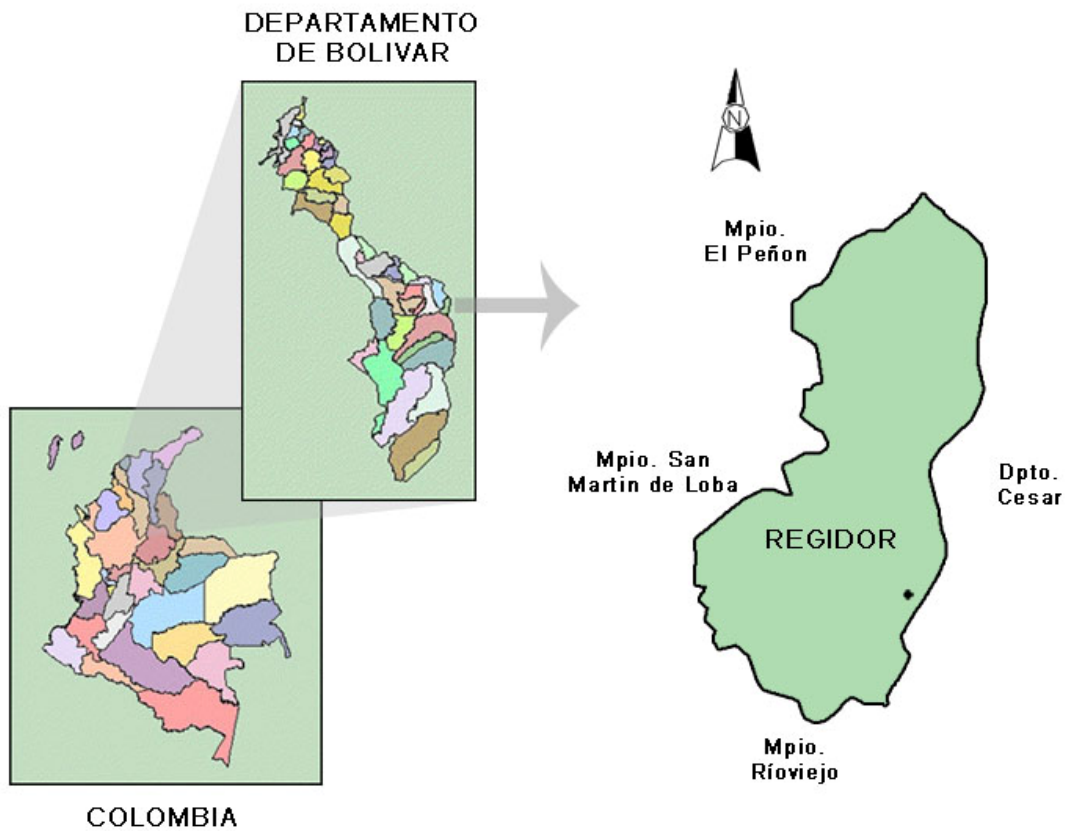
El Río Magdalena pasa por el costado oriental del municipio de Regidor, sirviendo de base para el transporte de alimentos, combustibles y personas y para la comunicación vía fluvial con otras zonas del país. El municipio se encuentra influenciado por un número considerable de ciénegas, como son la ciénaga El Mesón, El Congal, Pozo escondido, El Limón, Eneas, El Piñal, El Socorro y Trabajosa.

**Tabla 6.** Datos Geográficos de Regidor.

<b>Área total del municipio</b>	39600 Hectáreas
<b>Numero de corregimientos</b>	3
<b>Numero de veredas</b>	6
<b>Altura sobre el nivel del mar</b>	36 metros
<b>Distancia de Cartagena</b>	464 km.
<b>Coordenadas</b>	8° 5" latitud norte 73° 5" longitud oeste
<b>Temperatura media</b>	29 ° C

Fuente: Esquema de Ordenamiento Territorial Regidor.

**Figura 7.** Localización Geográfica del Municipio de Regidor.



Fuente: Esquema de Ordenamiento Territorial Regidor.

Este municipio cuenta con un alto potencial hidrográfico, bañado por los caños Olivares, Poneolla, Solera, Don Diego, Muerto, Elvira, quebrada La Oscura y el brazo Papayal.

### **3.1.3. Aspecto Socio - Económico.**

Las actividades económicas del municipio de Regidor se establecen en el sector primario en donde sobresale el cultivo de maíz como principal renglón de la producción agrícola y sustento económico de la población.

Otros cultivos que soportan la economía de Regidor están relacionados con la producción de sorgo, yuca, plátano y algunos frutales sobresaliendo la naranja.

En cuanto a la actividad pecuaria esta desarrollada en bovinos. Dentro de este mismo renglón se desarrolla en menor escala la producción porcina y pesquera.

### **3.1.4. Población.**

El Municipio de Regidor cuenta con una población total de 9740<sup>5</sup> habitantes de acuerdo a las estadísticas del DANE y que fueran proyectadas con base en la segregación que hicieran de población de los municipios de Río Viejo y San Martín de Loba. La totalidad de la población está distribuida, 3383 (34.73%) en la cabecera municipal y 6357 (65.27%) en el sector rural.

En el casco urbano se encuentran ubicadas 591 viviendas<sup>6</sup> con sus respectivos servicios de agua, luz y algunas con teléfono.

---

<sup>5</sup> Censo DANE 1993, proyección ajustada a 2005.

<sup>6</sup> Dato Esquema de Ordenamiento territorial (EOT).

### **3.2. DESCRIPCIÓN DEL MUNICIPIO DE RÍOVIEJO.**

Rioviejo es un municipio ubicado al sur del Departamento de Bolívar, cuya fundación se remonta al año 1750.

El territorio está conformado por 1.234 Km<sup>2</sup> (123400 Has). Su casco urbano se encuentra localizado a 450 km. de la capital del departamento (Cartagena D.T.). El clima es cálido, con una temperatura que varía entre los 28° y los 30° centígrados. Se pueden distinguir dos regiones, la Oriental cenagosa bañada por el río Magdalena y sus brazos y la Occidental, plana con terrenos montañosos. En la tabla 7 se muestran los principales datos geográficos del municipio.

#### **3.2.1. Localización.**

El municipio de Río Viejo se encuentra localizado al sur del departamento de Bolívar. Su posición geográfica es 9° 14' 17" de latitud Norte y 70° 18' 46" de longitud oeste; tiene una altura sobre el nivel del mar de 49 metros.

Los límites del municipio son: al norte con los municipios del Regidor, San Martín de Loba y Barranco de Loba (Bolívar); al sur con los municipios de Arenal y Morales (Bolívar); al oeste con los municipios de Tiquisio y Montecristo (Bolívar); y al este con el Río Magdalena como límite natural y el departamento del Cesar. Ver Figura 8.

#### **3.2.2. Hidrografía.**

El casco urbano de Río Viejo se encuentra ubicado sobre el río Magdalena, más exactamente en la margen izquierda del Brazo de Morales y la margen derecha del Brazo de Papayal, además una buena parte del municipio se localiza entre el brazo principal o navegable del río Magdalena y la zona que comprende el Brazo

del Dique y el Brazo de Morales, por lo cual se caracteriza por poseer grandes, ricas y permanentes zonas hídricas.

**Tabla 7.** Datos Geográficos de Ríoviejo.

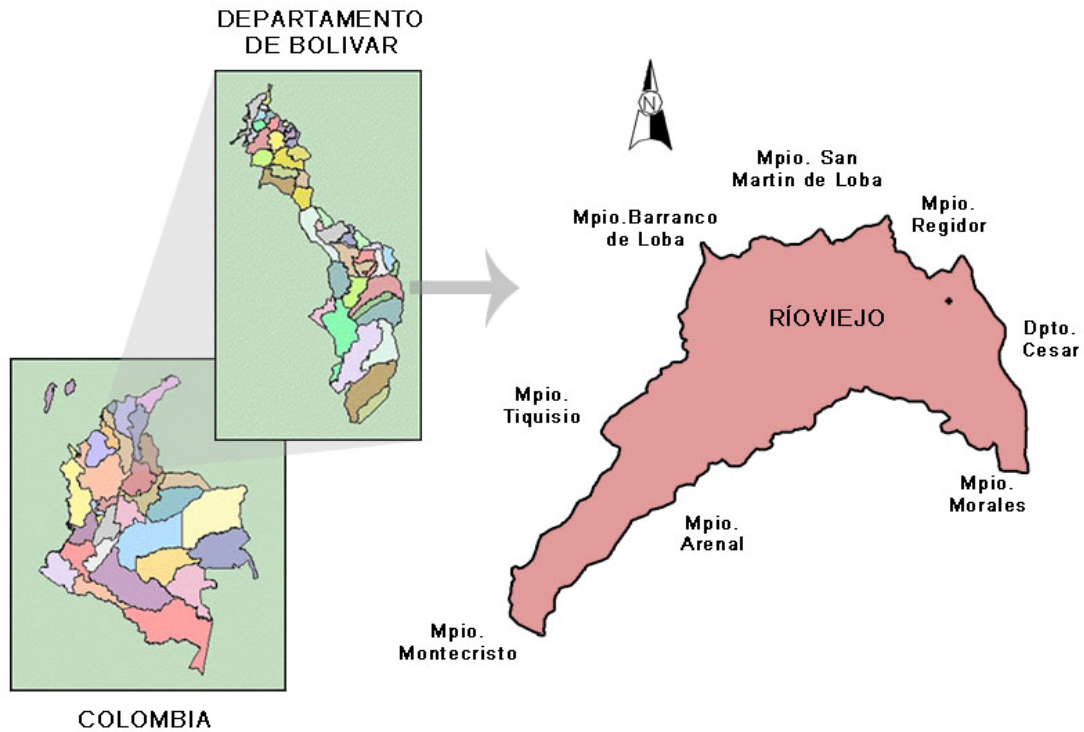
<b>Área total del municipio</b>	123400 Hectáreas
<b>Numero de corregimientos</b>	9
<b>Numero de veredas</b>	54
<b>Altura sobre el nivel del mar</b>	49 metros
<b>Distancia de Cartagena</b>	450 km.
<b>Coordenadas</b>	9° 14' 17" latitud norte 70° 18' 46" longitud oeste
<b>Temperatura media</b>	29 ° C

Fuente: Esquema de Ordenamiento Territorial Ríoviejo.

Esta ubicación le permite además convertirse en un punto de transición importante para el transporte fluvial de pasajeros y de mercancías entre los municipios de la región.

Los principales humedales del municipio son las ciénegas El Uvero, La Victoria. Playón Nuevo, Arranca pellejo, Montes Fioca, EL medio y Las Palmas, Pajal y Siepetuerta y las Pozas Rancho Nuevo, Caimanes, La Ceiba, Los Arenosos, Cantagallo y la Mula, ubicados principalmente en las zonas correspondientes a las zonas del Brazo del Dique. Entre otras están La Quebrada de Norosí, La Dorada. San Pedro, La Oscura, El Firme, Demande, Cristal, Azul, Caño Hondo; los caños Cardozo y los Delfines y los Arroyos Caño Mocho, La Piedra y Polira.

**Figura 8.** Localización Geográfica del Municipio de Ríoviejo.



Fuente: Esquema de Ordenamiento Territorial Regidor.

### **3.2.3. Aspecto Socio – Económico.**

La economía de Ríoviejo se basa en la agricultura, minería, pesca, ganadería, fuentes de empleo en el sector público y en el comercio informal.

Los principales productos agrícolas de la región son: yuca, plátano, maíz y ajonjolí, pero además se producen otros productos como el borjón y una gran cantidad y variedad de frutas tropicales como coco, mango, tamarindo, guayaba y el jobo.

En referencia al sector pesquero las principales especies de la zona son: El Bagre, Bocachico, Doncella y Sardina. En el sector ganadero la producción principal es la bovina.

#### **3.2.4. Población.**

El municipio de Ríoviejo cuenta con 33922<sup>7</sup> habitantes, distribuidos 6960 (20.52%) en la cabecera municipal consolidada y 26962 (79.48%) en el ámbito rural incluyendo, la población dispersa de la cabecera.

Los datos registrados en el EOT muestran un total de 811 viviendas en la cabecera consolidada, esta cifra no incluye las edificaciones con actividad comercial, educativa, salud, institucional, etc., que suman 191 predios, para un total de 1002 predios en la cabecera consolidados.

### **3.3. DESCRIPCIÓN DEL MUNICIPIO DE ARENAL.**

Arenal es un municipio ubicado al sureste del Departamento de Bolívar. Fue creado como Municipio mediante la Ordenanza No. 18 del 16 de Mayo de 1996. Su territorio fue segregado del municipio de Morales del cual venia haciendo parte, como corregimiento durante muchos años.

Este municipio tiene una extensión de 534 km<sup>2</sup>. La temperatura promedio es de 29 ° C. Los mayores afluentes del municipio son las quebradas de Arenal y la Dorada. En la tabla 8 se muestran los principales datos geográficos del municipio.

#### **3.3.1. Localización.**

El municipio de Arenal se encuentra localizado al sureste del departamento de Bolívar. Su posición geoespacial es 8° 18' de latitud Norte y 73° 52' de longitud oeste; tiene una altura sobre el nivel del mar de 65 metros.

---

<sup>7</sup> Calculo del Equipo Plan de Desarrollo en el 2005, con base en datos del DANE.

Limita por el norte con el municipio de Ríoviejo, por el este con el municipio de Morales, por el oeste, también, con el municipio de Ríoviejo y de Montecristo y por el sur nuevamente con el municipio de Morales. Ver Figura 9.

**Tabla 8.** Datos Geográficos de Arenal.

<b>Área total del municipio</b>	53400 Hectáreas
<b>Numero de corregimientos</b>	3
<b>Numero de veredas</b>	9
<b>Altura sobre el nivel del mar</b>	65 metros
<b>Distancia de Cartagena</b>	460 km.
<b>Coordenadas</b>	8° 18' latitud norte 73° 52' longitud oeste
<b>Temperatura media</b>	29 ° C

Fuente: Esquema de Ordenamiento Territorial Arenal.

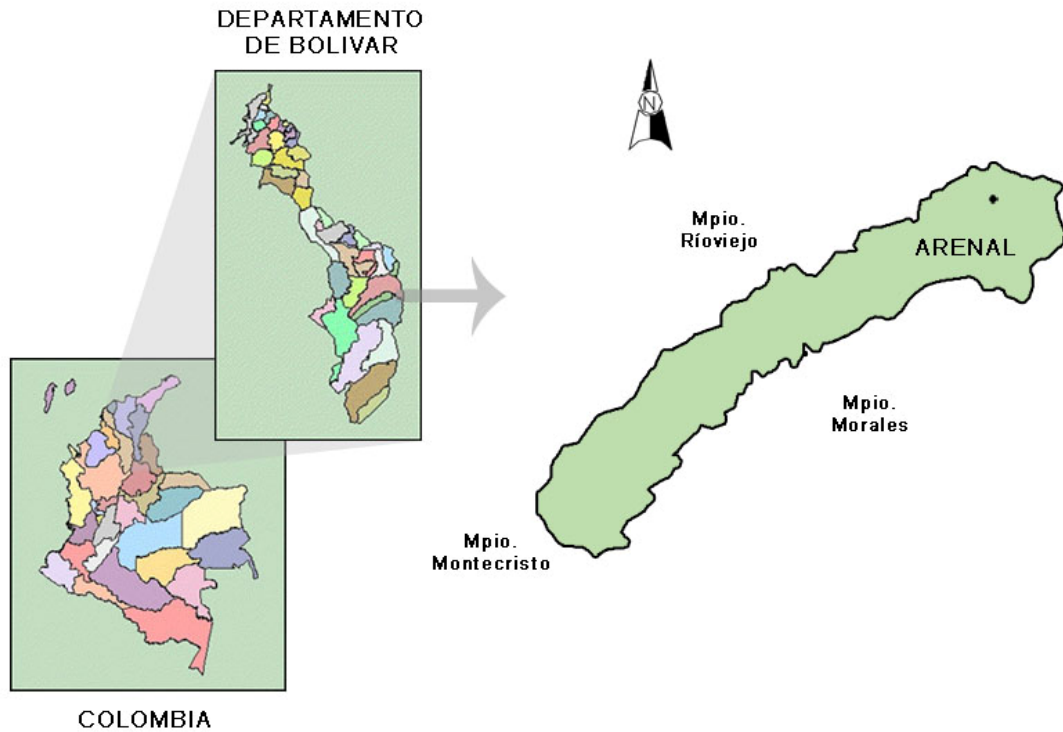
### 3.3.2. Hidrografía.

La hidrografía del municipio es muy variada, se destaca el hecho, que las quebradas de Arenal y la Dorada atraviesan el territorio municipal desde el sur occidente hasta el nororiente, siendo la primera la mayor afluente del municipio, además cuenta con las quebradas de Chiquillo y San Agustín.

Los espejos de agua del municipio los constituyen toda una serie de ciénagas y caños, destacándose: la ciénaga de Morrocroy y el caño de Carnizala.

También se destaca el brazo del río Magdalena, que en su recorrido pasa por el corregimiento de Buenavista, constituyéndose de esta manera en una vertiente muy importante, ya que es la vía de acceso fundamental del municipio.

**Figura 9.** Localización Geográfica del Municipio de Arenal.



Fuente: Esquema de Ordenamiento Territorial Arenal.

### **3.3.3. Aspecto Socio – Económico.**

Tradicionalmente, a lo largo de la historia del municipio de Arenal, la ganadería, la minería y el comercio han sido los renglones sobresalientes, constituyéndose en la base de la estructura económica del municipio. El renglón de la ganadería se basa en la producción bovina.

Esta es una zona considerada netamente minera rica en oro y mármol. La actividad comercial se genera en el casco urbano del municipio destacándose establecimientos comerciales como farmacias, graneros, restaurantes, panaderías, etc. La agricultura no representa un sector importante en la economía del municipio, pero se destacan cultivos de maíz, yuca, entre otros.

### **3.3.4. Población.**

El municipio de Arenal cuenta con una población total de 10225<sup>8</sup> habitantes de acuerdo a las estadísticas proyectadas del DANE, estos habitantes están distribuidos 5341 (52.23%) en la cabecera municipal y 4884 (47.77%) en el sector rural.

En el casco urbano se encuentran ubicadas 860 viviendas<sup>9</sup> con sus respectivos servicios de agua, luz y algunas con teléfono.

### **3.4. DESCRIPCIÓN DEL MUNICIPIO DE MORALES.**

Morales se encuentra localizado al sureste del Departamento de Bolívar. Fue creado municipio gracias a la ordenanza No 48 del 7 de noviembre de 1961.

El municipio esta conformado por 1338,60 Km<sup>2</sup> (133860 Has). Su cabecera municipal se encuentra localizada a 475 km. de la ciudad de Cartagena D.T. Su temperatura promedio es de 28 ° C. El municipio se une por carretera con algunas poblaciones cercanas, pero el principal medio de comunicación es el fluvial, utilizando los Brazos El Dique, Morales, y Simití. En la tabla 9 se muestran los principales datos geográficos del municipio.

#### **3.4.1. Localización.**

El municipio de Morales se encuentra localizado al sureste del departamento de Bolívar. Su cabecera municipal se localiza en la margen oriental del brazo de Morales del río Magdalena en la isla de su nombre, a los 8° 16' 48" de latitud norte y 73° 52' 19" de longitud oeste; tiene una altura sobre el nivel del mar de 25 metros.

---

<sup>8</sup> Censo DANE 1993, proyección ajustada a 2005.

<sup>9</sup> Dato Esquema de Ordenamiento territorial (EOT).

**Tabla 9.** Datos Geográficos de Morales.

<b>Área total del municipio</b>	133 860 Hectáreas
<b>Numero de corregimientos</b>	10
<b>Altura sobre el nivel del mar</b>	25 metros
<b>Distancia de Cartagena</b>	475 km.
<b>Coordenadas</b>	8° 16' 48" latitud norte 73° 52' 19" longitud oeste
<b>Temperatura media</b>	28 ° C

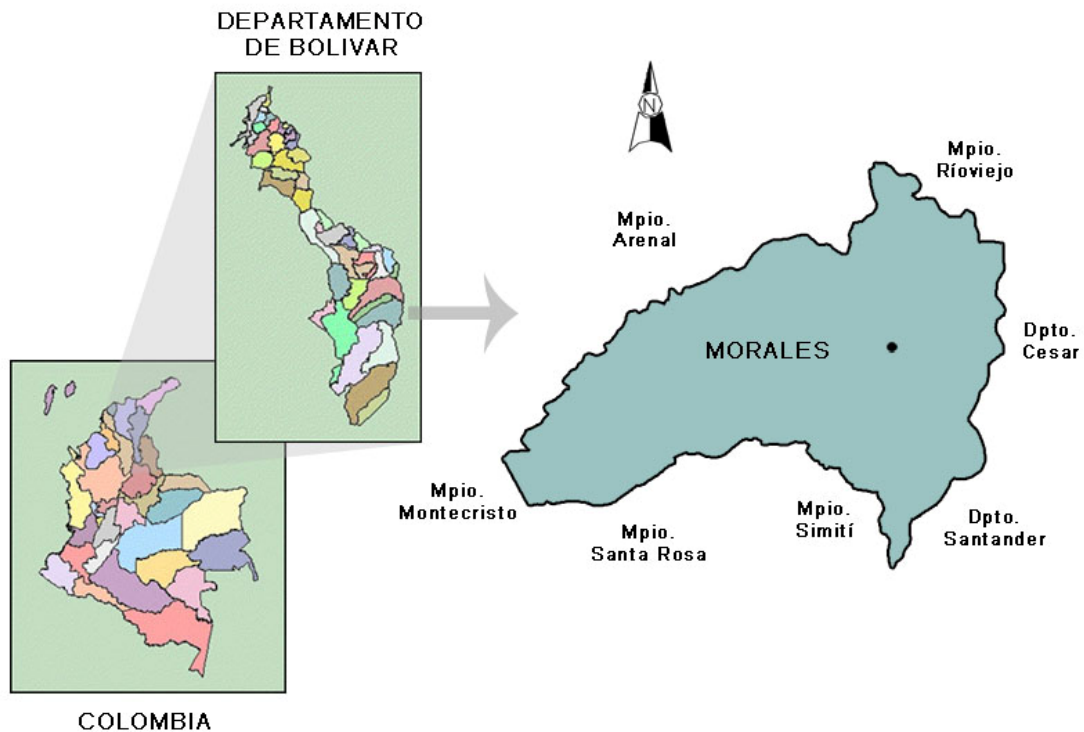
Fuente: Esquema de Ordenamiento Territorial Morales.

Limita al norte con Arenal, por el este con Río Viejo y Gamarra en el departamento del Cesar, por el sur con Simití, Santa Rosa del Sur y el departamento de Santander y por el Oeste con Montecristo. Ver Figura 10.

### **3.4.2. Hidrografía.**

Las características hidrográficas del municipio de Morales están determinadas por la fisiografía de tal forma que se diferencian dos regiones con características hidrológicas completamente diferentes; la primera, al occidente de los brazos Simití – Morales que hace parte de la red hidrográfica de la Serranía de San Lucas y la segunda al oriente, entre los brazos Simití - Morales y el río Magdalena que hace parte de la red de la llanura aluvial de desborde del río Magdalena. Sin embargo, todas las corrientes y cuerpos de agua del municipio hacen parte de la Gran cuenca del río Magdalena, ya sea por que forman cuencas, subcuencas y microcuencas que desembocan directamente al río, a sus brazuelos o a algunas ciénagas como sucede en la región occidental, o por que hacen parte del complejo cenagoso de la región Oriental.

**Figura 10.** Localización Geográfica del Municipio de Morales.



Fuente: Esquema de Ordenamiento Territorial Morales.

### **3.4.3. Aspecto Socio – Económico.**

Su economía se basa especialmente en la ganadería, la pesca que es abundante y algo de agricultura y minería. En el municipio de Morales la producción pecuaria se encuentra liderada por las especies Bovinas. La pesca tiene importancia social y económica en el municipio, esta es totalmente artesanal y se realiza por medio de métodos rudimentarios, tales como las atarrayas, chinchorros y trasmallos.

#### **3.4.4. Población.**

El Municipio de Morales cuenta con una población total de 23936<sup>10</sup> habitantes de acuerdo a las estadísticas del DANE, de los cuales 4769 (19.90%) pertenecen a la población urbana y 19167 (80.10%) a la población rural.

De acuerdo a los resultados del estudio de estratificación socio-económico, en el área urbana de Morales hay 1107<sup>11</sup> viviendas.

---

<sup>10</sup> Censo DANE 1993, proyección ajustada a 2005.

<sup>11</sup> Dato Esquema de Ordenamiento territorial (EOT).

## **4. DISEÑO DEL GASODUCTO**

### **4.1. RUTA DEL GASODUCTO**

Se consideraron dos alternativas de conexión al gasoducto troncal Ballena-Barrancabermeja, basados en la información cartográfica obtenida en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi y la Corporación Autónoma Regional del Sur de Bolívar, CSB, además de la colaboración de los municipios que hacen parte del estudio del diseño conceptual del gasoducto. Se estudiaron las posibles rutas teniendo en cuenta la topografía del terreno, así como el impacto ambiental que se pueda originar sobre la zona de estudio, para el trazado de la línea:

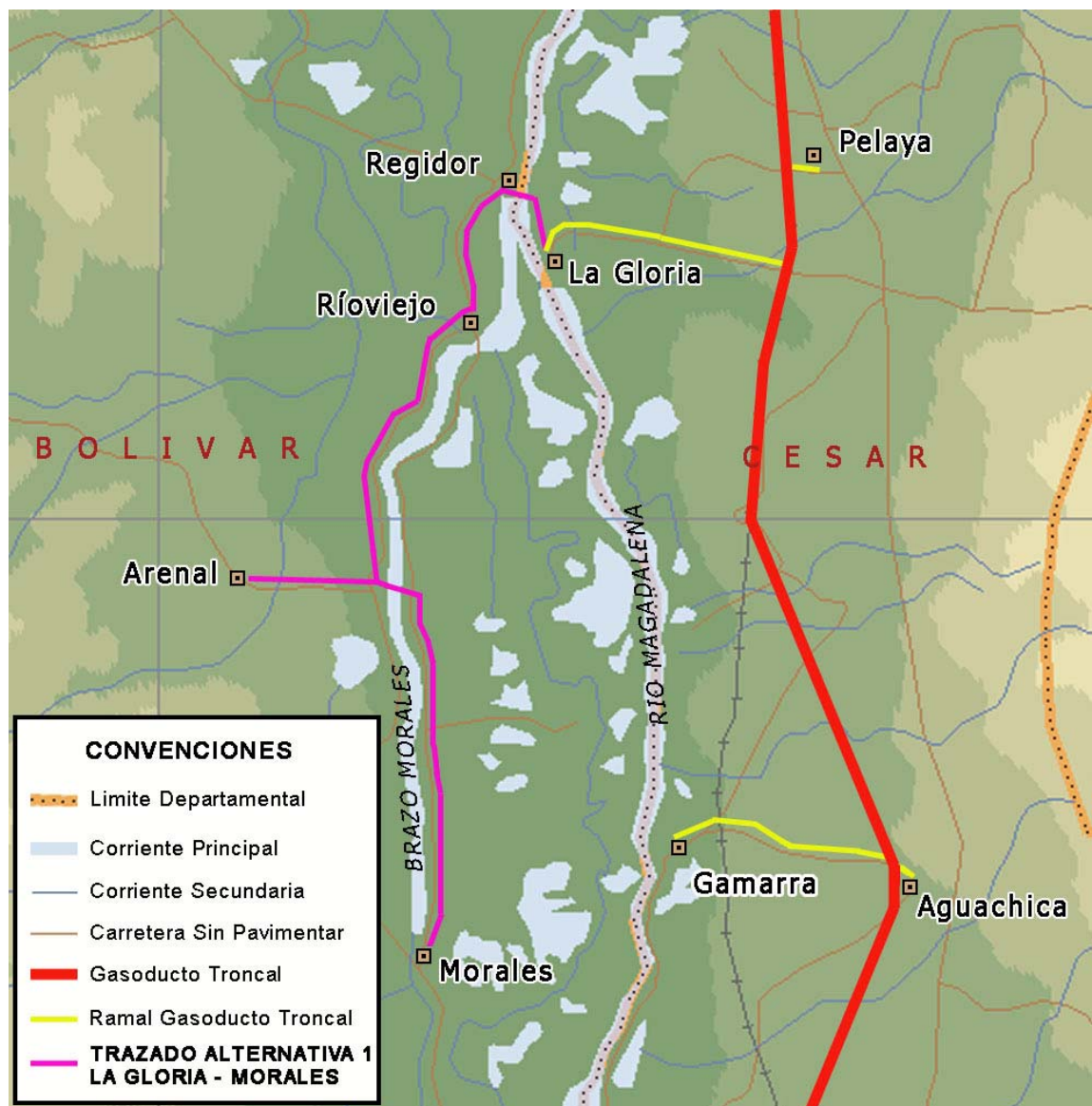
#### **4.1.1. Alternativa 1 (La Gloria – Morales).**

Esta alternativa comprende un trazado de Norte a Sur, que parte del municipio de La Gloria, Departamento de Cesar, donde se conecta al Ramal La Gloria (15.2 Km. de longitud al gasoducto troncal) y termina en la cabecera del municipio de Morales, este tramo arroja una longitud de 50,9 Km. Así mismo existe el Ramal de Arenal de 7.0 Km. de longitud, para una totalidad aproximada de 57.9 Km. de tubería. El gasoducto pasará por una topografía relativamente plana, que incluye una altitud máxima de 65 m.s.n.m. con un grado bajo de complejidad. La figura 11 muestra el trazado de esta alternativa.

En el trayecto del gasoducto se encontrarán las cabeceras municipales de Regidor, Ríoviejo, Arenal y Morales. Además, de algunos centros poblados tales como El Descanso, Buenavista, Carnisal, La Palma, El Esfuerzo, Alegacrin, Bello País, Las Delicias y Guataca.

El gasoducto cruza algunos puntos importantes como son el Río Magdalena y el Brazo Morales, así como los caños de Juan Gabriel y Cardoza, los cuales requieren un estudio adecuado para determinar el sitio más favorable para sus cruces; asimismo se encontrarán algunos cruces de carreteras sin pavimentar, caminos y zonas de cultivo. En la tabla 10 se observa la ubicación aproximada de los puntos especiales que se encuentran en el trayecto de este gasoducto.

**Figura 11.** Trazado de la Línea del Gasoducto La Gloria - Morales.



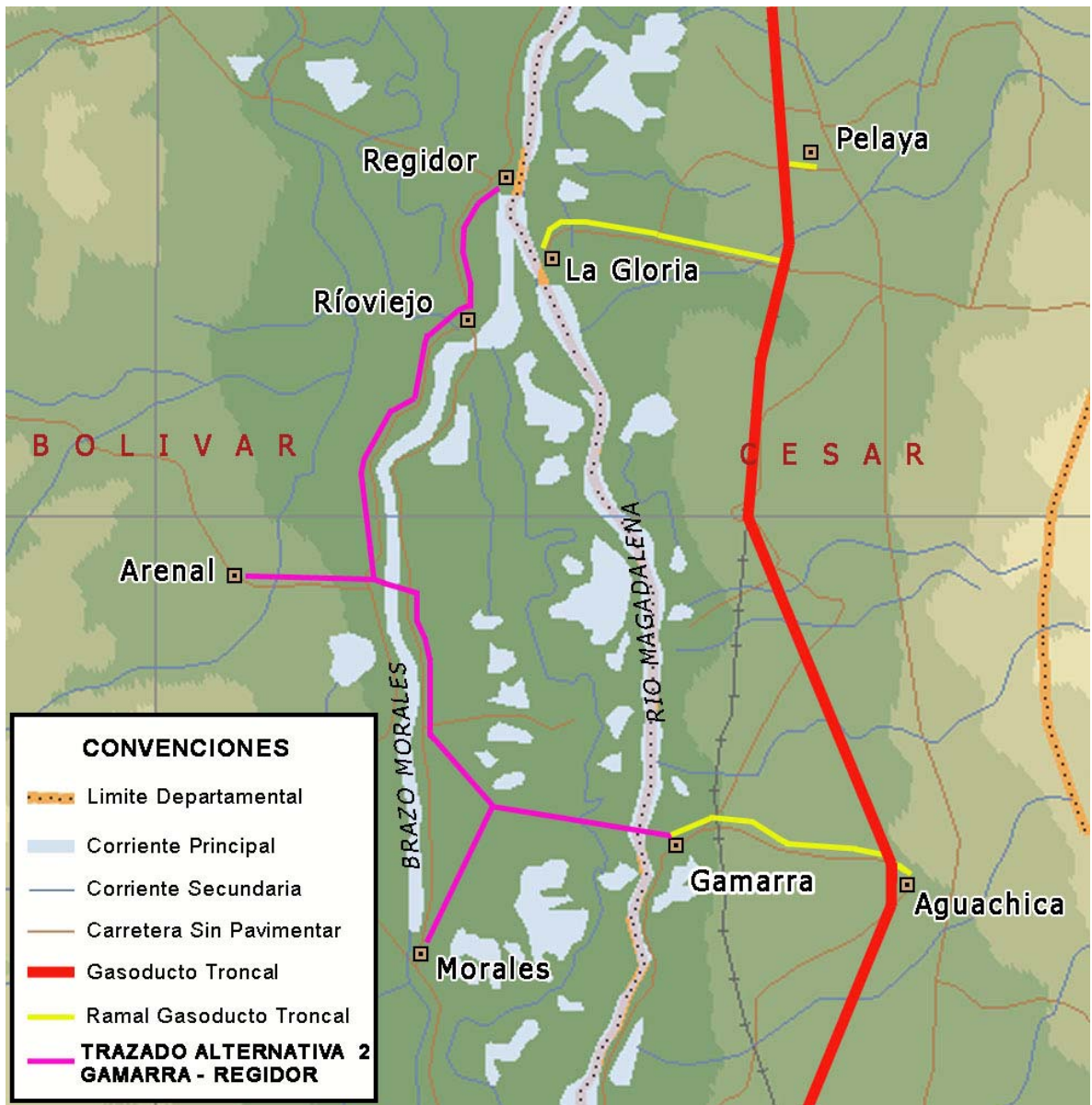
**Tabla 10.** Ubicación aproximada de Puntos Especiales en Trazado de la Línea del Gasoducto La Gloria – Morales.

<b>ABSCISAS</b>	<b>PUNTOS ESPECIALES</b>
Km. 0 +000	Ramal La Gloria
Km. 3.8 +000	Riío Magdalena
Km. 4.9 +000	Cabecera municipal de Regidor
Km.12.8 +000	Cabecera municipal de Ríoviejo
Km. 14.5 +000	Caño Juan Gabriel
Km. 29.0 +000	Ramal Arenal
Km. 2.5 +29.0	Caño Cardoza
Km. 7.0 +29.0	Cabecera municipal de Arenal
Km. 29.4 +000	Brazo Morales
Km. 50.9 +000	Cabecera municipal de Morales

#### **4.1.2. Alternativa 2 (Gamarra – Regidor).**

La segunda y más larga, comprende un trazado de Sur a Norte, que parte del municipio de Gamarra, Departamento de Cesar, donde se conecta al Ramal Gamarra (10.9 Km. de longitud al gasoducto troncal) y termina en la cabecera del municipio de Regidor, este tramo arroja una longitud de 50,6 Km. Asimismo existen los Ramales de Morales y Arenal, que tiene una longitud de 8.1 y 7.0 kilómetros, respectivamente, para una totalidad aproximada de 65.7 Km. de tubería. Al igual que la primera alternativa, el gasoducto pasará por una topografía relativamente plana, que incluye una altitud máxima de 65 m.s.n.m. con un grado bajo de complejidad. La figura 12 muestra el trazado de esta alternativa.

**Figura 12.** Trazado de la línea del Gasoducto Gamarra - Regidor.



En el trazado de la línea, se encontrarán las cabeceras municipales de Morales, Arenal, Ríoviejo, Regidor y los centros poblados anteriormente mencionados, excluyendo Guataca, Las Delicias y Bello Pais.

El gasoducto cruza algunos puntos importantes como son el Río Magdalena, el Brazo El Dique y el Brazo Morales, así como los caños, Caño Viejo, Cardoza y Juan Gabriel, además se encontrarán algunos cruces de carreteras sin pavimentar, caminos y zonas de cultivo. En la tabla 10 se observa la ubicación aproximada de los puntos especiales que se encuentran en el trayecto de este gasoducto.

**Tabla 11.** Ubicación aproximada de Puntos Especiales en Trazado de la Línea del Gasoducto Gamarra – Regidor.

<b>ABSCISAS</b>	<b>PUNTOS ESPECIALES</b>
Km. 0 +000	Ramal Gamarra
Km. 1.4 +000	Riío Magdalena
Km. 3.4 +000	Brazo El Dique
Km. 9.3 +000	Ramal Morales
Km. 6.6 +9.3	Caño Viejo
Km. 8.1 +9.3	Cabecera municipal de Morales
Km. 25.8 +000	Brazo Morales
Km. 26.6 +000	Ramal Arenal
Km. 2.5 +26.6	Caño Cardoza
Km. 7.0 +26.6	Cabecera municipal de Arenal
Km. 41.1 +000	Caño Juan Gabriel
Km. 42.7 +000	Cabecera municipal de Ríoviejo
Km. 50.6 +000	Cabecera municipal de Regidor

#### **4.2. MODELO DE SIMULACIÓN**

Para realizar la simulación en estado estable del gasoducto, se usó el simulador de procesos HYSYS 3.2, que a continuación se describe.

#### **4.2.1. Simulador de Procesos.**

La representación de un proceso mediante la simulación, implica la determinación de propiedades termodinámicas, físicas y de transporte, con las cuales se realizan los cálculos de transferencia de masa y energía requeridos.

El simulador está constituido por los modelos termodinámicos y físicos, que se utilizan en los cálculos de equilibrio para determinar el número de fases coexistentes, su composición y su cantidad, a unas condiciones dadas de presión y temperatura, Los modelos disponibles en el simulador incluyen ecuaciones de estado, modelos de actividad, métodos empíricos, modelos de presión de vapor y métodos misceláneos, que son factores que influyen en el transporte de gas por tubería.

Para la realización de la simulación en estado estable del gasoducto que permite la implementación y desarrollo de las redes domiciliarias de gas en los municipios del Sur del Departamento de Bolívar, se usó la ecuación de estado de Peng & Robinson (PR) como modelo termodinámico, y la correlación mejorada de Beggs y Brill para realizar el análisis hidráulico.

**4.2.1.1. Utilidades del Simulador.** El simulador cuenta con facilidades predeterminadas, que permiten realizar de forma sencilla los cálculos de varias propiedades.

**4.2.1.2. Corrientes de Materia.** Esta utilidad esta diseñada para crear las corrientes de fluido (gas), necesarias para realizar la simulación. A cada una de estas corrientes se les debe definir propiedades tales como: composición, presión, temperatura y caudal.

**4.2.1.3. Segmento de Tubería.** Esta utilidad es usada para simular una amplia variedad de situaciones en sistemas de tuberías que transportan flujo monofásico, como multifásico, con una estimación rigurosa de la transferencia de calor, pérdidas de presión, régimen de flujo, número Reynolds etc. mediante los cuales, se define la hidráulica del sistema.

Esta utilidad facilita el uso de un segmento de tubería, codos, tee's, curvaturas, uniones, válvulas, etc., necesarios para tener en cuenta la caída de presión producida por estos elementos.

#### **4.2.2. Montaje del Modelo de Simulación.**

La siguiente información fue utilizada para el montaje del modelo de simulación. En el ANEXO A se observa el montaje realizado en Hysys 3.2., para cada una de las alternativas.

**4.2.2.1. Propiedades del Fluido.** Las propiedades del fluido a transportar tienen un impacto significativo sobre el diseño del sistema. Las siguientes propiedades del gas a condiciones determinadas de presión y temperatura son consideradas en la simulación del gasoducto: composición que se muestra en la tabla 12; gravedad específica, calor específico, poder calorífico, factor de compresibilidad, que se observan en la tabla 13. También se tuvieron en cuenta el coeficiente Joule Thompson, coeficiente isentrópico, entalpía, entropía y viscosidad.

**4.2.2.2. Perfil Topográfico.** Con el propósito de describir el comportamiento en estado estable del gasoducto, se adquirió con la ayuda de Instituto Agustín Codazzi, la Corporación Autónoma Regional del Sur de Bolívar (CSB), y las alcaldías de los diferentes municipios que hacen parte del proyecto, el perfil

topográfico del tendido de la línea, tanto del gasoducto troncal como de las dos alternativas, que se introdujo en el simulador de procesos, se observan en las Figuras 13, 14 y 15.

**Tabla 12.** Cromatografía de Diferentes Cargas del Gas Guajira

COMPONENTE	FÓRMULA	COMPOSICIÓN PORCENTAJE MOLAR		
		CARGA ALTA	CARGA MEDIA	CARGA BAJA
Metano	CH <sub>4</sub>	97.9566	97.9171	97.9506
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0.2492	0.2511	0.2662
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0.0629	0.0641	0.0628
i-Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.0174	0.0178	0.0173
n-Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.0081	0.0082	0.0080
Neo- Pentano	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0.0002	0.0002	0.0002
i-Pentano	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0.0064	0.0064	0.0063
n-Pentano	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0.0017	0.0018	0.0017
2,2-Dimetil-Butano	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0.0001	0.0001	0.0001
Ciclopentano	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	0.0007	0.0007	0.0006
3-Metil-pentano	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0.0007	0.0006	0.0006
n-Hexano	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0.0003	0.0004	0.0003
Metil-Ciclopentano	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	0.0009	0.0010	0.0010
Benceno	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	0.0000	0.0000	0.0000
Ciclohexano	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	0.0003	0.0003	0.0003
2-Metil-hexano	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	0.0000	0.0001	0.0001
2,3-Metil-pentano	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	0.0003	0.0002	0.0001
3-Metil-hexano	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	0.0002	0.0002	0.0002
1t,3-Dimetil-ciclopentano	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	0.0005	0.0005	0.0005
1c,3-Dimetil-ciclopentano	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	0.0006	0.0006	0.0006
n-Heptano	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	0.0001	0.0001	0.0001
Metil-ciclohexano	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	0.001	0.001	0.0009
1t,2c,3-Trimetil-ciclopentano	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.0005	0.0005	0.0005
1t,2c,4-Trimetil-ciclopentano	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.0011	0.0011	0.0010
2-Metil-heptano	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.0000	0.0001	0.0001
4-Metil-heptano	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.0000	0.0000	0.0000

**Tabla 12.** Cromatografía de Diferentes Cargas del Gas Guajira (Continuación)

1t,2-Dimetil-ciclohexano	C8H16	0.0007	0.0009	0.0008
n-Octano	C8H18	0.0005	0.0006	0.0005
1,1,3-Trimetil-ciclohexano	C9H18	0.0015	0.0014	0.0012
Etilbenceno	C8H10	0.0007	0.0006	0.0005
o,p-Xileno	C8H10	0.0002	0.0002	0.0002
o-Xileno	C8H10	0.0001	0.0001	0.0001
n-Nonano	C9H20	0.0001	0.0001	0.0000
n-Decano	C10H22	0.0033	0.0015	0.0020
C11	C11H24	0.0015	0.0015	0.0003
Nitrógeno	N2	1.3778	1.6662	1.6199
Dióxido de carbono	CO2	0.3069	0.0399	0.0417
Agua	H2O	0.0000	0.0000	0.0000
Sulfuro de hidrógeno	H2S	0.0000	0.0000	0.0000
Hidrógeno	H2	0.0000	0.0000	0.0000
Monóxido de carbono	CO	0.0000	0.0000	0.0000
Oxígeno	O2	0.0053	0.0061	0.0069
Helio	He	0.0000	0.0000	0.0000
Argón	Ar	0.0000	0.0000	0.0000
TOTAL		100.0000	100.0000	100.0000

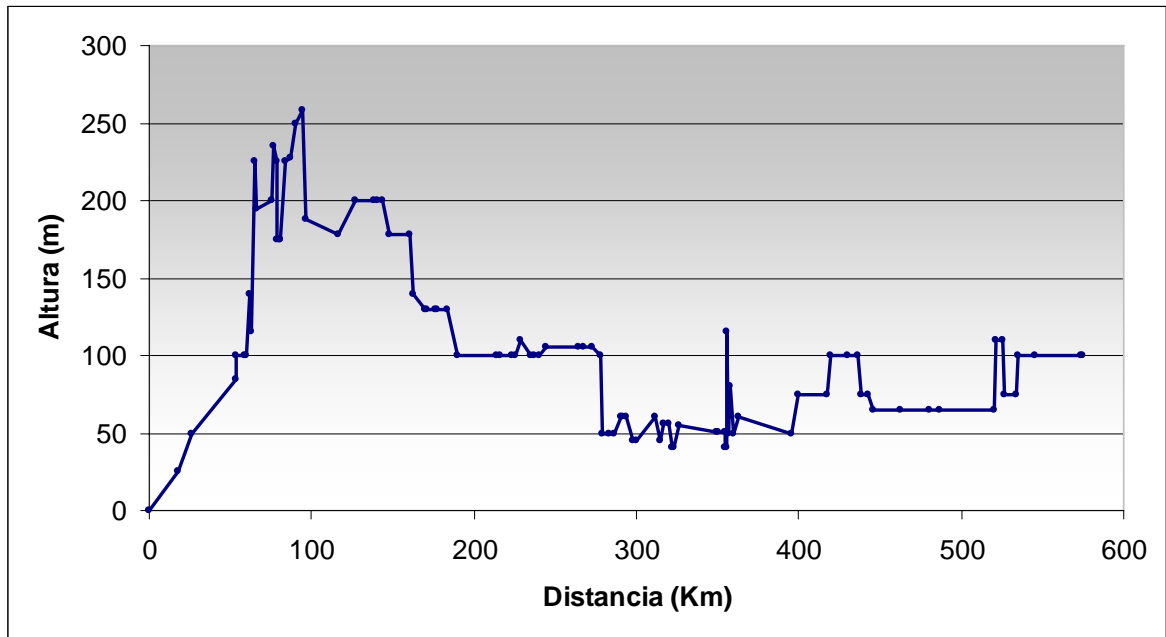
Fuente: Grupo de Modelamiento de Procesos Hidrocarburos. GMPH.

**Tabla 13.** Calidad del Gas Guajira.

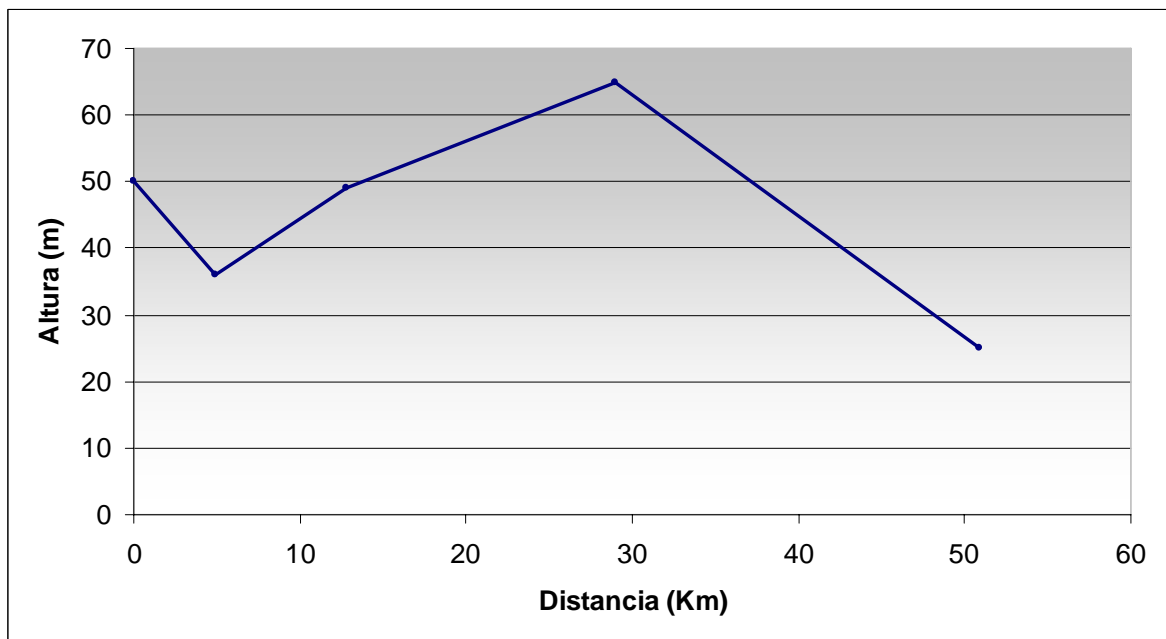
PARÁMETRO	VALOR
Peso Molecular	16.3298
Gravedad específica, @ 14.65 psia	0.5647
Poder calorífico Bruto real, @ 14.65 psia y 60°F, BTU/PC	999.4
Poder calorífico Neto real, @ 14.65 psia y 60°F, BTU/PC	899.6
Densidad, lbm/ft <sup>3</sup>	0.043116
Factor de Compresibilidad	0.998049

Fuente: Grupo de Modelamiento de Procesos Hidrocarburos. GMPH.

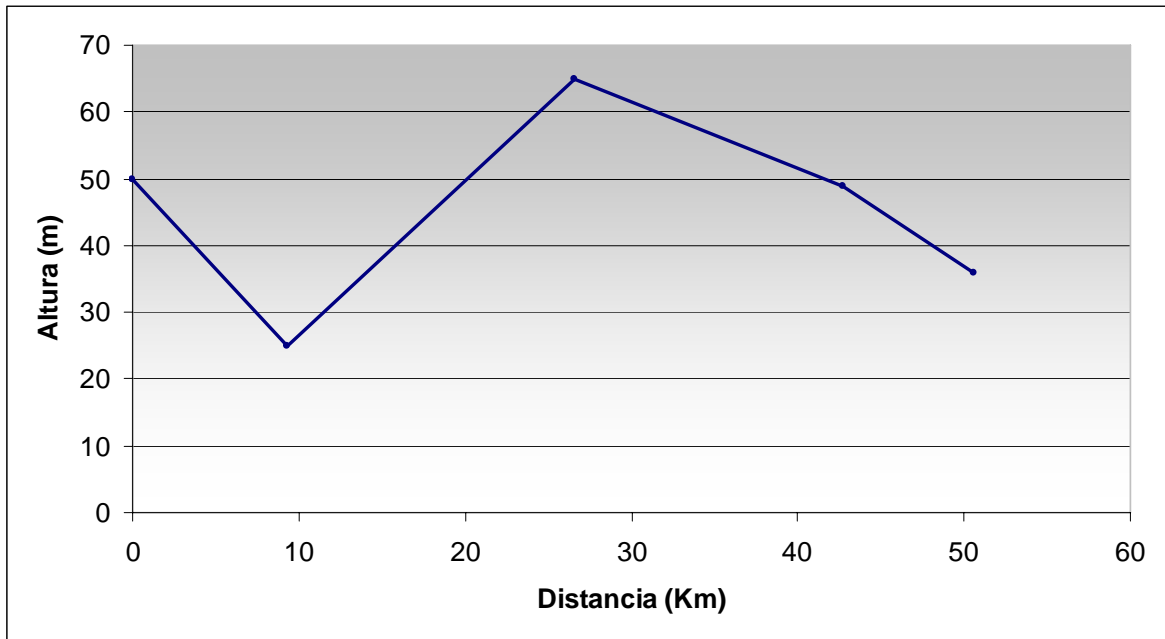
**Figura 13.** Perfil Topográfico del Gasoducto Ballena – Barrancabermeja.



**Figura 14.** Perfil Topográfico Alternativa 1 (La Gloria – Morales).



**Figura 15.** Perfil Topográfico Alternativa 2 (Gamarra – Regidor).



**4.2.2.3. Temperaturas Ambiente de la Zona de Influencia del Gasoducto.** La temperatura y la presión influyen en las propiedades del gas natural. Un incremento en la temperatura disminuye la capacidad de transporte de un gasoducto debido al aumento de la caída de presión, lo que redundaría en mayor consumo de energía en los sistemas de compresión. La viscosidad de un gas se incrementa con un incremento en la presión y en la temperatura, lo que provoca mayor fricción a lo largo del gasoducto.

A continuación, en las Tablas 14, 15, 16 y 17 se presentan los valores medios de la temperatura ambiente para los doce meses del año de los municipios que hacen parte del trazado del gasoducto. Esta información fue necesaria para realizar los cálculos de intercambio de calor entre el fluido y el medio circundante.

**Tabla 14.** Valores de Temperatura Ambiente para Regidor (°C).

MEDIOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
TEMP. MEDIA	28,6	28,6	28,5	28,1	27,8	28,1	27,9	27,5	27,4	27,4	27,7	28,0	<b>28</b>
TEMP. MAXIMA	30,1	30,3	30,3	30,4	29,7	30,4	30,3	30,3	30,2	30,3	30,4	30,7	<b>30,3</b>
TEMP. MINIMA	27,0	26,0	26,9	28,5	25,9	26,2	26,7	24,9	24,9	25,2	26,6	26,5	<b>26,3</b>

Fuente: <http://www.ideam.gov.co/>**Tabla 15.** Valores de Temperatura Ambiente para Ríoviejo (°C).

MEDIOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
TEMP. MEDIA	28,2	28,9	29,4	29,2	28,2	28,5	29,2	28,9	27,7	26,8	27,4	27,8	<b>28,4</b>
TEMP. MAXIMA	31,3	32,2	32,1	32,0	30,5	30,9	32,0	31,6	29,2	28,8	29,8	30,3	<b>30,9</b>
TEMP. MINIMA	23,5	24,4	25,0	25,4	25,4	25,4	25,5	25,3	25,0	24,8	24,3	24,0	<b>24,8</b>

Fuente: <http://www.ideam.gov.co/>**Tabla 16.** Valores de Temperatura Ambiente para Arenal (°C).

MEDIOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
TEMP. MEDIA	28,1	28,2	28,1	27,7	27,3	27,7	27,5	27,1	27,0	27,0	27,3	27,6	<b>27,5</b>
TEMP. MAXIMA	29,8	30,0	30,0	30,1	29,4	30,1	30,0	30,0	29,9	30,0	30,1	34,4	<b>29,9</b>
TEMP. MINIMA	25,9	25,0	25,9	27,4	24,9	25,2	25,7	23,9	23,9	24,2	25,6	25,5	<b>25,2</b>

Fuente: <http://www.ideam.gov.co/>**Tabla 17.** Valores de Temperatura Ambiente para Morales (°C).

MEDIOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
TEMP. MEDIA	29,0	29,6	29,5	29,3	28,1	28,5	28,7	28,3	28,1	27,7	28,1	28,5	<b>28,6</b>
TEMP. MAXIMA	29,9	30,9	30,9	30,4	30,3	30,6	30,3	29,9	29,9	29,7	29,7	29,8	<b>30,9</b>
TEMP. MINIMA	28,0	27,4	27,4	27,5	21,3	27,2	27,6	27,3	26,9	26,2	27,2	27,2	<b>21,3</b>

Fuente: <http://www.ideam.gov.co/>

**4.2.2.4. Demanda.** Para efectos de este estudio preliminar se ha calculado el número de viviendas beneficiadas como el 100% de las viviendas de los cascos urbanos de todos los municipios que se beneficiarían con el gas natural por tubería. Para ello, se parte de la estimación de población hecha por el DANE para el año 2006 y del número de viviendas reportadas en el EOT de cada municipio. Igualmente, se estimó un consumo por vivienda de 20 metros cúbicos de gas por mes. En la Tabla 18 se encuentra el estimado del consumo de gas natural por viviendas por cada uno de los municipios para los años de 2006 y 2025, en KPCD.

**Tabla 18.** Estimación del Consumo de Gas Natural a partir del Número de Viviendas en la Cabecera Municipal

MUNICIPIO	2006		2025	
	VIVIENDAS	CONSUMO (KPCD)	VIVIENDAS	CONSUMO (KPCD)
Regidor	591	14.5	1295	30.5
Ríoviejo	1002	24.4	2033	47.8
Arenal	860	20.7	1382	32.5
Morales	1107	26.7	1814	42.7
<b>TOTAL</b>		<b>86.3</b>		<b>153.5</b>

Fuente: Calculo del Autor.

Para la demanda de los siguientes años se supone un incremento de 4.0% anual para Regidor, 3.6% anual para Ríoviejo, 2.4% anual para Arenal y 2.5% anual para Morales, que corresponden al incremento de la población según el DANE para cada municipio.

**4.2.2.5. Condiciones de Operación.** Para llevar a cabo la simulación, se tuvieron en cuenta las siguientes condiciones de operación reales:

- Caudal histórico de entrada de gas al Gasoducto Ballena - Barrancabermeja en la Guajira.
- Caudal histórico de salida a los ramales del Gasoducto Ballena - Barrancabermeja.
- Presión promedio de llegada al municipio de La Gloria.
- Presión promedio de llegada al municipio de Gamarra.

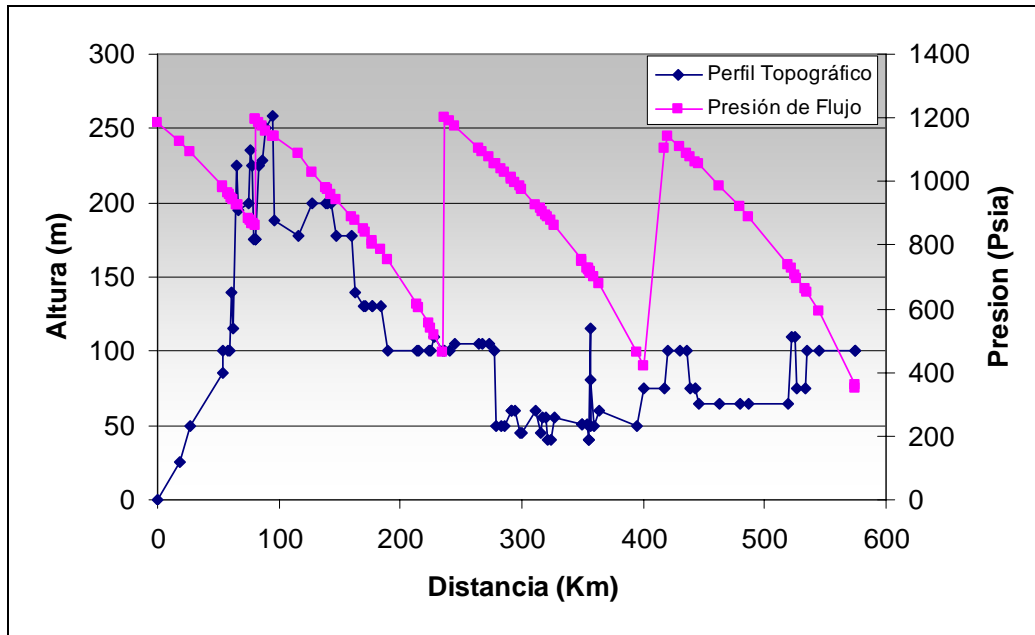
Los datos de caudal, presión y temperatura de cada uno de los ramales se presentan en la Tabla 19. En las figuras 16 y 17 se muestra la variación de la presión y la temperatura, respectivamente, respecto al perfil topográfico del gasoducto Ballena – Barrancabermeja, en estas se observa claramente que en los puntos donde hay aumentos súbitos de estos parámetros, se debe a la acción de las estaciones compresoras en dichos puntos.

**Tabla 19.** Condiciones de Operación del Gasoducto Ballena – Barrancabermeja para el Primer Semestre de 2005.

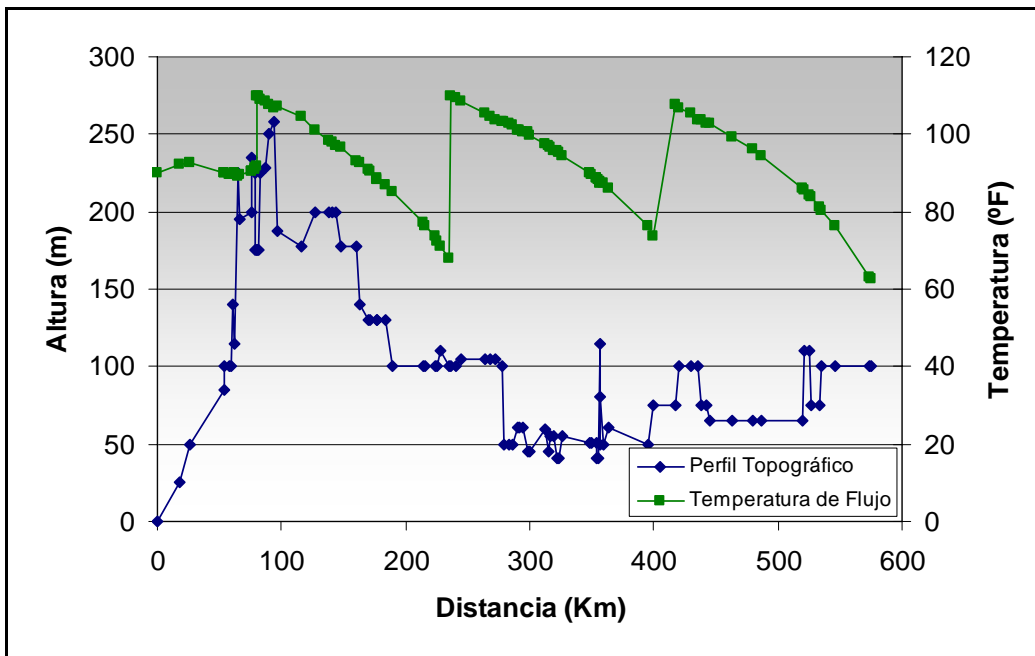
	CAUDAL (KPCD)	PRESION (Psi)	TEMPERATURA (°F)
Entrada al Gasoducto Ballena - Barrancabermeja	197000	1171	89.85
<b>SALIDAS DEL GASODUCTO BALLENA – BARRANCABERMEJA</b>			
Intercor	215.3	956,7	89,58
Hato Nuevo	29.0	843.9	90.72
FUG Hato Nuevo	474.0	1200.0	110.0
Papayal	6.2	1143	106,8
Barrancas	42.5	1142	107,1
Fonseca	63.1	1026	101
San Juan	94.1	979,4	98,39
El Molino	18.8	979	98,36
Villanueva	7.1	972,2	97,98
Urumita	33.5	943,5	96,45
La Paz	46.5	890,5	93,28
Valledupar	2601.0	849,2	91,05
San Diego	25.0	814,3	88,88
Agustín Codazzi	64.0	615,7	77,13
Casacará	0.0	453,4	67,55
FUG Casacará	727.0	1205	110
Becerril	0.0	1174	108,5
La Jagua de Ibirico	10.0	1106	105,3
Palmita	0.0	1057	103,4
Rincón Hondo	0.0	1011	101,2
Chiriguaná	12.0	1007	101
San Roque	0.0	982,7	100
Curumaní	26.0	906,5	96,54
Sabanagrande	0.0	906,5	96,54
Pailitas	12.0	756,2	89,85
Tamalameque	0.0	728	88,66
El Banco	60.0	728	88,66
El Burro	0.0	728	88,66
Pelaya	17.0	697,8	87,22
La Mata	0.0	677,9	86,24
La Gloria	15.0	462,7	70,2
FUG Noream	1208	1208	70,2
Gamarra	1140	1140	110
Aguachica	1140	1140	106,8
San Alberto	889,2	889,2	94,47
CIB - Barrancabemeja	358,3	358,3	62,97

Fuente: ECOGAS

**Figura 16.** Variación de la Presión VS. Perfil Topográfico del Gasoducto Ballena – Barrancabermeja.



**Figura 17.** Variación de la Temperatura VS. Perfil Topográfico del Gasoducto Ballena – Barrancabermeja.



### **4.3. ANALISIS DE RESULTADOS**

Mediante la simulación numérica de cada una de las alternativas, se pretende conocer las diferentes variaciones de presión y temperatura que puede tener el fluido cuando es sometido a diferentes escenarios, a estas condiciones trabajaría el gasoducto en el momento en que fuera operado en estado estable.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante dicha simulación.

#### **4.3.1. Simulación de Posibles Escenarios para las Alternativas.**

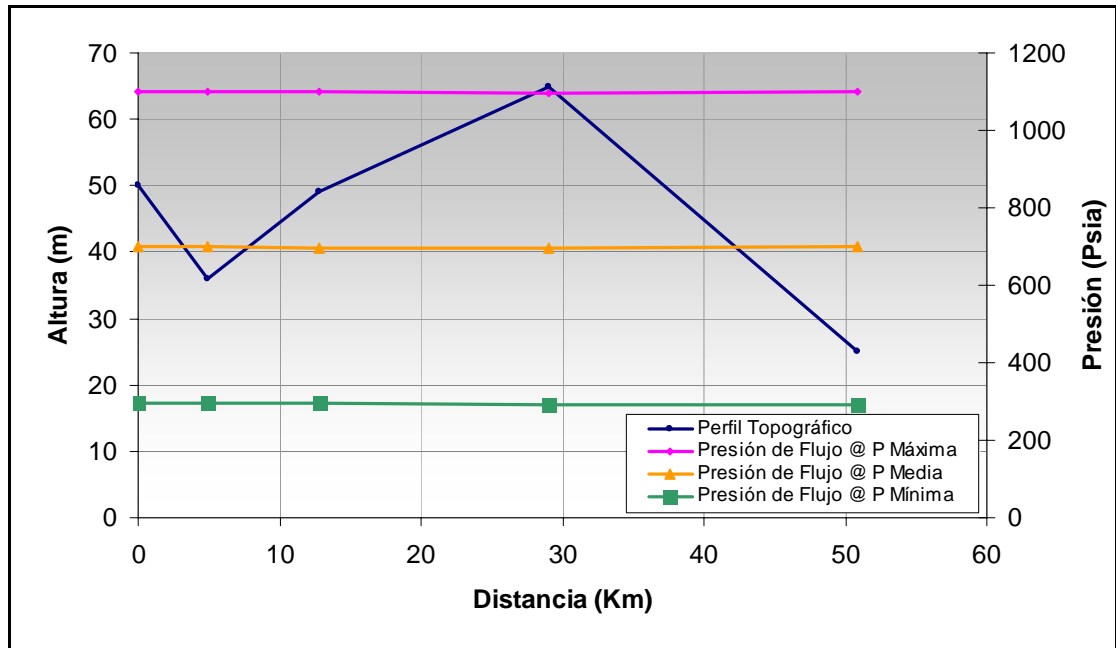
**4.3.1.1. Máxima, Media y Mínima Presión de Entrada al Gasoducto.** Este escenario permite evaluar la variación de las condiciones de operación al interior del gasoducto, en cada una de las alternativas, cuando se presenta una variación de la presión en la llegada a La Gloria y Gamarra, y la temperatura se mantiene constante.

Cuando los valores máximo, medio y mínimo de presión son 1100, 700 y 300 psia, respectivamente, no se observa ninguna caída de presión apreciable dentro del trayecto del gasoducto, lo que indica que este puede operar bajo cualquiera de estas condiciones (Ver Figura 18 y 19).

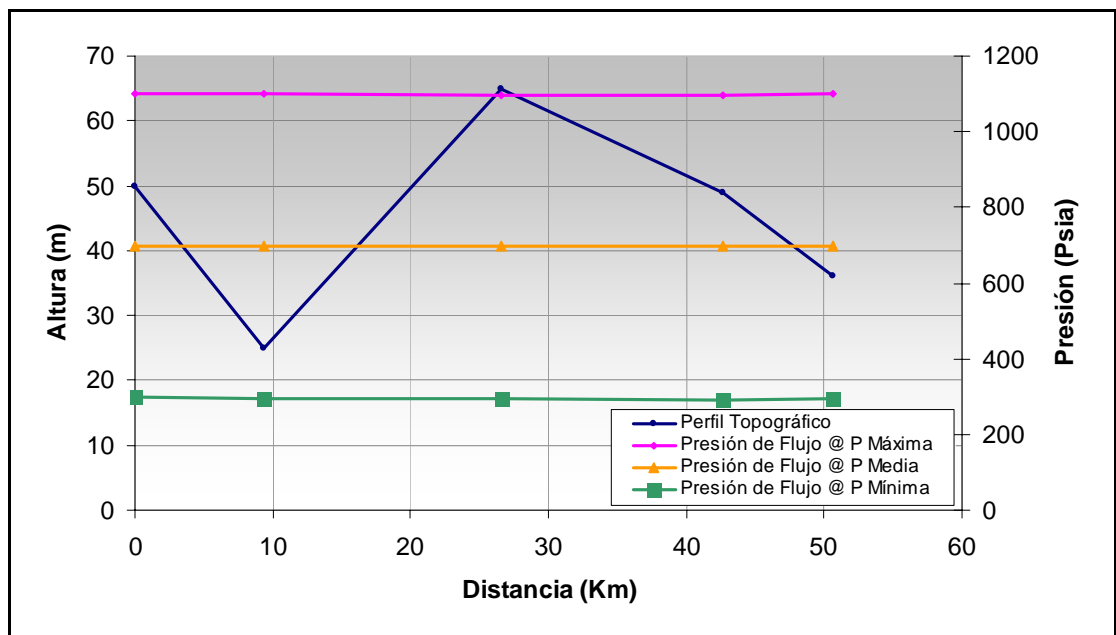
En la figura 20 y 21 se muestra que la variación de las presiones no afecta de manera significativa el perfil de temperaturas a lo largo de la línea del trazado del gasoducto. El comportamiento de la temperatura del fluido tiende a equilibrarse con el medio circundante, como se demuestra en estas figuras.

Los datos generados por el simulador de procesos empleados para la realización de las figuras 18 a 21 se encuentran reportados en el ANEXO B.

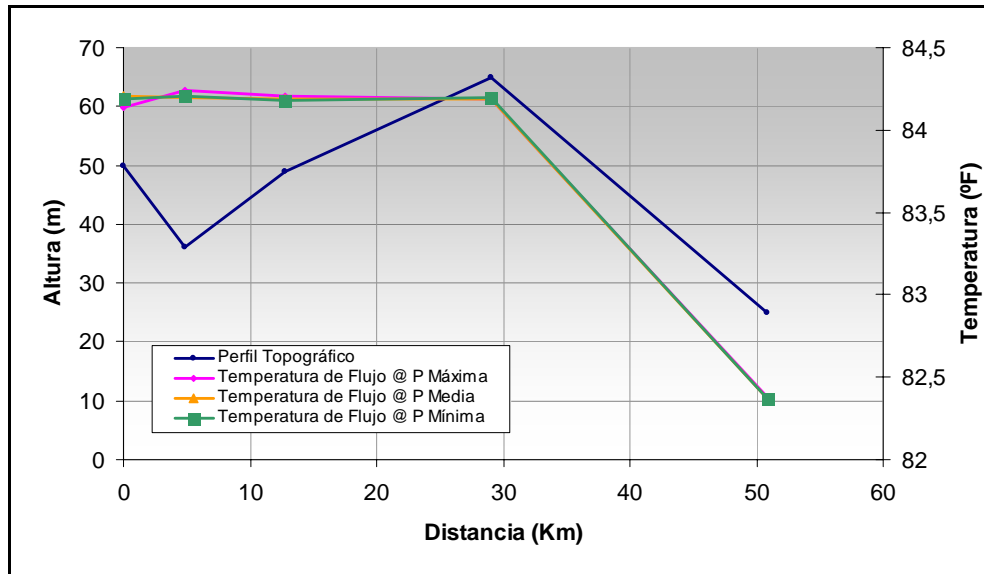
**Figura 18.** Comportamiento de la presión VS. Perfil topográfico de la Alternativa 1 (La Gloria – Morales) para el escenario de la variación de la presión.



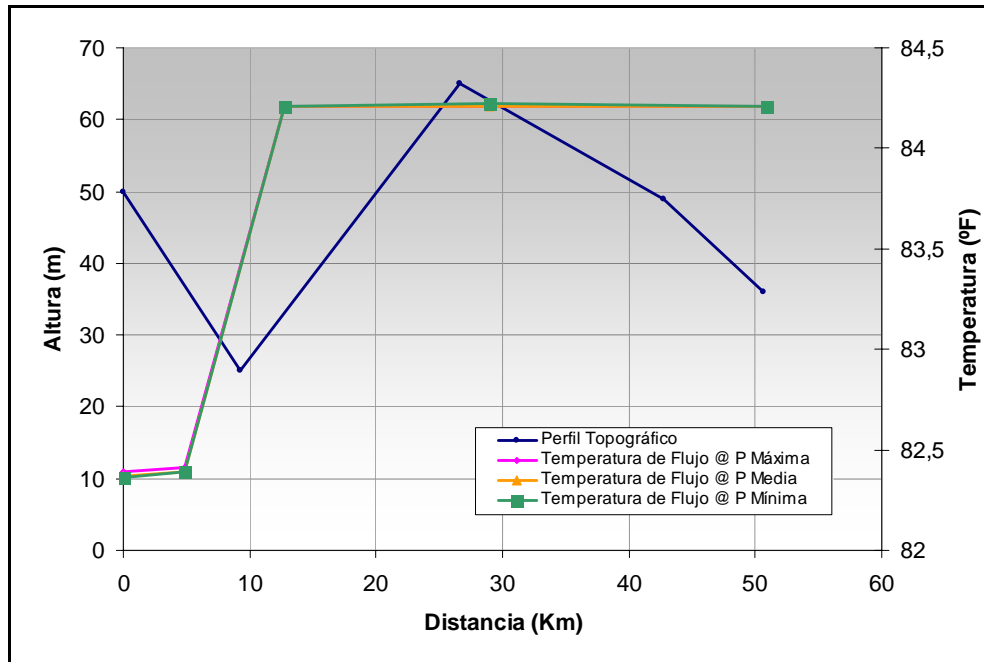
**Figura 19.** Comportamiento de la presión VS. Perfil topográfico de la Alternativa 2 (Gamarra - Regidor) para el escenario de la variación de la presión.



**Figura 20.** Comportamiento de la temperatura VS. Perfil topográfico de la Alternativa 1 (La Gloria – Morales) para el escenario de la variación de la presión.



**Figura 21.** Comportamiento de la temperatura VS. Perfil topográfico de la Alternativa 2 (Gamarra – Regidor) para el escenario de la variación de la presión.



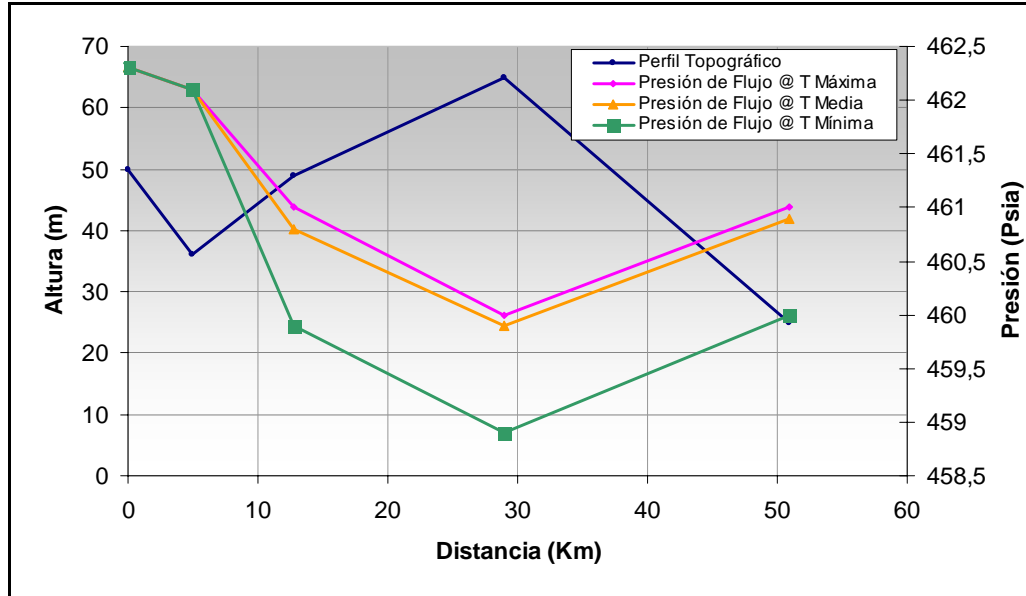
**4.3.1.2. Máxima, Media y Mínima Temperatura Ambiente.** Con este escenario se considera el comportamiento de las presiones y de la temperatura misma del gas durante el trayecto del gasoducto desde su origen hasta el punto de entrega final, cuando se presenta una variación de la temperatura ambiente a lo largo de la línea de trazado del gasoducto. En ambas alternativas se observa un comportamiento similar, donde la temperatura ambiente mínima es la que ocasiona un mayor efecto en la caída de presión; cabe destacar que esta caída no es lo suficientemente grande para causar impacto significativo en la línea de flujo del gasoducto. Ver figuras 22 y 23.

El comportamiento de la temperatura en este escenario es el esperado, ya que en las épocas del año donde sube la temperatura ambiente, la temperatura del fluido muestra un aumento, y cuando la temperatura ambiente baja, la temperatura del fluido disminuye, comportándose de manera proporcional, este caso se presenta para las dos alternativas como se puede observar en las figuras 24 y 25.

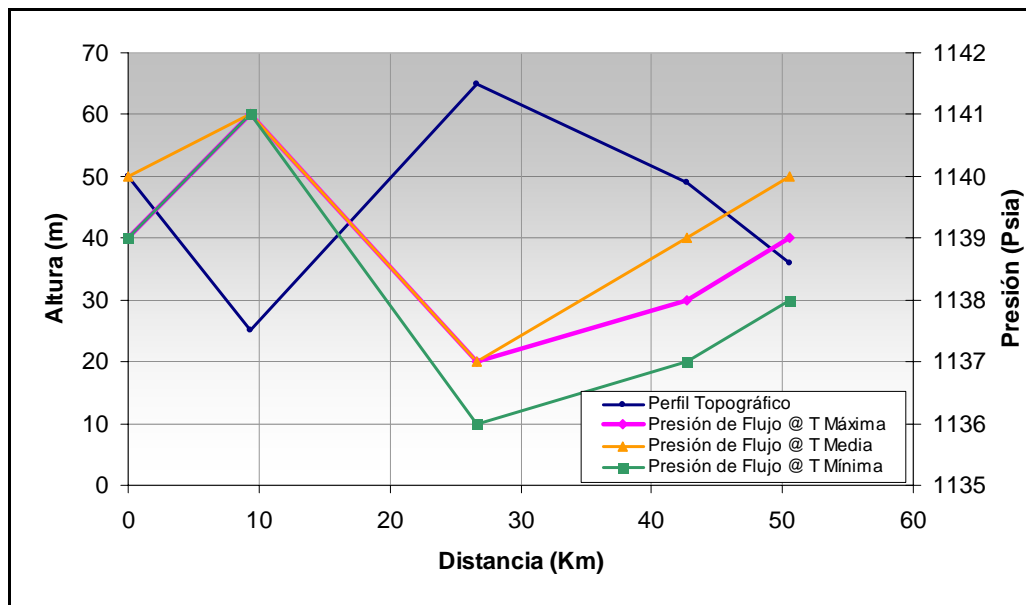
Los datos generados por el simulador de procesos empleados para la realización de las figuras 22 a 25 se encuentran reportados en el ANEXO C.

**4.3.1.3. Caudales Projectados.** Este escenario permite evaluar el comportamiento de la presión de cada alternativa con el pasar de los años, cuando se aumente el consumo en estos municipios, y por ende se tenga que transportar un mayor caudal en el gasoducto.

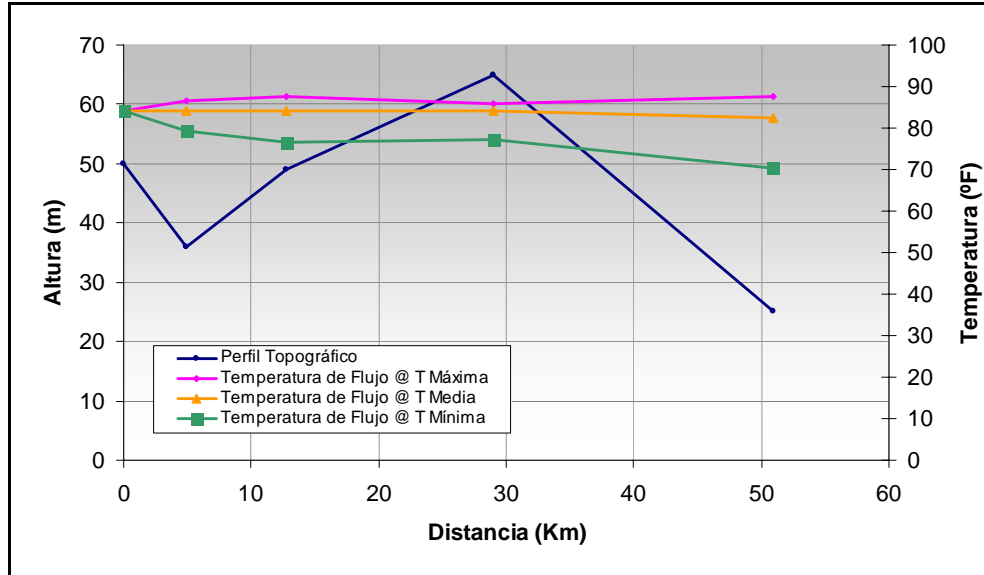
**Figura 22.** Comportamiento de la Presión VS. Perfil Topográfico de la Alternativa 1 (La Gloria – Morales) para el Escenario de la Variación de la Temperatura Ambiente.



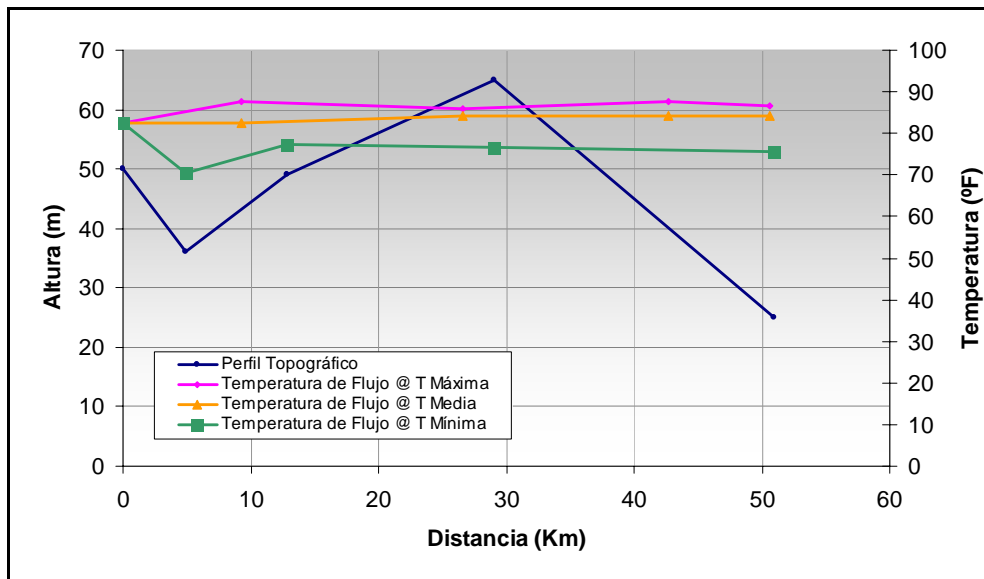
**Figura 23.** Comportamiento de la Presión VS. Perfil Topográfico de la Alternativa 2 (Gamarra - Regidor) para el Escenario de la Variación de la Temperatura Ambiente.



**Figura 24.** Comportamiento de la Temperatura VS. Perfil Topográfico de la Alternativa 1 (La Gloria – Morales) para el Escenario de la Variación de la Temperatura Ambiente.



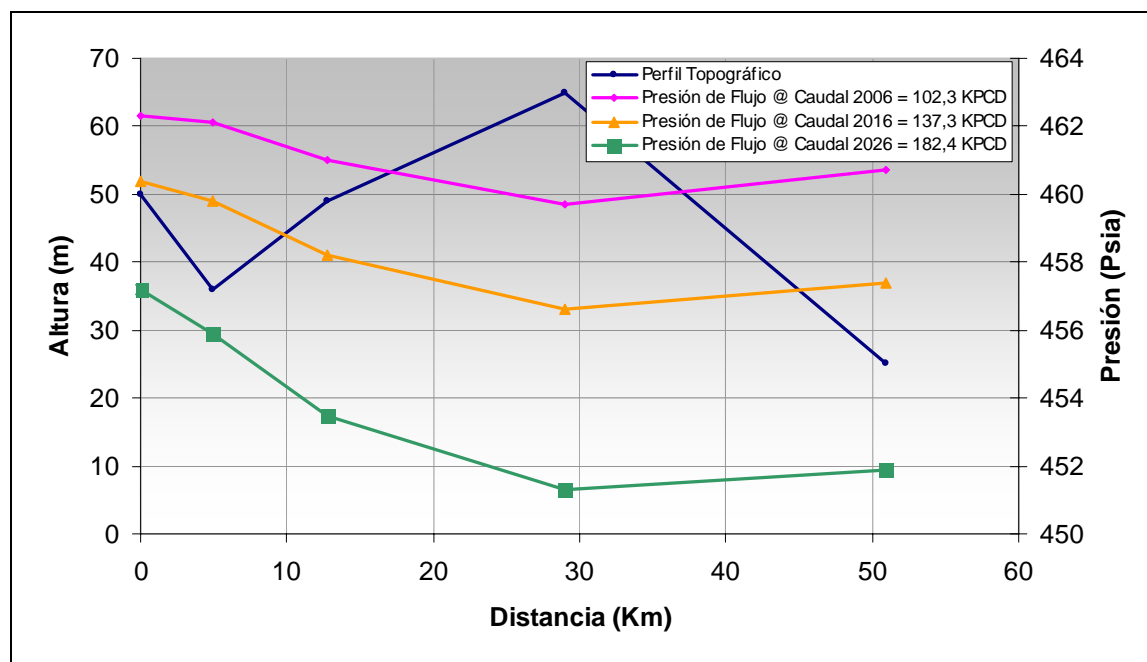
**Figura 25.** Comportamiento de la Temperatura VS. Perfil Topográfico de la Alternativa 2 (Gamarra – Regidor) para el Escenario de la Variación de la Temperatura Ambiente.



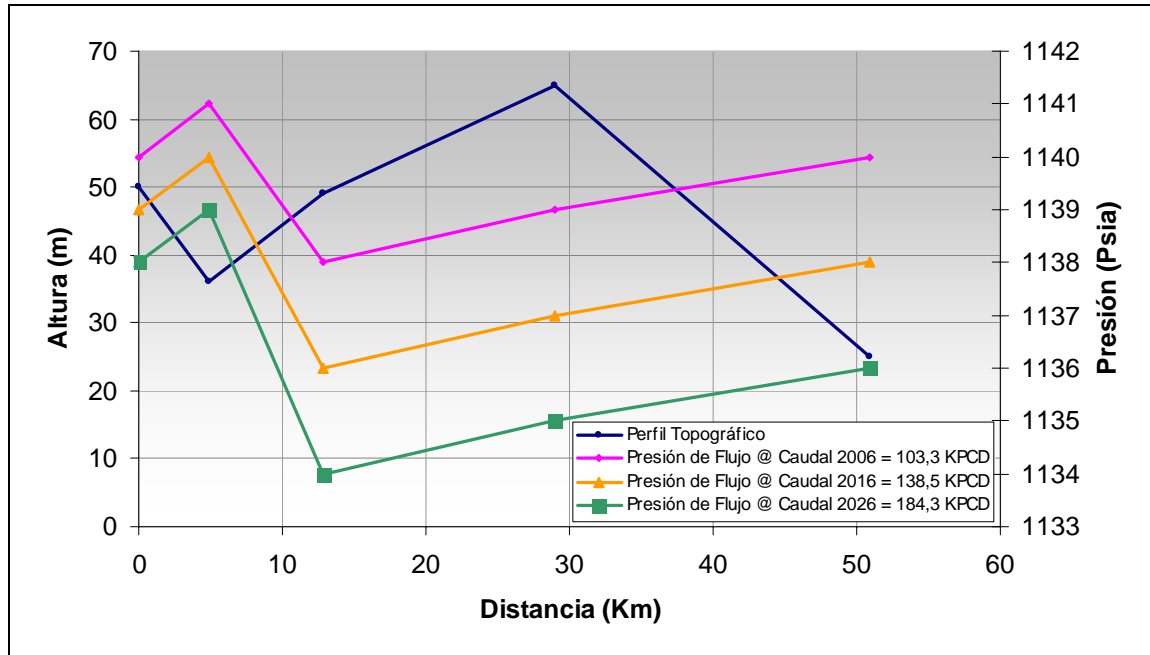
En ambas alternativas se observa (Ver figuras 26 y 27) que con el aumento del caudal, se produce una caída de presión en la línea, a medida que transcurren los años. La caída de presión no es significativa, si tenemos en cuenta que la proyección está hecha a 20 años, en los cuales se produce una caída máxima de 8 y 4 psi, para las alternativas 1 y 2, respectivamente.

Los datos generados por el simulador de procesos empleados para la realización de las figuras 26 y 27 se encuentran reportados en el ANEXO D.

**Figura 26.** Comportamiento de la Presión VS. Perfil Topográfico de la Alternativa 1 (La Gloria – Morales) para el Escenario de la Variación de los Caudales Proyectados.



**Figura 27.** Comportamiento de la Presión VS. Perfil Topográfico de la Alternativa 2 (Gamarra – Regidor) para el Escenario de la Variación de los Caudales Proyectados.

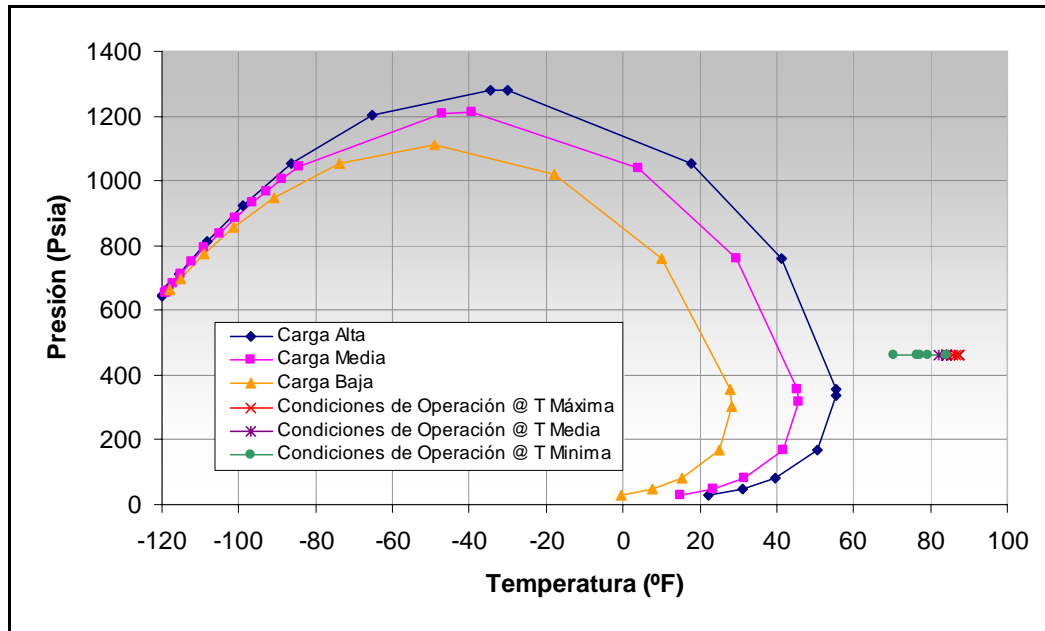


**4.3.1.4. Relación de Carga vs. Condiciones Operacionales.** Este escenario permite evaluar la posible presencia de condensados al interior de la línea del gasoducto para las diferentes relaciones de carga en La Guajira, debido a diferentes escenarios de temperatura ambiente.

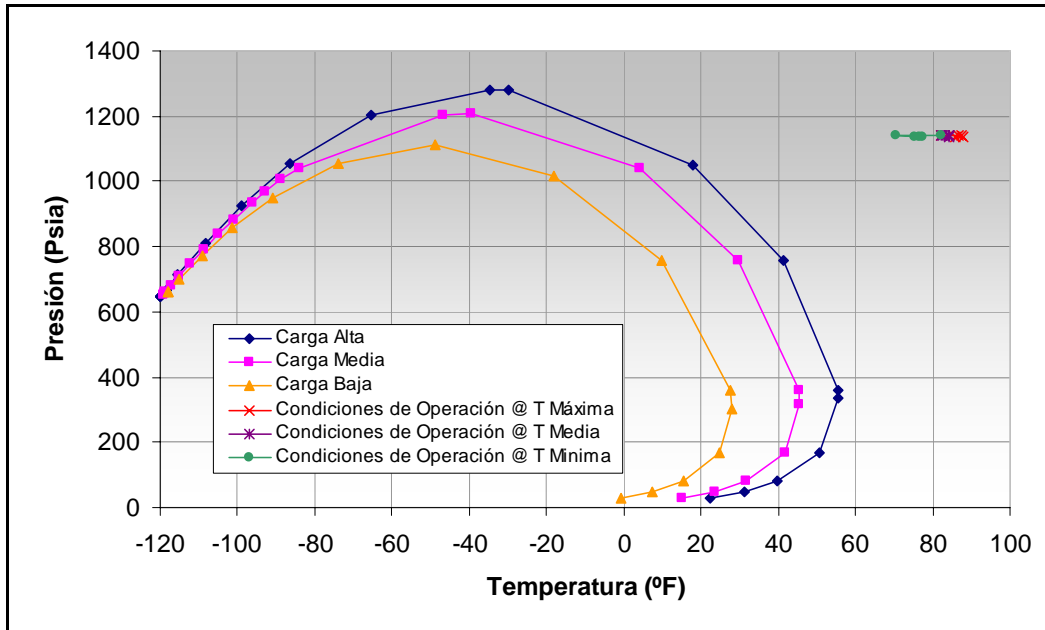
Para las dos alternativas se muestra en las figuras 28 y 29, que a condiciones de operación del gasoducto nunca se van a presentar condensados en la línea. En la simulación de escenarios reales de cada una de las alternativas, se tomará la relación de carga baja en la Guajira, debido a que tiene la Temperatura Cricondentérmica mas baja ( $T= 28$ ) de la las tres relaciones de carga.

Los datos generados por el simulador de procesos empleados para la realización de las figuras 28 y 29 se encuentran reportados en el ANEXO E.

**Figura 28.** Condiciones Operacionales respecto a la Carga en La Guajira de la Alternativa 1 (La Gloria - Morales) a Diferentes Temperaturas Ambiente.



**Figura 29.** Condiciones Operacionales respecto a la Carga en La Guajira de la Alternativa 2 (Gamarra – Regidor) a Diferentes Temperaturas Ambiente.



#### **4.3.2. Simulación Alternativa 1 (La Gloria – Morales).**

Esta simulación permite evaluar la variación de las condiciones de operación debido a los consumos de cada uno de los municipios beneficiados con el gasoducto.

En las figuras 30, 31 y 32 se pueden observar las variaciones de la presión y la temperatura de flujo del gas a lo largo del gasoducto La Gloria - Morales debidas a la topografía del terreno y a las diferentes escenarios de Temperatura ambiente en la zona correspondiente al trazado de este gasoducto (Tablas 14 a 17).

El Ramal La Gloria, al cual se conecta este gasoducto, es el último antes de llegar a la Estación Compresora de Norean, la presión promedio en este punto es de 462.3 psia. Observamos en la figura 30 que las presiones de operación del gasoducto están alrededor de 459 psia, por lo cual es necesario colocar una válvula reguladora de presión en el punto de partida del gasoducto, que disminuirá la presión a 300 psia, con el fin que el gas de llegada a las City Gates de cada municipio cumpla con los requerimientos contemplados en el Reglamento Único de Transporte RUT en cuanto a temperatura de entrega, (Figura 32), además esta sirve como válvula de seguridad en caso de que halla la necesidad de cerrar el flujo dentro del gasoducto.

En cada una de las estaciones de recibo es necesario colocar una válvula reguladora que disminuya la presión hasta 60 psia. Debido a esta caída de presión se provoca una disminución en la temperatura, manteniéndose entre los rangos (120 °F - 40 °F) establecidos por el RUT para la entrega al distribuidor. En la Tabla 20 se muestran los valores de presión y temperatura de llegada y salida del gas a las City Gates de cada municipio.

La caída de presión máxima dentro del gasoducto es aproximadamente de 4 psi, esto se debe a que el diámetro de la tubería es muy pequeño. Asimismo en

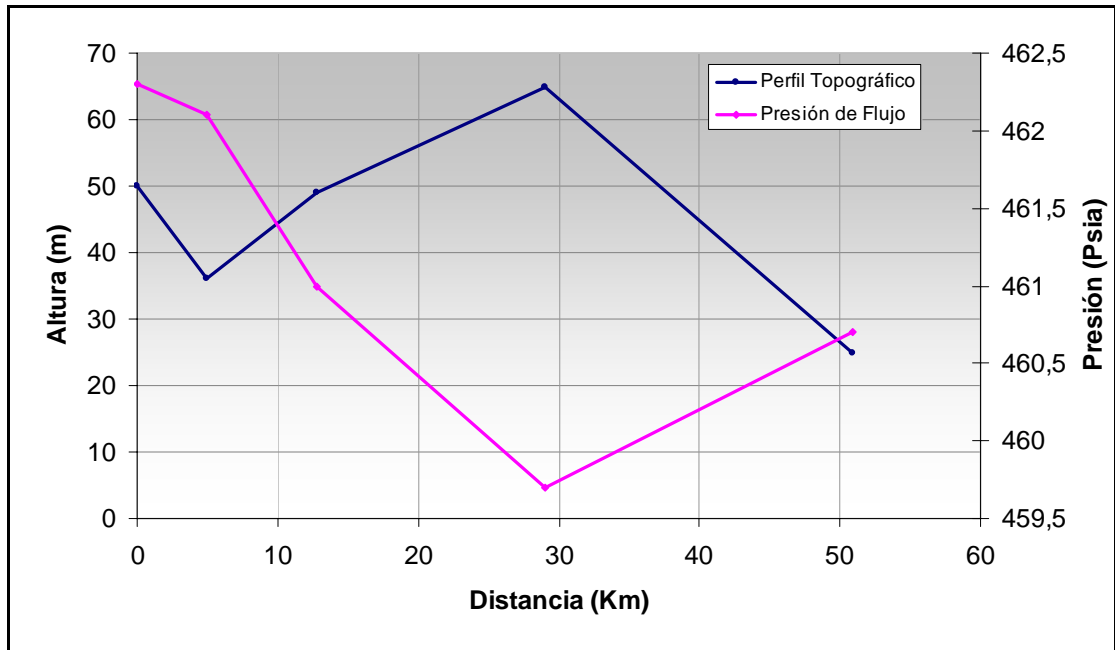
algunos tramos de gasoducto la presión aumenta debido a los cambios topográficos de terreno.

Los datos generados por el simulador de procesos empleados para la realización de las figuras 30, 31 y 32 se encuentran reportados en el ANEXO F.

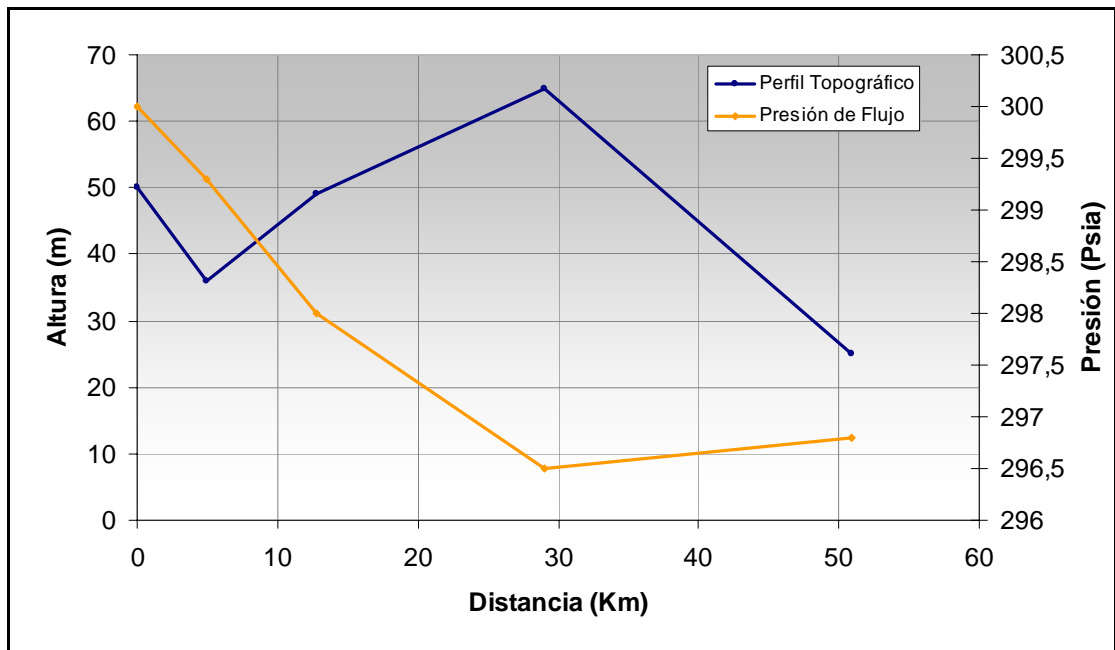
**Tabla 20.** Presión y Temperatura de Llegada y Salida a la City Gate de cada Municipio para la Alternativa 1 (La Gloria - Morales).

MUNICIPIO	CITY GATE			
	LLEGADA		SALIDA VALVULA	
	PRESIÓN (Psia)	TEMPERATURA (°F)	PRESIÓN (Psia)	TEMPERATURA (°F)
Regidor	299.3	84.21	60	69.79
Ríoviejo	298.0	84.19	60	69.85
Arenal	296.5	84.20	60	69.96
Morales	296.8	82.37	60	68.00

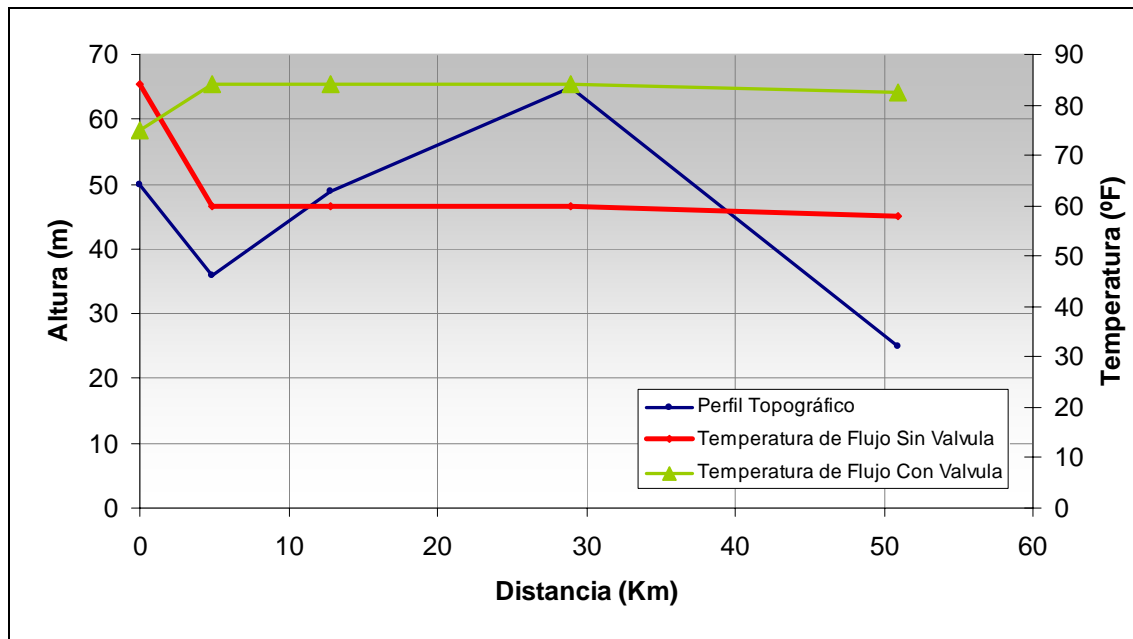
**Figura 30.** Variación de la Presión Sin Válvula VS. Perfil Topográfico del Gasoducto Alternativa 1 (La Gloria - Morales).



**Figura 31.** Variación de la Presión Con Válvula VS. Perfil Topográfico del Gasoducto Alternativa 1 (La Gloria - Morales).



**Figura 32.** Variación de la Temperatura VS. Perfil Topográfico del Gasoducto Alternativa 1 (La Gloria - Morales).



#### 4.3.3. Simulación Alternativa 2 (Gamarra – Regidor).

Esta simulación permite evaluar la variación de las condiciones de operación al interior del gasoducto Gamarra – Regidor, debido a los consumos de cada uno de los municipios que se encuentran en la línea del trazado del gasoducto.

En las Figuras 33, 34 y 35 se pueden observar las variaciones de la presión y la temperatura de flujo del gas a lo largo del gasoducto Gamarra – Regidor, debidas a la topografía del terreno y a las diferentes escenarios de Temperatura ambiente en la zona correspondiente al trazado de este gasoducto (Tablas 14 a 17).

Las presiones de operación de este gasoducto son mayores en comparación, a las de la alternativa anterior, debido a que la conexión se da al Ramal Gamarra, el cual es el primero en el gasoducto troncal después de la Estación Compresora de Norean, la presión promedio en este punto es 1139 psia. En la figura 33, se

muestra que las presiones de operación del gasoducto están alrededor de 1138 psia.

A pesar de que este gasoducto tiene mayor longitud, en relación con la alternativa anterior, la caída de presión está por el orden de los 2 psi, el cual es un valor menor que el del gasoducto de la alternativa 1 (La Gloria – Morales). Es necesario ubicar una válvula reguladora en la conexión con el Ramal Gamarra, que disminuya la presión a 600 psia, para que al llegar el gas a cada estación de recibo, no halla una caída brusca de presión, que originaría una disminución considerable de temperatura a causa de la expansión del gas, y la posible formación de condensados, impidiendo cumplir con los requerimientos contemplados en el Reglamento Único de Transporte RUT en cuanto a temperatura de entrega, (Figura 35).

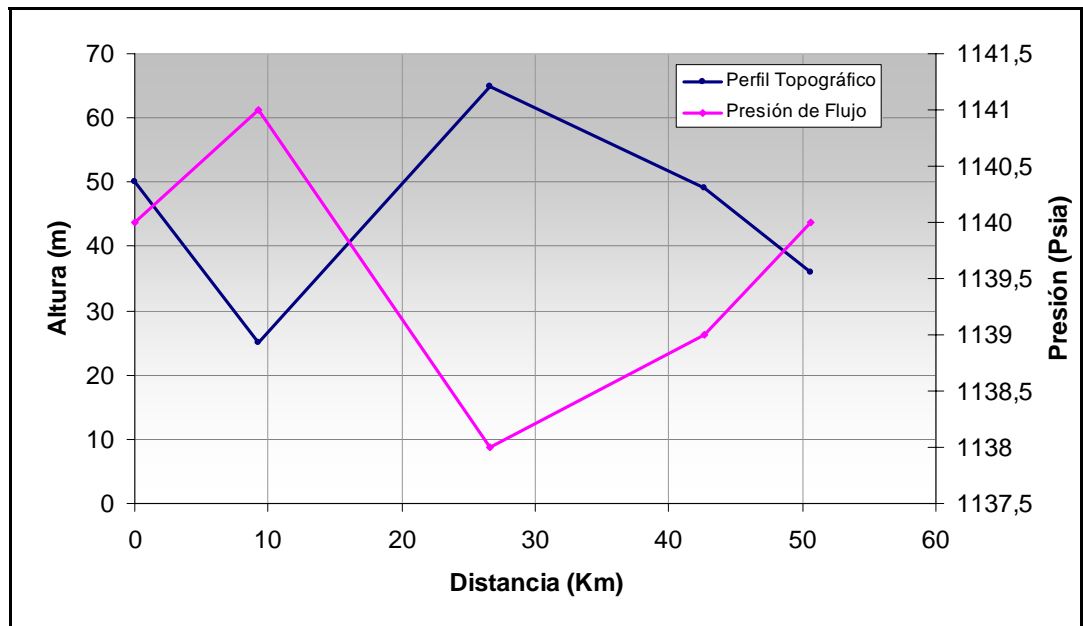
Sin embargo, la presión a la llegada a las City Gates de cada municipio, esta por el orden de 598 psi, el cual es un valor que sigue siendo alto. Para obtener presiones y temperaturas de entrega (60 psia y 40 ° F – 120 °F) al distribuidor exigidas por el RUT, es indispensable colocar dos válvulas de regulación de presión en serie en cada estación de recibo. En la tabla 21 se observan valores de presión y temperatura de llegada y salida del gas a las City Gates de cada municipio.

Los datos generados por el simulador de procesos empleados para la realización de las figuras 33, 34 y 35 se encuentran reportados en el ANEXO G.

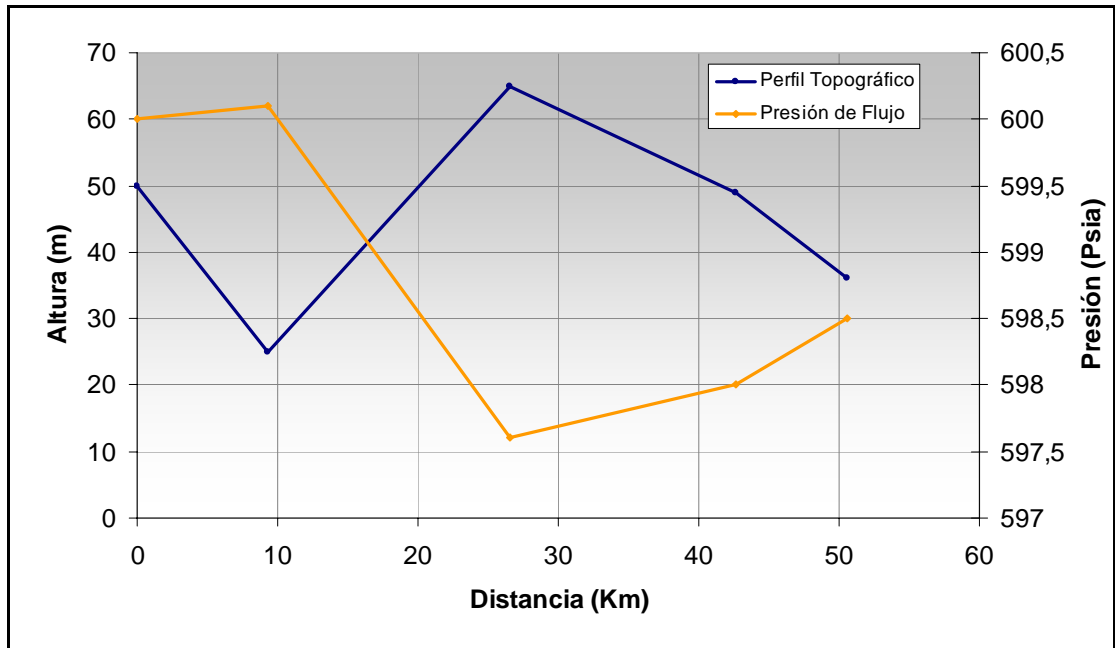
**Tabla 21.** Presión y Temperatura de Llegada y Salida a la City Gate de cada Municipio para la Alternativa 2 (Gamarra - Regidor).

MUNICIPIO	CITY GATE					
	LLEGADA		SALIDA VALVULA 1		SALIDA VALVULA 2	
	PRESIÓN (Psia)	TEMPERATURA (°F)	PRESIÓN (Psia)	TEMPERATURA (°F)	PRESIÓN (Psia)	TEMPERATURA (°F)
Morales	600.1	82.39	300	65.30	60	49.49
Arenal	597.6	84.21	300	67.11	60	51.69
Ríoviejo	598.0	84.21	300	67.09	60	51.67
Regidor	598.5	84.21	300	67.06	60	51.63

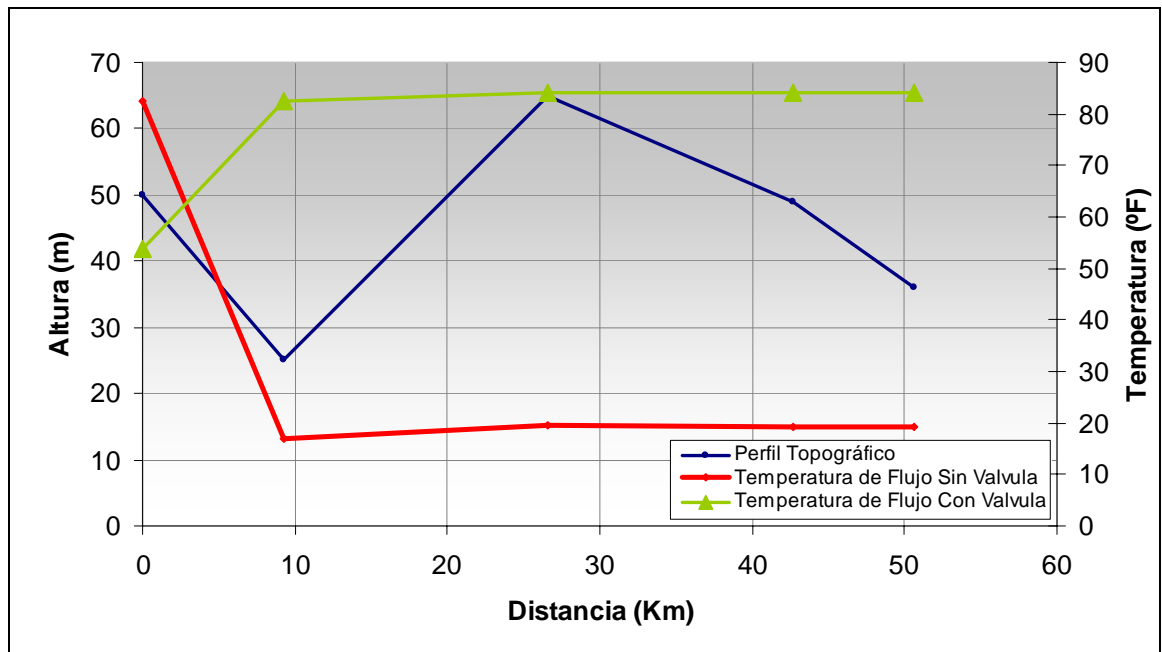
**Figura 33.** Variación de la Presión Sin Válvula VS. Perfil Topográfico del Gasoducto Alternativa 2 (Gamarra - Regidor).



**Figura 34.** Variación de la Presión Con Válvula VS. Perfil Topográfico del Gasoducto Alternativa 2 (Gamarra - Regidor).



**Figura 35.** Variación de la Temperatura VS. Perfil Topográfico del Gasoducto Alternativa 2 (Gamarra - Regidor).



#### **4.4. CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DE LA CONDUCCIÓN**

El diseño de la conducción y la selección de materiales se realizaron bajo normas técnicas actualizadas, con el objetivo de garantizar la seguridad del gasoducto y maximizar la prevención de riesgos y cuidado del medio ambiente.

La Ingeniería Conceptual se ejecutó según lo contemplado en el Código ASME B 31.8 de 1999 Capítulo IV que tiene que ver con criterios de densidad poblacional (numerales 840.2 a 840.4), definidos en Clases de localidad para diseño y construcción nombrados anteriormente. La selección de la tubería se hace según lo estipulado en el numeral 841 del mismo, teniendo en cuenta los siguientes factores: el factor de diseño F según Tabla 841.114 A y B, el Factor E según la Tabla 841.115A y el factor de temperatura según la Tabla 841.116 A de dicho código, (Código ASME B 31.8 de 1999 Capítulo IV).

##### **4.4.1. Dimensionamiento del Gasoducto.**

A partir de la simulación de flujo por tuberías se determinó el dimensionamiento del sistema cuando se cambian los parámetros del fluido y la tubería. Se presentan a continuación los criterios y las condiciones básicas de diseño que se tuvieron en cuenta para el dimensionamiento.

**4.4.1.1. Criterios de Diseño.** Altas velocidades de flujo pueden ocasionar vibración y erosión en el gasoducto. Cuando la velocidad del gas supera la velocidad crítica, se presenta corrosión por erosión. La velocidad crítica se define como el punto en el cual la velocidad del fluido remueve inhibidores filmicos y deja desprotegida la tubería de los efectos corrosivos. También se maneja el criterio de velocidad máxima para que no se presente ruido en la tubería. La máxima velocidad del gas en la tubería es de 65 pies/seg a condiciones de operación.

**4.4.1.2. Tubería de Diseño.** La tubería a utilizar en la construcción del gasoducto será de 2", considerando que los ramales a los cuales se hará la posible conexión tienen este diámetro. Schedule 40 y el espesor de la tubería es 0.154".

Dentro de las Características del Material de tubería a utilizar están las siguientes:

- Clase: API 5L Grado B
- Material: Acero al carbón
- Máxima presión: 2500 psi
- Código de Diseño: ANSI B 31.8

#### **4.5. DERECHO DE VÍA Y ACTIVIDADES CONSTRUCTIVAS.**

##### **4.5.1. Derecho de Vía.**

La apertura y conformación del derecho de vía incluye trabajos de desmonte y nivelación. Durante el desmonte se realizará el corte de árboles y arbustos existentes en el área del derecho de vía. Para la nivelación, la superficie del derecho de vía será limpiada de todo remanente de vegetación y nivelada para evitar pendientes demasiado fuertes y facilitar el trabajo del equipo pesado. En las áreas de pastoreo se removerá el suelo superficial y se dispondrá a un lado para su posterior reposición, como se puede observar en la Figura 36.

El derecho de vía del gasoducto que permite la instalación y desarrollo de las redes domiciliarias de gas en los municipios del Sur del Departamento de Bolívar, tendrá un ancho de 10 m. Se deben tener en cuenta dos factores para adquirir el derecho de vía:

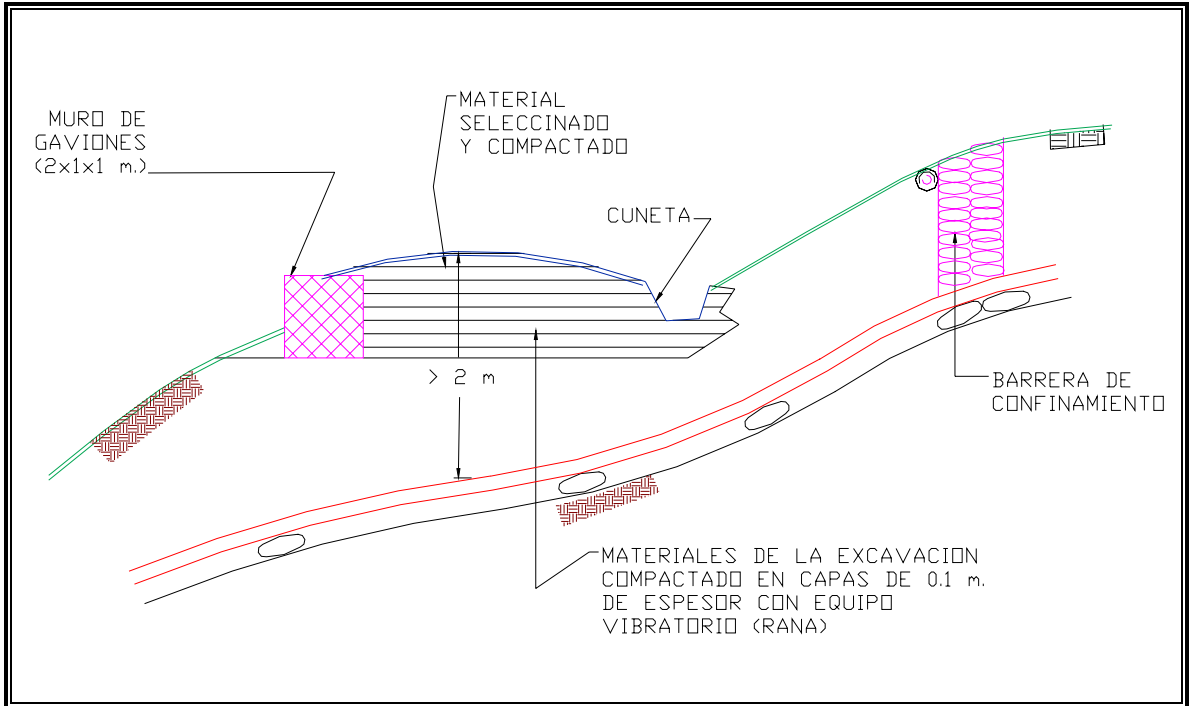
- **Gestión de permisos ambientales y consecución de la Licencia Ambiental:** Esta actividad se inicia con la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto y la aprobación del Plan de Manejo Ambiental, por parte de la autoridad ambiental competente, en este caso el Ministerio de Vivienda, Medio Ambiente y Protección Social.
- **Negociación de Servidumbres.** Esta actividad contempla la constitución o acuerdos de servidumbre sobre el derecho de vía del proyecto, así como el pago de daños a los propietarios de las franjas correspondientes al derecho de vía y de las áreas aledañas requeridas para desarrollar las obras de ingeniería y recuperación del terreno. Teniendo en cuenta que el gasoducto que permitirá la implementación y desarrollo de las redes domiciliarias de gas en los municipios del Sur del Departamento de Bolívar no comparte su recorrido con otros proyectos lineales, se requerirá adquirir derechos de servidumbre a lo largo de todo el trazado de la tubería.

#### **4.5.2. Cruces Especiales.**

Los pasos de las líneas interceptan zonas que ofrecen mayor dificultad para la construcción en línea regular, por sus condiciones naturales o por la presencia de obras civiles cuyo funcionamiento normal no debe alterarse; en estos tramos, el cruce del gasoducto requiere de un tratamiento especial para proteger el tubo y las áreas aledañas.

Se consideran cruces especiales: los cruces de vías, cruce de corrientes, paso elevado de corrientes, cruce con otros ductos, o paso por terreno empinado.

**Figura 36. Sección Típica de Cruce Vial.**



Fuente: Transcanadá Pipelines

**4.5.2.1. Cruce de Corrientes Hídricas.** En la Tabla 22 se relacionan las principales corrientes que serán atravesadas por el Gasoducto, en las dos alternativas y el tipo de cruce a efectuar. Se plantean principalmente cruces subfluviales en los cuales se instalará la tubería por debajo del nivel de socavación natural de la corriente y será reforzada con lastre de concreto reforzado.

Para cruces subfluviales se puede utilizar el método de zanja abierta con dragado; ocasionalmente puede utilizarse perforación dirigida sobre corrientes menores. En la Figura 37 se presenta la sección de un cruce subfluvial típico en las diferentes corrientes que atraviesa el gasoducto.

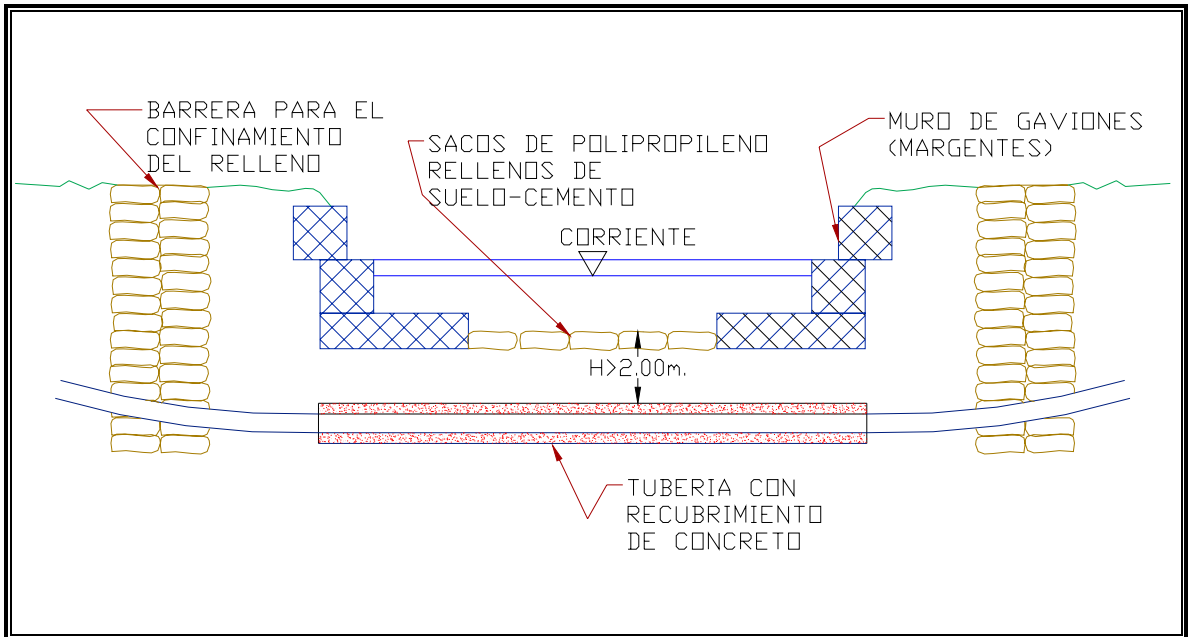
**Tabla 22.** Cruces de Corrientes Hídricas del Gasoducto.

ABSCISA	CORRIENTE	ANCHO DEL CAUCE	TIPO DE CRUCE
<b>ALTERNATIVA 1 (LA GLORIA – MORALES)</b>			
Km. 3.8 +000	Riío Magdalena	400 m	Subfluvial
Km. 14.5 +000	Caño Juan Gabriel	14 m	Subfluvial
Km. 2.5 +29.0	Caño Cardoza	16 m	Aéreo
Km. 29.4 +000	Brazo Morales	300 m	Subfluvial
<b>ALTERNATIVA 2 (GAMARRA – REGIDOR)</b>			
Km. 1.4 +000	Riío Magdalena	265 m	Subfluvial
Km. 3.4 +000	Brazo el Dique	265 m	Subfluvial
Km. 6.6 +9.3	Caño Viejo	15 m	Subfluvial
Km. 25.8 +000	Brazo Morales	300 m	Subfluvial
Km. 2.5 +26.6	Caño Cardoza	16 m	Aéreo
Km. 41.1 +000	Caño Juan Gabriel	14 m	Subfluvial

**4.5.2.2. Cruces de Vías.** El proyecto interceptará en 3 ó 4 oportunidades carreteras secundarias sin pavimentar, dependiendo de la alternativa que se seleccione.

No se atravesarán zonas residenciales, solo localmente el gasoducto pasará cerca de viviendas rurales, particularmente en el sector de el corregimiento de La Palma y Buenavista. Sin embargo en este sector el derecho de vía tendrá que conservar una distancia básica con respecto a las viviendas aledañas.

**Figura 37. Cruce Subfluvial Típico en Corrientes Principales.**



Fuente: Transcanadá Pipelines

#### **4.5.3. Transporte y Tendido de Tubería.**

La tubería será dispuesta inicialmente en los sitios de acopio temporal para posteriormente ser trasladada a los diferentes frentes de obra utilizando el derecho de vía y las vías de acceso.

Una vez tendida la tubería, se debe proceder a su rebiselamineto, que consiste en la preparación de biseles que por alguna razón hallan sido averiados o presenten biseles defectuosos. También se incluye la limpieza interna de la tubería y demás actividades que se deben desarrollar para la instalación de tuberías de acuerdo con los alineamientos y cotas indicadas en los planos.

#### **4.5.4. Predoblado y Doblado de la Tubería.**

Comprende el doblado de la tubería antes de su alineación y soldadura siguiendo el perfil del terreno en el fondo de la zanja, sin generar en el tubo doblado, cortes o sobrantes de tubería innecesarios por la mala conformación de la zanja.

#### **4.5.5. Alineación y Soldadura.**

La alineación y soldadura de tubería se refiere a todo el proceso de unión de los tubos. Este proceso se efectuará en frío, fijando la tubería temporalmente con grapas internas o externas. Para el alineamiento de los tubos se dispondrá de grapas alineadoras conjuntamente con herramientas que faciliten la separación adecuada para la soldadura; procediendo a soldar los tubos, iniciando con algunos puntos de fijación, luego un pase de fondeo y uno caliente, para seguir con los pases de relleno y de presentación.

Terminada cada pega se procederá a revisión de la calidad, por simple inspección y con ayuda de radiografías. En los cruces de corrientes y vías esta revisión se hará sobre el 100% de la conducción. Se seguirá la Norma API – STD 1104 “Standard For Welding Pipelines and Related Facilities”, última edición. Para soldadura de tubería en campo se regulará todo el proceso, excepto cuando expresamente se indique otro procedimiento en estas especificaciones.

#### **4.5.6. Apertura de la Zanja.**

Esta labor se realiza una vez definido el derecho de vía sobre el cual quedará localizada la tubería, para tal efecto se demarca el eje de la tubería con cal, con el fin de que los operadores de las retroexcavadoras tengan un trazado guía.

La profundidad de la zanja debe ser tal que la cota clave de la tubería sea mínimo de 1.5 m con respecto al nivel del terreno. El ancho medio de la zanja será de 0.70

m. Se infiere que el tipo predominante de material a excavar corresponda a material común, y en menor proporción roca y conglomerado.

El material extraído del zanjado se dispondrá junto a la zanja conservando una distancia de 1 m, como mínimo desde el borde de esta. El fondo de la zanja será nivelado uniformemente y quedará libre de rocas sueltas, gravas, raíces y material extraño que pudiera dañar la tubería o su revestimiento.

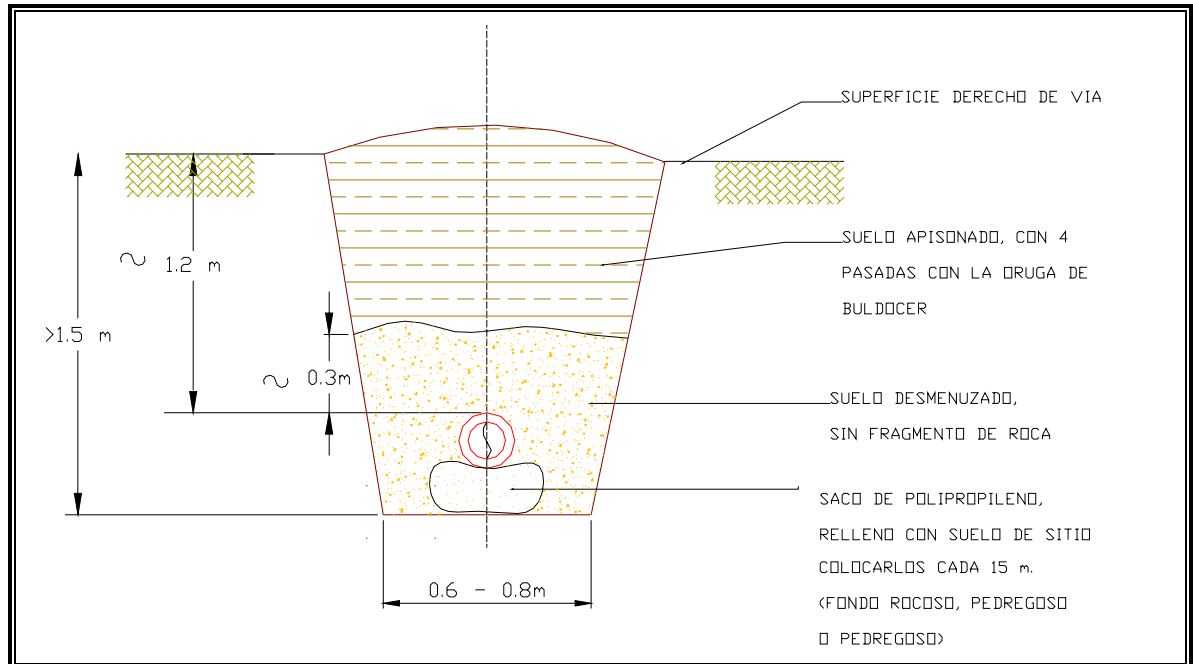
#### **4.5.7. Bajado y Tapado de la Tubería.**

Antes de iniciar el bajado y tapado de la tubería dentro de la zanja, se efectuará una limpieza de la misma; durante las maniobras de bajado, se evitará someter la tubería a golpes o fricciones contra las paredes de la zanja, los cuales pueden dañar el recubrimiento, por esto, es conveniente proteger la tubería con láminas de madera contrachapada, cartones corrugados, etc.

Se considera la tapada o cobertura del ducto la distancia medida desde la parte superior de la tubería hasta la superficie natural del terreno. El tubo tendrá una cobertura mínima de 1,2 m bajo condiciones normales de construcción, 0,8 m donde se encuentre roca. Teniendo en cuenta el diámetro mínimo de la tubería, se proyecta un ancho de sección de excavación de 60 a 80 cm y una profundidad de excavación mínima de 1,3 m de profundidad (Ver Figura 38).

El relleno de la zanja se deberá realizar inmediatamente después de bajar la tubería, para evitar cualquier daño al recubrimiento. Como material de relleno se empleará el proveniente de la excavación, seleccionando aquel que se encuentre libre de materia orgánica y suelos blandos muy húmedos. El relleno se deberá compactar con pasadas de oruga.

**Figura 38.** Detalle de Colocación y Tapado de Tuberías.



Fuente: St. Regis (Alberta) Ltd.

#### 4.5.8. Prueba Hidrostática.

Esta prueba se realizará como procedimiento de control de la calidad de la línea, lo cual garantizará que no se presenten pérdidas por soldaduras deficientes de la tubería. Esta actividad consistirá en llenar el tubo con agua y someterlo a alta presión para identificar fugas o pérdidas de presión.

#### 4.5.9. Protección de la Tubería.

Antes de proceder a su instalación se hace necesario reparar los daños sufridos en el recubrimiento de la tubería por efectos de su manipulación. Adicionalmente la tubería deberá protegerse contra la acción del óxido, por medio de recubrimiento anticorrosivo y la protección catódica de la línea.

**4.5.9.1. Protección Externa.** La tubería enterrada esta sujeta a corrosión externa causada por la acción y composición del suelo, el mejor sistema de protección seleccionado será aquel que cumpla con los factores de economía y eficiencia. El recubrimiento externo es un material plástico que es adherido enrollado, o fundido a la superficie externa del tubo. La eficiencia del recubrimiento radica en su capacidad protectora a la corrosión y su resistencia al daño durante su transporte, manejo e instalación de la tubería.

La protección catódica busca proteger la tubería de la corrosión, entendida como el deterioro del metal o de sus propiedades por la reacción de éste con el medio externo. La protección catódica consiste en el suministro de una corriente continua a la estructura del gasoducto para impedir que se genere corrosión en los tramos enterrados. De acuerdo a las facilidades que presente el ruteo seleccionado la protección catódica se diseñará por medio de ánodos de sacrificio o por corriente impresa.

Cuando la tubería no es enterrada, esta sufre deterioro por el ambiente, se debe proteger mediante pinturas anticorrosivas que se colocan en el momento del terminado, el espesor de la capa es determinante para favorecer la vida útil de la tubería.

**4.5.9.2. Protección Interna.** Componentes corrosivos presentes en el gas tales como sulfuro de hidrógeno, dióxido de carbón y agua salada causan corrosión interna, problemas que deben ser solucionados en la etapa de diseño.

Sistemas de limpieza con raspadores están generalmente incorporados a un sistema de transporte de gas para remover la acumulación de líquidos y sólidos en la tubería. Este retiro mitiga los efectos corrosivos internos causados por los líquidos presentes y por efectos de sobrevelocidad en el gas.

Corrosión por erosión se presenta cuando la velocidad del gas supera la velocidad crítica, que se define como el punto en el cual la velocidad del fluido remueve inhibidores fílmicos y deja desprotegida la tubería de los efectos corrosivos.

## **5. PLAN DE MANEJO AMBIENTAL (PMA)**

El Plan de Manejo Ambiental (PMA), para la construcción y operación del gasoducto que permite la implementación y desarrollo de redes domiciliarias de gas en los municipios del Sur del Departamento de Bolívar, ha sido elaborado y estructurado teniendo en cuenta las características ambientales del área de influencia, los efectos derivados en cada actividad, de la zonificación ambiental, y las especificaciones de diseño y construcción, establecidas para el desarrollo del mismo.

Por esta razón, las medidas ambientales desarrolladas, sirven de apoyo en la planeación y toma de decisiones, de tal manera que permita prevenir, reducir y mitigar, efectos adversos sobre el medio ambiente.

A través de la identificación de los efectos ambientales que se ejercen en el entorno físico, biótico y social, derivados de las diversas actividades que conlleva la construcción del gasoducto, la formulación del plan de manejo tiene como objetivo principal desarrollar las medidas concordantes con el proyecto, que permitan prevenir, controlar y minimizar los efectos negativos que se causen en los componentes físico-biótico y socio-económico, y realizar aquellos que presentan un grado de conservación o mantenimiento.

### **5.1. ESTRATEGIAS PARA LA APLICACIÓN DEL PMA.**

La aplicación y ejecución de las medidas de manejo ambiental, en concordancia de las condiciones naturales y sociales existentes en el área de influencia, requieren de la definición de las siguientes estrategias.

#### **5.1.1. Concertación en el Área del Proyecto.**

Por medio de esta estrategia, se establece con la comunidad y las autoridades municipales las diferentes acciones del programa de Gestión Social y de Asuntos con la Comunidad, tales como información a la comunidad y autoridades municipales, educación ambiental a la comunidad y participación – generación de empleo.

#### **5.1.2. Acción Integrada entre los Programas del PMA.**

En esta estrategia debe complementarse las acciones formuladas en el Plan de Manejo del Proyecto de las acciones de Gestión Social y el Programa de Asuntos con la Comunidad, a través de mecanismos como la conformación de un grupo profesional (Supervisión Ambiental), encargados de ejecutar todas las acciones propuestas, que deberán estar enfocadas hacia ejercer un estricto control en el manejo de los residuos, manejo de los residuos, manejo del material de excavación de la zanja, la extracción de material de arrastre y la estabilización final del derecho de vía.

#### **5.1.3. Relaciones con la Comunidad para el Apoyo al Área con Proyectos de Carácter Socio-Ambiental.**

Esta estrategia permite establecer la relación con la comunidad, requerida de acuerdo con las políticas de la Gobernación de Bolívar y con el PMA formulado, de tal manera que contribuya a las buenas relaciones del Proyecto con la región.

#### **5.1.4. Evaluación Periódica del Desarrollo del Proyecto.**

Esta estrategia consiste en la evaluación permanente del desarrollo del Proyecto, frente a la ejecución del Plan de Manejo, la Gestión Social y el programa de Asuntos con la comunidad que se haya acordado. Principalmente, se relaciona

con la definición y ejecución de acciones no previstas de manejo ambiental, e inquietudes, reclamos o situaciones surgidas entre las comunidades.

## **5.2. MEDIDAS DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL**

### **5.2.1. Prevención y Control.**

**5.2.1.1. Educación Ambiental al Personal.** El taller de educación ambiental estará dirigido a todo el personal involucrado en la construcción y operación del gasoducto: profesionales, técnicos, operarios y trabajadores. Este se orientará a visualizar los posibles impactos ambientales y problemas de salud ocupacional originados por descuidos en la ejecución de las actividades del Proyecto, como son:

- Desbosque, manejo y protección de la vegetación y fauna asociada.
- Adecuación de la áreas operativas y utilización de las mismas.
- Manejo y mantenimiento de maquinaria y equipo.
- Descapote y obras en el derecho de vía.
- Excavación de zanja.
- Cruces subfluviales.

- Instalación de la tubería, labores de soldadura y uso de rayos X, principalmente.
- Prueba hidrostática

**5.2.1.2. Señalizaciones en el Área de Trabajo.** La señalización, en los diferentes frentes de trabajo (desbosque, apertura del derecho de vía, cruce de vías, centros operativos, etc), debe conformar una medida ambiental de tipo preventiva, con el fin de reducir al máximo los riesgos, que pongan en peligro la salud, el Proyecto y el medio ambiente.

Se deben tener algunos criterios para la ubicación de señales tales como nivel de tráfico vehicular y tránsito peatonal, cercanía a zonas habitadas, cercanía a frentes de trabajo y áreas de movilización de maquinaria pesada.

**5.2.1.2.1. Señalización durante la Construcción.** Es necesario mantener día y noche señales:

- **Preventivas:** Tiene por objeto, advertir al usuario de la vía la existencia de un peligro y la naturaleza de éste. Son en forma de rombo (90 cm. de lado), de fondo anaranjado, con símbolos y marcos negros.
- **Reglamentarias:** Su objeto es indicar a las personas las limitaciones, prohibiciones o restricciones sobre el uso, y cuya violación constituye una falta. Tienen forma circular (diámetro 90 cm.), de fondo blanco, con símbolo negro, marco y trazado oblicuo rojo.

- **Informativas:** Tienen por objeto identificar y guiar al usuario, proporcionándole la información que pueda necesitar, así como las direcciones que debe seguir. Son de forma rectangular, de fondo blanco, símbolo negro y marco anaranjado.

**5.2.1.2.2. Señales Varias.** Dentro de estas señales de tipo temporal, se incluyen barricadas, conos de guía, mecheros, delineadores luminosos y canecas.

**5.2.1.2.3. Señalización después de la Construcción.** Dichas señales consistirán de postes metálicos. Las señales deberán colocarse a la derecha de la línea en el sentido del flujo. Los números del abscisado deberán quedar en ambas caras de los postes.

Los postes correspondientes a abscisas múltiplo de cinco (5) deberán ser pintadas de color naranja; los demás de pintura gris.

#### **5.2.1.3. Control y Seguimiento.**

- Todas las señales deben ser claras y legibles.
- Las señales que exijan visibilidad durante las horas de la noche, deben ser reflectivas o estar convenientemente iluminadas con mecheros.
- Las señales deben permanecer en su posición correcta.
- Todas aquellas señales que se hayan deteriorado por acción de agentes externos deben ser reemplazadas o retocadas.

### **5.2.2. Protección de la Fauna Silvestre.**

Esta protección se hará en áreas de vegetación de galería, vegetación arbórea, matorrales y pastos, localizadas a lo largo del derecho de vía del gasoducto.

**5.2.2.1. Antes de la Construcción.** Se proveerán los mecanismos para llevar a cabo charlas instructivas con trabajadores y operarios. La orientación de los talleres será dirigida por personal capacitado (biólogo o zootecnista), a través de ayudas audiovisuales, folletos, revistas, etc.

Por lo tanto, se dará énfasis al valor ecológico que cumple la fauna silvestre en el mantenimiento del equilibrio de los ecosistemas y de su importancia como agente dispersor de semillas, favoreciendo los procesos de regeneración natural en áreas intervenidas por el proyecto.

De acuerdo a la zonificación establecida en el análisis de la línea base, resulta importante recalcar mayores medidas preventivas en el sector entre el tramo Ríoviejo – Punto de salida del Ramal Arena y el tramo comprendido entre Gamarra – Morales, debido a la presencia de sectores boscosos, los cuales son utilizados por la fauna.

**5.2.2.2. Durante la Construcción.** En zonas boscosas, antes de iniciar la conformación y apertura del derecho de vía, se realizará un reconocimiento visual del lugar, por parte de la interventoría ambiental, de manera que permita establecer posibles sitios de refugio de fauna (nidos, madrigueras, etc).

Durante la apertura del derecho de vía, en los frentes de trabajo se dispondrá de una persona capacitada (interventor-biólogo), para realizar el rescate y posible reubicación de la fauna encontrada.

En casos de encuentros eventuales con animales silvestres, éstos no podrán ser capturados y se les respetará la vida (hasta donde sea posible, mientras no representen peligro potencial para los trabajadores, por ejemplo Serpientes).

Por lo general, la huida de la fauna ante la presencia humana, depende de su capacidad de desplazamiento, resultando menos favorecidos en estos casos los anfibios y reptiles. Las aves y algunos mamíferos tienden a refugiarse hacia lugares más protegidos, a través de la continuidad existente en la cobertura vegetal.

En casos donde un animal resulte afectado (herido), se deberá dar atención rápida y reubicarlo en un lugar cercano al sitio con vegetación natural. No obstante, en la mayoría de los casos, la reubicación no garantiza el éxito del programa de protección. En este caso, el animal capturado puede ser entregado a la división de fauna – MMA.

No se deberá intervenir áreas aledañas con vegetación arbórea o matorral, más allá del ancho establecido para el derecho de vía; por el contrario se deberá minimizar el ancho del derecho de vía y mantener en pie los árboles de mayor altura y de copas más frondosas.

Durante la actividad de apertura de la zanja, se establecerán pasos provisionales en áreas cercanas a bosque, mediante la construcción de pequeños puentes en tabla.

**5.2.2.3. Después de la Construcción.** Las acciones en esta etapa deben estar enfocadas a la restitución de la cobertura vegetal en áreas donde antes existía vegetación arbustiva, para lo cual se recomienda:

- Que las acciones de revegetalización de los sitios, a mediano plazo, genere una unidad multiestrata de vegetación, permitiendo así mantener la continuidad de las copas de árboles, principalmente en la vegetación de galería, con lo cual se facilita además el desplazamiento de la fauna de mayor talla y las aves que habitan dentro del bosque.
  
- El cerramiento de áreas revegetalizadas, no debe interferir con el paso de animales (excepto el ganado), por lo tanto, se recomienda cercas a tres cuerdas en intervalos de:
  - A 50 cm del suelo una primera hilera de alambre sin púas.
  - A 30 cm de la primera hilera una segunda de alambres de púas.
  
  - A 30 cm de la segunda una tercera hilera de alambre de púas. El total de la cerca es de 1.10 m.

**5.2.2.4. Prohibición en el Reglamento de Trabajo.** Incluir dentro de los términos, normas que reglamenten la prohibición de captura de animales por parte del personal de obra. Teniendo en cuenta que esta zona es abundante la fauna silvestre, terrestre y acuática, se debe establecer dentro del contrato Contratista – obrero, una norma que prohíba la caza y/o pesca en áreas cercanas a la construcción e imponga las sanciones correspondientes por contravención de la misma.

**5.2.2.5. Control y Seguimiento.** El programa de protección de la fauna silvestre será supervisado por la interventoría Ambiental y el Contratista.

Se llevarán registros semanales o quincenales de la fauna encontrada en los diferentes frentes de trabajo, de acuerdo a lo programado con la interventoría y la entidad encargada del manejo de los recursos naturales (División de Fauna – MMA), de conformidad con lo establecido en el decreto 1608 de 1978 del código de los Recursos Naturales.

Un biólogo con amplia experiencia en el manejo de fauna, tendrá a su cargo el análisis de la información de campo y definirá a medida que avance el frente de trabajo, las estrategias para la conservación de las condiciones naturales.

Se evaluarán los conceptos impartidos sobre protección de la fauna durante las charlas que sobre este aspecto realice el personal del contratista, encargado de Seguridad y Medio Ambiente.

### **5.2.3. Movilización de Equipo, Manejo y Transporte de Tubería.**

**5.2.3.1. Localización.** La ejecución de esta actividad se realizará en las siguientes vías.

- Carretera sin pavimentar entre el municipio de La Gloria y puerto del Ferry Rio Grande de la Magdalena.
- Ferry Rio Grande de la Magdalena.
- Carretera sin pavimentar entre el municipio de Regidor y Ríoviejo.
- Carretera emulsionada entre el corregimiento de Buenavista y el municipio de Arenal.

- Ferry Buenavista - La Palma.
- Carretera sin pavimentar entre el corregimiento de la palma y el municipio de Morales.
- Carretera sin pavimentar entre el municipio de Gamarra y Morales.

En áreas de circulación local, es decir, desde el lugar del almacenamiento principal hasta los acopios locales y frentes de trabajo, desde donde se distribuirá la tubería.

**5.2.3.2. Acciones a Desarrollar.** Las siguientes acciones pretenden con su aplicación mitigar los impactos ambientales generados durante el desarrollo de esta actividad.

- Revisión del estado mecánico de la maquinaria y vehículos del contratista, para verificar que no exista escape de lubricantes y combustibles.
- El mantenimiento periódico debe garantizar la buena sincronización y carburación de los motores, lo que se refleja en una mínima emisión de gases.
- Previo a la realización de la actividad de transporte, se llevará a cabo la inspección de las obras existentes (puentes, alcantarillas, bateas, etc). Con el fin de verificar la capacidad de soporte de éstas para las cargas aplicadas. Durante éste tiempo es necesario realizar un registro fotográfico el cual debe ser anexado al informe de inspección.
- Exigir la utilización de silenciadores en los exostos de vehículos, maquinaria y equipos. No se permitirá el uso de cornetas o pitos que emitan altos niveles de ruido.

- En lo posible, se debe evitar la utilización de vías de acceso y áreas de propiedad privada. Cuando exista la necesidad de utilizarlas, se debe contar con el permiso previo de los propietarios; de igual manera, se debe dejar los broches de las cercas en idénticas condiciones a las encontradas al momento de entrar o salir, ya sea abiertos o cerrados.
- Durante el tránsito de vehículos en áreas de vegetación boscosa, ya sea en vías o en derecho de vía, se deberá proteger la cobertura vegetal arbórea y arbustiva, la cual sirve como amortiguador del ruido.
- Sobre las vías de acceso, efectuar un rociado con agua mediante carrotanques, con el fin de mantener húmedo el afirmado, especialmente en aquellos sectores donde se transite por áreas habitadas, evitando así el levantamiento de polvo hacia la atmósfera y las molestias ocasionadas por el mismo.
- La limpieza y mantenimiento de los equipos y maquinaria se realizará, en las respectivas áreas de talleres, y por ningún motivo se permitirá la ejecución de esta actividad en los cauces de agua, ya que las grasas y aceites contaminan las corrientes.
- Disponer de señalización vial adecuada en todas las vías y áreas de circulación a utilizar, de acuerdo con la ficha de señalización.
- La movilización de equipos dotados de orugas, se efectuará mediante tractomulas con cama baja. Esto evitará el deterioro de las vías y obras existentes.

- Las labores de manejo de tubería se deben efectuar utilizando los equipos, herramientas e implementos de seguridad adecuados y que garanticen su buen estado y funcionamiento.
- Durante la movilización de maquinaria y equipos o el transporte de tubería, se debe evitar la sobrecarga o el sobreancho en los camiones, cuando por razones de forma o tamaño de la carga no se pueda cumplir con esta recomendación, se debe disponer de la señalización vial adecuada y contar además, con vehículos acompañantes.
- Durante la realización de pruebas no destructivas a efectuar a la tubería (inspección radiográfica de “pegas”), se deben extremar los cuidados con el manejo de fuentes radiactivas. Siempre que se vaya a ejecutar esta actividad, se deben seguir rigurosamente, las normas y procedimientos de seguridad existentes para este tipo de labor.
- Cuando sea necesario dejar temporalmente algún tramo de tubería sin soldar (al final de la jornada de trabajo, durante los cruces de camino o carreteras etc.), los extremos de la tubería deben ser taponados convenientemente para evitar la entrada de elementos ajenos a la misma.

**5.2.3.3. Control y Seguimiento.** Antes de iniciar el desplazamiento de la maquinaria, los equipos y la tubería por las vías y carreteras existentes en el área del proyecto, que se van a emplear para el acceso a los sitios de trabajo, se debe efectuar una inspección detallada para determinar el estado en que éstos se encuentran. Se garantizará, que al terminar la obra el estado de las vías de acceso sea como mínimo igual al que encontró antes de iniciar los trabajos.

Se realizarán chequeos periódicos en los equipos y maquinaria en cuanto a carburación, silenciadores, sincronización y filtros se refiere, así como medición periódicamente la intensidad y variabilidad del ruido generado durante el proyecto y velar porque ésta permanezca por debajo de los valores máximos admisibles.

### **5.3. MITIGACIÓN Y RESTAURACIÓN.**

#### **5.3.1. Desbosque y Aprovechamiento Forestal.**

Esta zona está comprendida entre el tramo de Ríoviejo – Punto de salida Ramal Arenal, comúnmente denominados La Montaña de Petrona Araque y El Campano.

**5.3.1.1. Solicitud del Permiso de Aprovechamiento Forestal.** La intervención de áreas boscosas debe contar con el estudio correspondiente para la solicitud de permiso de aprovechamiento forestal Único según acuerdo No. 029 de 1975, INDERENA.

**5.3.1.2. Delimitación y Señalización del Área.** El ancho del derecho de vía se demarca y señala aprovechando la presencia de árboles y con banderolas. Se tendrá en cuenta minimizar en lo posible el ancho del corredor.

**5.3.1.3. Limpieza.** Después de ubicada y delimitada la franja arbórea o arbustiva a tumbar, se procede a cortar los árboles que deben ser despejados de lianas, plantas trepadoras, arbustos y bejucos (sotobosques), que estén localizados junto a la base de los fustes. Si la especie tiene abundante látex, se recomienda eliminar la corteza en la zona de los cortes, esto para que la herramienta no se

impregne con el látex aumentando el roce y dificultando la tumba de árboles. Para aquellos árboles muy ramificados, se requiere la eliminación de las ramas muy cerca de la base, hasta una altura que facilite maniobrar cómodamente.

Es necesario preparar la ruta de escape del operario, por donde tiene que avanzar rápidamente cuando empiece a caer el árbol. No debe quedar por lo tanto ningún obstáculo con el cual se pueda tropezar. Esta ruta debe tener una dirección diagonal, opuesta a la dirección de caída.

**5.3.1.4. Apeo o Tumba.** El sistema de aprovechamiento es mecanizado, por cuanto se utilizarán motosierras, con motor de dos tiempos a gasolina.

El corte de apeo o tumba, se realizará por cortes horizontales, a la altura en que el fuste se halle libre de la influencia de las raíces, los más cerca del suelo. Para árboles con aletones en su base, el acote se realizará longitudinalmente.

**5.3.1.5. Residuos y Desechos.** Los residuos y desechos obtenidos después del aprovechamiento estarán constituidos por ramas, hojas, tocones, raíces y restos de vegetación arbórea, separados del fuste o tronco del árbol troceado.

Estos desechos se pueden mezclar con el material proveniente del descapote (primer horizonte de suelo), para luego ser utilizados en la reconfiguración final del derecho de vía.

#### **5.3.1.6. Consideraciones Finales para Manejo de la Vegetación.**

- No se deberá disponer material vegetal o térreo, sobre cuerpos de agua natural.
- En caso de requerirse aplicar material procedente del troceado, éste se dispondrá en montones de 2m de alto y separados cada 8m, con el fin de evitar que al secarse la madera, se presente un incendio.
- En áreas boscosas se deberá minimizar al máximo posible el ancho del derecho de vía y conservar la vegetación aledaña.

#### **5.3.2. Adecuación, Conformación y Manejo de Áreas Físicas.**

##### **5.3.2.1. Adecuación y Conformación del Derecho de Vía.**

- La apertura y conformación del derecho de vía deberá restringirse al ancho y alineamiento estipulado durante la etapa de replanteo.
- Todas las áreas cercadas, deberán mantenerse para evitar la destrucción de cultivos y migración de animales domésticos, para tal fin se deberán construir broches de acceso al derecho de vía.
- El uso de derechos de vía existentes permitirá en estos tramos minimizar los cortes de terreno de modo que el material de excavación de la zanja pueda ser dispuesto en un costado de derecho de vía, para su posterior reutilización durante la etapa de reconfiguración.

- La utilización de curvas inducidas con el ánimo de reducir movimientos de tierra excesivos se debe complementar en lugares donde el grado de dificultad constructiva así lo exija y se deberán determinar durante la etapa de diseño.
- En sitios escarpados se podrá optar por no realizar apertura del derecho de vía y su conformación se limitará a la excavación de la zanja, ya sea mediante retroexcavadora o excavación manual, con el fin de evitar cortes en cajón sobre los fillos topográficos.
- En lomos tipo cresta la conformación del derecho de vía se hará respetando un ancho máximo de 20 metros y disponiendo el material de descapote y corte en trinchos longitudinales a lado y lado del corredor.
- En lomos tipo filo y cuchilla donde generalmente se aprecia bosque sobre una de las laderas, la conformación del derecho de vía se hará mediante corte y relleno respetando una franja en la cabecera de este.
- En los sectores de derecho de vía nuevos y durante el replanteo, se deberá señalar el corredor a intervenir mediante la instalación de banderolas. Durante esta actividad, se podrá definir las obras preventivas para el manejo de los materiales de descapote.
- En lomos tipo filo y cuchilla y zona de bosques el material inerte y la capa vegetal retirada, provenientes del descapote, se deben disponer a cada lado del corredor, evitando su mezcla y conteniéndolas con trinchos laterales de dimensiones adecuadas.
- En sectores donde el derecho de vía se acerca a zonas pobladas, se deberá tener especial precaución para no afectar la infraestructura de servicios públicos, viviendas, vías y estabilidad de los asentamientos.

- En los sectores donde se requiera realizar cortes de terreno, se deberá construir muros de gaviones con el fin de disponer los sobrantes, y evitar la inestabilidad que se pueda generar durante esta actividad, incrementada por agentes erosivos. Los muros se complementarán con filtros y cunetas que evacuaran las aguas de escorrentía superficial y subsuperficial.
- Durante el desarrollo de las actividades relacionadas con el proyecto, se deberá evitar el aporte de materiales a los cuerpos de agua para evitar la alteración de las condiciones naturales del cauce.
- Una vez finalizados los trabajos, se deberá acomodar la capa vegetal removida, sobre el derecho de vía, con el objeto de retomar las condiciones naturales de este y facilitar la recuperación vegetal.

#### **5.3.2.2. Adecuación de Vías de Acceso.**

- Previo a cualquier trabajo de adecuación de las vías de acceso, se deberá inspeccionar y reparar todas las obras de arte existentes.
- Los cruces de corrientes tanto secundarios como menores que requieran para el acceso de maquinaria deberán ser acondicionados con alcantarillas temporales.
- Se mejoraran las condiciones de estabilidad en zonas potenciales a fenómenos de remoción en masa con la construcción de obras de protección geotécnica
- Se instalaran sedimentadores en las corrientes de agua para prevenir el aporte excesivo de sólidos que puedan ser incorporados a estos en época de lluvia.

- Se deberán establecer límites de velocidad para el tránsito de todo tipo de vehículo por las vías de acceso que se encuentren sin pavimentar con el fin de atenuar el aporte de sólidos en suspensión, evitando humedecer el terreno para no incrementar la demanda de agua.
- Todas las vías deberán ser correctamente señalizadas de acuerdo con la normatividad vigente, considerando factores técnicos y ecológicos.
- Para el uso de vías de acceso privadas se deberán contar con los respectivos permisos de tránsito de parte de los propietarios. En estos casos las cercas y broches se mantendrán cerrados.

**5.3.2.3. Localización y Locación de Áreas de Botadero.** Las áreas destinadas como botaderos deben reunir ciertas condiciones geotécnicas con el fin de atenuar los efectos ambientales:

- En lo posible el sitio debe corresponder a una depresión natural del terreno, libre de drenajes naturales permanentes o intermitentes.
- No utilizar sitios que correspondan a áreas especiales, zonas boscosas o terrenos sujetos a inundación.
- Los sitios escogidos deben ofrecer condiciones de estabilidad geotécnica y ambiental óptimas, ya que se va a someter el terreno a una carga adicional y ocasionalmente permanente.
- No corresponder a zonas de nacimientos o corrientes de agua, los cuales puedan ser afectados por la construcción.

- En lo posible se debe elaborar un escalonamiento del área, con el fin de evitar la generación de superficies de falla.
- El botadero deberá cerrarse con el muro de gaviones construido en la parte baja del área, para aumentar la capacidad de almacenamiento e impedir el desarrollo de procesos de inestabilidad en la masa acumulada.
- El sistema de drenaje interno del botadero constara de un filtro basal en espina de pescado, el desembocará en una caja colectora localizada a la base de los muros de gaviones de cierre y a donde también convergerán las cunetas perimetrales.
- El agua colectada en la cuneta receptora se evacua hacia drenaje naturales, previniendo la generación de fenómenos de inestabilidad mediante la construcción de descoles.
- Finalizada la disposición de materiales sobrantes, se procederá a la empradización y arborización de la superficie del botadero. Para la empradización es recomendable emplear el material vegetal previamente removido y complementado con la técnica del biomanto, con el fin de garantizar una recuperación adecuada.
- El manejo de aguas de esorrentía sobre la superficie ya reconfirmada, se hará mediante un sistema de cortacorrientes y canales colectores que evacuen el agua hacia el terreno natural.

### **5.3.3. Apertura de Zanja y Tapado de Tubería.**

#### **5.3.3.1. Excavación de la Zanja.**

- La apertura de la zanja solo se efectuara cuando la tubería se encuentre lista para su instalación (doblada, soldada y protegida). El bajado y tapado se efectuara de forma inmediata procurando que la zanja no permanezca abierta más de un día.
- Las paredes de la zanja deben ser las mas verticales posible, entibadas o acomodadas en las zonas donde la estabilidad del terreno así lo requiera.
- El fondo de la zanja debe ser emparejado lo máximo posible y estar libre de rocas sueltas, gravas, raíces y materiales extraños que puedan dañar su revestimiento.
- De acuerdo con las especificaciones técnicas de construcción, la profundidad de las obras de protección necesarias para acordonar el material.
- El material proveniente de la excavación de la zanja deberá disponerse adyacente a esta y al lado opuesto de la zona de transito de maquinaria, a 1 m del borde de excavación.

#### **5.3.3.2. Tapado de la Zanja.**

- Ambientalmente no se considera conveniente que el relleno de la zanja alrededor de la tubería, para su protección, se realice con material arenoso,

dado que su obtención implicara la apertura de accesos hasta las fuentes de materiales y un impacto sobre los ecosistemas.

- Las zanjas se deben rellenar inmediatamente después de la instalación de la tubería.
- De acuerdo con lo anterior se sugiere que la primera capa de relleno de zanja sea el mismo de la excavación de ellas, libre de materia orgánica y suelos muy húmedos y blandos, separando los materiales gruesos o angulares.
- Las capas posteriores incorporarán los bloques y fragmentos rocosos para completar el relleno de la zanja.
- El relleno deberá ser compactado con un mínimo de cuatro (4) pasadas de la oruga del bulldozer.

#### **5.3.4. Cruce de Corrientes Superficiales.**

**5.3.4.1. Corrientes Principales.** Serán de uso obligatorio utilizar los cruces construidos durante la ejecución de proyectos anteriores, en los cuales se hayan dejado camisas o segmentos de tubería instalados. En el caso del gasoducto que permite la implementación desarrollo de las redes domiciliarias de gas en los municipios al sur del Departamento de Bolívar, que no hay ningún cruce construido, será necesario realizar toda la construcción de los cruces.

- Antes de iniciar la construcción de los cruces, se debe contar con el permiso de ocupación de cauces otorgado por la autoridad ambiental correspondiente.

- La construcción del cruce deberá realizarse en época de verano, para facilitar el manejo hidráulico de la corriente y minimizar efectos por sedimentación.
- En caso de existir una o más tuberías instaladas en el sitio de cruce, estas deben localizarse con anterioridad para evitar afectarlas durante la excavación.
- Las juntas de tubería realizadas en el tramo deben ser radiografiadas al 100%.
- La prueba hidrostática se efectuara para el tramo de tubería correspondiente al cruce, antes re conformar el lecho, chequeado y reparando los tramos de tubería averiada o mal soldada si la prueba no resulta satisfactoria.
- Durante la construcción de los cruces se debe impedir el aparte de materiales extraños a las corrientes, como desechos de construcción, aceites, etc.
- Se debe realizar un estricto control sobre los materiales de excavación en los sitios de cruce, disponiéndolos sobre las márgenes y acomodándolos mediante trinchos construidos con sacos de suelo o arena o trinchos de estacones, con el fin de evitar la caída de materia hacia la corriente.
- Se deberán construir sedimentadores en las zonas localizadas aguas abajo del cruce, que cumplan la función de retener finos en suspensión.
- Una vez finalizado la construcción del cruce y re conformado el cauce se deberán retirar los sedimentadotes previa limpieza del material fino retenido.
- La recuperación vegetal de las márgenes se efectuara de acuerdo con el grado de intervención ejercido durante los trabajos.

- En los sitios donde la excavación se realice en roca, la profundidad mínima de enterramiento del tubo será de 1.5 m medidos a partir del contacto roca-aluvial, de tal manera que la tubería quede embebida en ella, en este caso se tendrá en cuenta el sistema de atraque consistente en rodear la tubería con concreto ciclópeo hasta el nivel superior de roca.
- En caso que la tubería no quede embebida en la roca, se adoptara como profundidad de enterramiento determinada en los cálculos de socavación.
- Desde el punto mas bajo de la zanja se proyectaran los taludes de la misma, que serán lo mas vertical posible.
- La tubería se protegerá con doble recubrimiento aislante y cobertura de concreto.
- El lecho de la corriente intervenida durante la excavación deberá ser protegidos por fragmentos de roca (cantos) con tamaño mínimo de 30 cm, según recomendaciones del estudio geotécnico.
- Para la reconstrucción y protección de las márgenes, se deberá instalar gaviones.
- Luego de los trabajos de instalación, se reconfirmara el lecho, removiendo apilamientos o diques que entorpezcan el flujo natural.

**5.3.4.2. Corrientes Secundarias.** Los procedimientos ambientales para realizar cruces de corrientes menores se describen a continuación, de acuerdo con las obras tipo protección geotécnica y ambiental diseñadas.

- El material producto de la excavación de la zanja y el manejo hidráulico del cauce deberá realizarse en forma semejante al descrito en el cruce de corrientes principales, evitando el aporte de sedimentos aguas abajo del sitio de cruce y socavación lateral de márgenes.
- La profundidad de enterramiento del tubo será de 2.5 m, medidos a partir del punto mas bajo de sección del cruce.
- La tubería se protegerá con doble recubrimiento aislante, complementada con esterillas de guadua o tabillas de madera.
- El lecho de la corriente deberá ser reconstruido con material común, proveniente de la excavación compactada de la mejor manera posible.
- Las márgenes serán restauradas y protegidas mediante muros de gaviones, o con la disposición horizontal de sacos de polipropileno rellenos de suelo-cemento.

**5.3.4.3. Corrientes Menores.** La construcción de cruces en corrientes menores se deberán aplicar las mismas preventivas consideradas para la construcción de cruces de corrientes secundarias, reconfirmando las márgenes con sacos de suelo cemento y revegetalizando rápidamente con especies nativas.

#### **5.3.5. Cruce de Vías.**

- Los cruces de vías principales se realizaran mediante tunelera, adecuando para esto un área de trabajo para el control de residuos líquidos y sólidos que se pueden generar.

- Los cruces de vías secundarias o vías de acceso a fincas, deberá realizarse mediante excavación a cielo abierto sin que los trabajos a realizar impliquen la interrupción del tráfico. Para evitar esto se avisara con suficiente anticipación a la comunidad usuaria o a las entidades administradoras de las vías a cruzar, acerca de los trabajos y las fechas de ejecución de los mismos, de acuerdo con la programación de la obra.
- Los cruces se deben hacer lo mas perpendicular posible al eje de la vía y en ningún caso el ángulo que forme con el eje de la vía, debe ser inferior a 30 grados.
- En los cruces de las carreteras se deberá garantizar como mínimo que los sitios queden en las condiciones en que se encontraban inicialmente. Se deberá una efectiva recuperación de la banca de las vías cruzadas.
- El relleno de la zanja deberá efectuarse inmediatamente después de bajar la tubería. El acabado y compactación deben ser, como mínimo, iguales a los existentes en la vía antes de efectuar el trabajo.
- Una vez efectuado el cruce, para garantizar la estabilidad de excavación, se deben construir obras encaminadas a manejar la escorrentía.
- Los bordes excavados donde se prevean problemas de inestabilidad, se deberán restituir y proteger mediante muros de gaviones y demás estructuras que garanticen su estabilidad.

## **6. ANÁLISIS ECONÓMICO**

### **6.1. VALOR DE LA INVERSIÓN.**

Se realizó un estimativo de costos de inversión fija tomando en cuenta las cotizaciones directas con proveedores de los diferentes equipos, así como información de empresas con amplia experiencia en el diseño, construcción y montaje de gasoductos, valores que se estiman están muy ajustados a la realidad. Este estimativo se realizó para las dos alternativas de trazado de la línea, como se muestran a continuación.

#### **6.1.1. Alternativa 1 (La Gloria – Morales).**

Se realizaron las estimaciones necesarias para determinar el costo de construir el gasoducto La Gloria - Morales. La evaluación económica del gasoducto en tubería de 2", 0,154 pulgadas de espesor, 57,9 kilómetros de longitud, sería de US\$ 2'721.665 aproximadamente (Tabla 23). Esto arroja un promedio de US\$ 23.503 pulgada/Km.

#### **6.1.2. Alternativa 2 (Gamarra – Regidor).**

El costo estimado del gasoducto en tubería de 2", 0,154 pulgadas de espesor, 65,7 kilómetros de longitud, sería aproximadamente de US\$ 3'132.147 (Tabla 24). Esto arroja un promedio de US\$ 23.846 pulgada/Km.

**Tabla 23.** Costo Total de Construcción del Gasoducto Alternativa 1 La Gloria – Morales.

ITEM	d"	Diametro		CANTIDAD	USD
		Longitud			
Tubo de Acero 5L Grado B	2	8,66	Usd/ml	57900	501.414
Costos de importación		30	%		
I.V.A.		16	%		80.226
<b>A. COSTO DE TUBERIA</b>					<b>581.640</b>
Preliminares	2	919,3	Usd/km	57,9	53.227
Apertura del derecho de vía	2	397,3	Usd/km	57,9	23.004
Rebiselamiento	2	26,1	Usd/biesel	4825	125.933
Apertura de zanja, bajado y tapado	2	3.511,5	Usd/km	57,9	203.316
Transporte y tendido de tubería	2	7.282,6	Usd/km	57,9	421.663
Doblado, alineación y soldadura	2	4.141,2	Usd/km	57,9	239.775
<b>CONSTRUCCION</b>					<b>1.066.918</b>
<b>Factores de construcción</b>					
Factor de construcción				1,05	53.346
Factor de transporte				1,05	53.346
Factor ambiental				1,10	106.692
Condiciones socioeconómicas				1,10	106.692
Situación de fuerza mayor				1,05	53.346
Condiciones de mercado				1,05	53.346
<b>B. COSTOS DE CONSTRUCCION</b>					<b>1.493.685</b>
<b>OTROS COSTOS</b>					
Protección catódica		3.799,1	Usd/km	57,9	219.968
Pruebas de presión		443,6	Usd/km	57,9	25.684
Carreteras principales		314,3	Usd/ml	0	-
Carreteras secundarias		191,7	Usd/ml	30	5.751
Subfluviales principales		173,4	Usd/ml	700	121.380
Subfluviales secundarios		126,7	Usd/ml	30	3.801
Cruce de ferrocarril		415,7	Usd/ml	0	-
Actividades finales		621,2	Usd/km	57,9	35.967
Lastre en concreto		94,4	Usd/ml	0	-
Válvulas de seccionamiento		10.000,0	Usd/unidad	5	50.000,00
Trampa de raspadores		50.000,0	Usd/unidad		
Estación		50.000,0	Usd/unidad		
<b>C. OTROS COSTOS</b>					<b>462.552</b>
<b>D. INTERVENTORIA</b>					<b>183.788</b>
<b>TOTAL EN DÓLARES</b>					<b>2.721.665</b>
<b>TOTAL EN PESOS</b>		2.426,52*	\$/Usd		<b>6.857.333.334</b>

\* TRM del día 01 de Agosto de 2006

**Tabla 24.** Costo Total de Construcción del Gasoducto Alternativa 2 Gamarra – Regidor.

ITEM	d"	COSTO UNITARIO		CANTIDAD	USD
Tubo de Acero 5L Grado B	2	8,66	Usd/ml	65700	568.962
Costos de importación		30	%		
I.V.A.		16	%		91.034
<b>A. COSTO DE TUBERIA</b>					<b>659.996</b>
Preliminares	2	919,3	Usd/km	65,7	60.398
Apertura del derecho de vía	2	397,3	Usd/km	65,7	26.103
Rebiselamiento	2	26,1	Usd/biesel	5475	142.898
Apertura de zanja, bajado y tapado	2	3.511,5	Usd/km	65,7	230.706
Transporte y tendido de tubería	2	7.282,6	Usd/km	65,7	478.467
Doblado, alineación y soldadura	2	4.141,2	Usd/km	65,7	272.077
<b>CONSTRUCCION</b>					<b>1.210.647</b>
<b>Factores de construcción</b>					
Factor de construcción				1,05	60.532
Factor de transporte				1,05	60.532
Factor ambiental				1,10	121.065
Condiciones socioeconómicas				1,10	121.065
Situación de fuerza mayor				1,05	60.532
Condiciones de mercado				1,05	60.532
<b>B. COSTOS DE CONSTRUCCION</b>					<b>1.694.906</b>
<b>OTROS COSTOS</b>					
Protección catódica		3.799,1	Usd/km	65,7	249.601
Pruebas de presión		443,6	Usd/km	65,7	29.145
Carreteras principales		314,3	Usd/ml	0	-
Carreteras secundarias		191,7	Usd/ml	30	5.751
Subfluviales principales		173,4	Usd/ml	830	143.922
Subfluviales secundarios		126,7	Usd/ml	45	5.702
Cruce de ferrocarril		415,7	Usd/ml	0	-
Actividades finales		621,2	Usd/km	65,7	40.813
Lastre en concreto		94,4	Usd/ml	0	-
Válvulas de seccionamiento		10.000,0	Usd/unidad	9	90.000,00
Trampa de raspadores		50.000,0	Usd/unidad		
Estación		50.000,0	Usd/unidad		
<b>C. OTROS COSTOS</b>					<b>564.933</b>
<b>D. INTERVENTORIA</b>					<b>212.312</b>
<b>TOTAL EN DÓLARES</b>					<b>3.132.147</b>
<b>TOTAL EN PESOS</b>		2.426,52*	\$/Usd		<b>7.655.451.478</b>

\* TRM del día 01 de Agosto de 2006

## **6.2. COSTOS DE ADMINISTRACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

Para efectos del estudio, se ha considerado que el costo del primer año de administración, operación y mantenimiento (AO&M) equivale al 3% del costo de la inversión.

Para efecto de los cálculos de viabilidad se supone que los costos de AO&M tienen un aumento del 2% con respecto al del año inmediatamente anterior.

## **6.3. DEMANDA.**

Retomando la Tabla 25, definida en el anterior capítulo, se estima el número de viviendas y el consumo de gas natural para la totalidad de los municipios en los próximos veinte (20) años, lo cuales se observan en la Tabla.

## **6.4. COSTOS.**

Con el fin de estimar los cargos tarifarios, se determinan los costos en dólares del Proyecto del gasoducto que permite la implementación y desarrollo de las redes domiciliarias de gas en los municipios del Sur del Departamento de Bolívar, exceptuando los costos relacionados con la conexión (TRM de COL\$ 2.426,52 /dólar para el día 01 de Agosto de 2006).

<b>TRAYECTO</b>	<b>INVERSIÓN</b>	<b>AO&amp;M</b>
Alternativa 1 (La Gloria – Morales)	2'721.665	81.650*
Alternativa 2 (Gamarra – Regidor)	3'132.147	93.964*

\* Primer año. Los gastos de AO&M se causan anualmente.

**Tabla 25.** Estimación del Número de Viviendas y Consumo de Gas Natural para la Totalidad de los Municipios Beneficiados con el Proyecto.

<b>Año</b>	<b>Viviendas</b>	<b>Consumo KPCD</b>
1	3668	86,32
2	3779	88,94
3	3894	91,65
4	4013	94,44
5	4136	97,32
6	4262	100,30
7	4392	103,37
8	4527	106,53
9	4666	109,80
10	4809	113,18
11	4957	116,66
12	5110	120,25
13	5268	123,96
14	5430	127,79
15	5598	131,75
16	5772	135,83
17	5951	140,04
18	6136	144,39
19	6326	148,88
20	6524	153,52

Fuente: Cálculos del Autor.

## **6.5. TARIFAS.**

Adicionalmente, para el cálculo de los cargos de transporte se utilizan parámetros dados por la CREG en la resolución No. 0125 de 2003, tales como la tasa de recuperación de capital a través del cargo fijo (12.511%) y la tasa de recuperación del capital a través del cargo variable (16.511%).

### **6.5.1. Alternativa 1 (La Gloria – Morales).**

Para la determinación del esquema tarifario se toma el consumo estimado para los municipios de Regidor, Ríoviejo, Arenal y Morales. Como se puede observar en la

Tabla 18 del anterior capítulo, el consumo de gas estaría por el orden de los 83.80 KPCD para el primer año.

De acuerdo con simulación realizada, la capacidad máxima nominal del Gasoducto La Gloria – Morales, con las condiciones descritas anteriormente, es de 0.530 MPCD con una presión de salida en La gloria de 465 psia y una presión de llegada a Morales de 100 psia. Algunas cifras de interés especial para los cálculos son las siguientes:

Inversión inicial requerida:	US\$ 2'721.665
VPN de los gastos de AO&M a 20 años:	US\$ 667.554
<b>Total 20 Años:</b>	<b>US\$ 3'389.219</b>

Las tarifas de transporte a cobrar en US\$/Kpc, con Factor de Carga igual a 1, en pareja 80/20 y exceptuando los costos de conexión, serían (Cálculos con metodología CREG):

Cargo Fijo	1.1342
Cargo Variable	0.3611
Cargo AO&M	0.3478
<b>Total cargos</b>	<b>1.8431 (US\$ / KPC)</b>

#### **6.5.2. Alternativa 2 (Gamarra – Regidor).**

Para la determinación del esquema tarifario se toma el consumo estimado para los municipios de Morales, Arenal, Ríoviejo y Regidor. Como se puede observar en la Tabla 18 del anterior capítulo, el consumo de gas estaría por el orden de los 83.80 KPCD para el primer año.

De acuerdo con simulación realizada, la capacidad máxima nominal del Gasoducto Gamarra – Regidor, con las condiciones descritas anteriormente, es de 1.375 MPCD con una presión de salida en Gamarra de 1140 psia y una presión de llegada a Regidor de 100 psia. Algunas cifras de interés especial para los cálculos son las siguientes:

Inversión inicial requerida:	US\$ 3'132.147
VPN de los gastos de AO&M a 20 años:	US\$ 768.234
<b>Total 20 Años:</b>	<b>US\$ 3'900.381</b>

Las tarifas de transporte a cobrar en US\$/Kpc, con Factor de Carga igual a 1, en pareja 80/20 y exceptuando los costos de conexión, serían (Cálculos con metodología CREG):

Cargo Fijo	1.5123
Cargo Variable	0.4815
Cargo AO&M	0.4637
<b>Total cargos</b>	<b>2.4574 (US\$ / KPC)</b>

### 6.5.3. Total Costos de Transporte.

Para obtener el cargo total de transporte es necesario sumarles la tarifa por el transporte del tramo Ballena – Barrancabermeja (pareja 80/20), y los cargos por estampilla tanto de gasoductos principales como ramales, a saber:

<b>Cargo por Ballena – Barranca:</b>	
Cargo Fijo por inversión	0.3280
Cargo variable por inversión	0.1055
Cargo Fijo por AO&M	0.2934
<b>Total cargos</b>	<b>0.7269 (US\$ / KPC)</b>

**Estampilla Principales y Ramales:**

Cargo Fijo por Estampilla	0.1447
Cargo Variable por Estampilla	0.0480
Cargo AO&M por Estampilla	0.1047
<b>Total cargos</b>	<b>0.2974 (US\$ / KPC)</b>

**COSTO TOTAL TRANSPORTE DE GAS ALTERNATIVA 1:**

Cargo Equiv. Tramo Nuevo	1.8431
Cargo Equiv. Ballena – Barranca	0.7269
Cargo Equiv. Estampillas	0.2974
<b>Total Cargos</b>	<b>2.8674 (US\$ / KPC)</b>
	<b>2.5375 (US\$ / MBTU)</b>

**COSTO TOTAL TRANSPORTE DE GAS ALTERNATIVA 2:**

Cargo Equiv. Tramo Nuevo	2.4574
Cargo Equiv. Ballena – Barranca	0.7269
Cargo Equiv. Estampillas	0.2974
<b>Total Cargos</b>	<b>3.4817 (US\$ / KPC)</b>
	<b>3.0812 (US\$ / MBTU)</b>

**6.6. COMPARACIÓN COSTOS DEL GLP vs. GAS NATURAL****6.6.1. Costos del GLP**

Precio del cilindro de 40 libras de GLP en el Sur de Bolívar:	23,000 pesos
Precio del GLP por galón en el Sur de Bolívar (1 galón = 4.24 lb.):	2,438.0 pesos
Precio del GLP por MBTU (1 galón = 95,000 BTU):	25,663.2 pesos
<b>a) Precio del GLP por MBTU (US\$1 = 2,621):</b>	<b>9.79 dólares</b>

### 6.6.2. Costos del Gas Natural

Precio del gas de Guajira por KPC (1 KPC = 1.13 MBTU):	1.47188 dólares
b) Precio del gas Guajira por MBTU:	1.66322 dólares

Costo de la acometida por vivienda (pago anual):	17.52 dólares
Consumo mensual de gas:	20 m <sup>3</sup>
Consumo mensual de gas en KPC (1 m <sup>3</sup> = 0.0353 KPC):	0.706 KPC
Consumo anual de MBTU (1 KPC = 1.13 MBTU):	9.71 MBTU
c) Costo anual de la acometida por MBTU:	1.80 dólares

Costo por distribuidor (Dt) por m <sup>3</sup> :	200 pesos
d) Costo por distribuidor por MBTU:	1.91 dólares

e) Costo por transporte por MBTU:	?
-----------------------------------	---

Costo total usando gas natural:	b + c + d + e
---------------------------------	---------------

e) Costo del gas sin transporte (b + c + d):	5.37 dólares
--	--------------

Costo máximo por transporte de gas: a - e

<b>Costo máximo por transporte de gas por MBTU:</b>	<b>4.42 dólares</b>
---	---------------------

<b>Costo máximo por transporte de gas por KPC:</b>	<b>4.99 dólares</b>
--	---------------------

### 6.7. EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA.

La evaluación Económica y Financiera es determinante para analizar la viabilidad de la ejecución del proyecto, debido a esto se analizaran las siguientes variables; Costo de las Tarifas de Transporte, Valor Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Relación Beneficio Costo.

### **6.7.1. Costo de las Tarifas de Transporte.**

Como se puede observar en los anteriores ítems, en ninguna de las dos alternativas, los costos de las tarifas de transporte exceden el costo máximo por transporte de gas natural, lo cual le da una viabilidad inicial al proyecto.

Además, las tarifas de transporte están muy por de bajo de las del costo máximo de transporte, lo cual indica una reducción económica de gastos en los núcleos familiares de cada cabecera municipal, debido a que se va a pagar menos por el mismo consumo de energía, para la Alternativa 1 (La Gloria - Morales) hay una reducción de 1.88 US\$/MBTU y para la Alternativa 2 (Gamarra - Regidor) es de 1.34 US\$/MBTU.

### **6.7.2. Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna de Retorno (TIR).**

El Valor Presente Neto (VPN) a 20 años, de cada alternativa se calculó teniendo en cuenta el valor de la inversión inicial y los costos por AO&M en los 20 años, los cuales arrojaron los siguientes valores:

	<b>VPN</b>
Alternativa 1 (La Gloria – Morales)	US\$ 3'389.219
Alternativa 2 (Gamarra – Regidor)	US\$ 3'900.381

La tabla 26, nos muestra los flujos de caja del proyecto, que nos permiten calcular la Tasa Interna de Retorno (TIR) para cada Alternativa, los siguientes son los valores:

	<b>TIR</b>
Alternativa 1 (La Gloria – Morales)	3.546 %
Alternativa 2 (Gamarra – Regidor)	3.992 %

**Tabla 26.** Tasa Interna de Retorno para cada una de las Alternativas.

AÑO	CONSUMO ANUAL KPC	Alternativa 1 (La Gloria – Morales)			Alternativa 2 (Gamarra – Regidor)		
		TARIFA US\$/KPC	FLUJO NETO US%	TIR	TARIFA US\$/KPC	FLUJO NETO US\$	TIR
0			-3389219			-3900381	
1	31506.8	2.8674	90342.6		3.4817	109697.2	
2	32463.1	3.0681	99600.6		3.7254	120938.6	
3	33452.3	3.2829	109819.9		3.9862	133347.3	
4	34470.6	3.5127	121084.5		4.2652	147025.1	
5	35521.8	3.7586	133511.4		4.5638	162114.3	
6	36609.5	4.0217	147231.6		4.8833	178773.9	
7	37730.1	4.3032	162359.7		5.2251	197143.0	
8	38883.5	4.6044	179035.6		5.5908	217391.5	
9	40077.0	4.9267	197448.4	-15,10%	5.9822	239749.0	-14,408%
10	41310.7	5.2716	217773.4	-11,73%	6.4010	264428.3	-11,066%
11	42580.9	5.6406	240182.2	-8,934%	6.8490	291637.9	-8,302%
12	43891.3	6.0355	264903.6	-6,592%	7.3285	321655.4	-5,989%
13	45245.4	6.4579	292191.8	-4,609%	7.8415	354789.8	-4,031%
14	46643.4	6.9100	322305.1	-2,913%	8.3904	391354.4	-2,359%
15	48088.8	7.3937	355553.3	-1,451%	8.9777	431725.5	-0,919%
16	49578.0	7.9112	392223.4	-0,180%	9.6061	476251.7	0,332%
17	51114.6	8.4650	432686.8	0,931%	10.2785	525383.9	1,425%
18	52702.4	9.0576	477356.1	1,909%	10.9980	579622.9	2,386%
19	54341.2	9.6916	526654.1	2,775%	11.7679	639482.4	3,236%
20	56034.8	10.3700	581082.6	3,546%	12.5917	705571.4	3,992%

### 6.7.3. Relación Beneficio Costo.

Esta variable es uno de los criterios evaluativos, usado con mayor frecuencia y se expresa como resultado de dividir los ingresos totales por los costos totales, indicándonos la rentabilidad del interés de oportunidad obtenido por el monto invertido en el proyecto a precio de hoy.

La Relación de Beneficio Costo se expresa de la siguiente manera:

$$RB/C = \frac{\text{Ingresos Totales}}{\text{Costos Totales}}$$

Alternativa 1 (La Gloria – Morales)

$$RB/C = \frac{5343346,9}{3389219} = 1,5766$$

Alternativa 2 (Gamarra – Regidor)

$$RB/C = \frac{6488083,6}{3900381} = 1,6634$$

Esta razón indica que para aceptar el proyecto la relación Beneficio Costo (RB/C), deberá ser positiva y mayor que uno (1), en el caso contrario el proyecto debe ser revaluado o rechazado.

El valor de la Relación Beneficio Costo para cada una de las alternativas, es aceptable o viable para la ejecución del proyecto. Esta razón es buena, teniendo en cuenta que el proyecto es de carácter social inicialmente y considerando que el Gobierno Nacional, a través de las Alcaldías Municipales, aportará el capital con que se inicia la obra.

## CONCLUSIONES

- El estudio técnico arroja una viabilidad inicial del proyecto, debido a que existe la posibilidad de conexión al gasoducto troncal Ballena – Barrancabermeja, mediante los ramales existentes en los municipios de La Gloria y Gamarra en el Departamento del Cesar, con el cual se definieron dos alternativas de trazado de línea del nuevo gasoducto, obteniéndose condiciones de operación favorables para llevar el gas natural a las cabeceras municipales beneficiadas con el proyecto.
- Debido a las propiedades del gas natural que será transportado, las condiciones de operación y los mínimos cambios de elevación en el trazado del gasoducto, no se requiere una infraestructura demasiado compleja para el tratamiento del gas natural, debido a que no hay la posibilidad de formación de condensados en la línea.
- El simulador de procesos Hysys 3.2. permitió realizar un modelo de simulación acertado, que garantiza el transporte de gas natural en forma segura y eficiente a las cabeceras municipales, cuando se presentan diferentes escenarios operacionales, tales como, máxima y mínima presión de entrada al gasoducto, máxima y mínima temperatura ambiente en la zona de influencia y diferentes caudales proyectados en el periodo de operación del gasoducto.
- Durante el proceso de diseño del nuevo gasoducto, se explica en gran parte la crisis ambiental que sufre la zona beneficiada con el proyecto, por ello se debe tomar como política de vida, el conocimiento, la aplicación y el seguimiento de un buen Plan de Manejo Ambiental que garantice la minimización y mitigación

de los impactos ambientales que puedan ser generados durante la ejecución de este tipo de proyectos.

- Los resultados económicos como el Valor presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y la Relación Beneficio Costo (RB/C), son valores positivos pero no los mejores, comparados con la Tasa Atractiva de Retorno (TAR) Interbancaria. Estos valores no deberían ser determinantes para la ejecución del proyecto, ya que este se hace con el fin de satisfacer las necesidades sociales de los habitantes de estos municipios, el cual es un objetivo contemplado por el Plan de Masificación del Gas Natural.
- Basados en los resultados obtenidos por el modelo de simulación, el posible impacto ambiental que se ocasione durante la ejecución del proyecto y el costo de inversión inicial, la Alternativa 1 (La Gloria – Morales), es la mas viable, debido a que la presión de operación es menor, por lo que se requiere menor numero de facilidades que permitan cumplir con las condiciones de entrega reglamentadas por el RUT, asimismo el trazado de línea causa un menor impacto ambiental porque cruza un menor numero de corrientes hídricas y menores zonas boscosas, y por ultimo el costo de inversión inicial del proyecto es menor.

## RECOMENDACIONES

- Con el fin de contribuir con el Plan de Masificación del Gas, con la ejecución de este proyecto se puede considerar la posibilidad de realizar un estudio, que permita la extensión del gasoducto a todas las cabeceras municipales del Sur de Bolívar como son al Norte, San Martín de Loba, Barranco de Loba y El Peñón, y al Sur, Simití y Santa Rosa del Sur, para que de esta manera sean beneficiados con el servicio de gas natural domiciliario.
- En el caso de que la organización administrativa y financiera de este proyecto este a cargo de una Asociación de Municipios del Sur de Bolívar, esta debe ser asesorada por una empresa o personal calificado que cuenten con la capacidad cognoscitiva en la comercialización de servicios públicos.
- Se debe hacer un sistema de evaluación del programa de Seguridad Industrial, que permita el diseño de planes de contingencia para identificar los posibles riesgos de accidente durante la implementación y ejecución del proyecto, capacitando a todo el personal administrativo, técnico y operativo, al igual que la comunidad en general para eventos de emergencia.
- Hay que tener en cuenta que el simulador de procesos Hysys 3.2., simula de manera efectiva el comportamiento de presión, aunque para el manejo de temperaturas posee una limitación debido a que la temperatura del flujo del gas dentro de la tubería, siempre tiende a igualar la temperatura ambiente en un corto tramo de tubería.

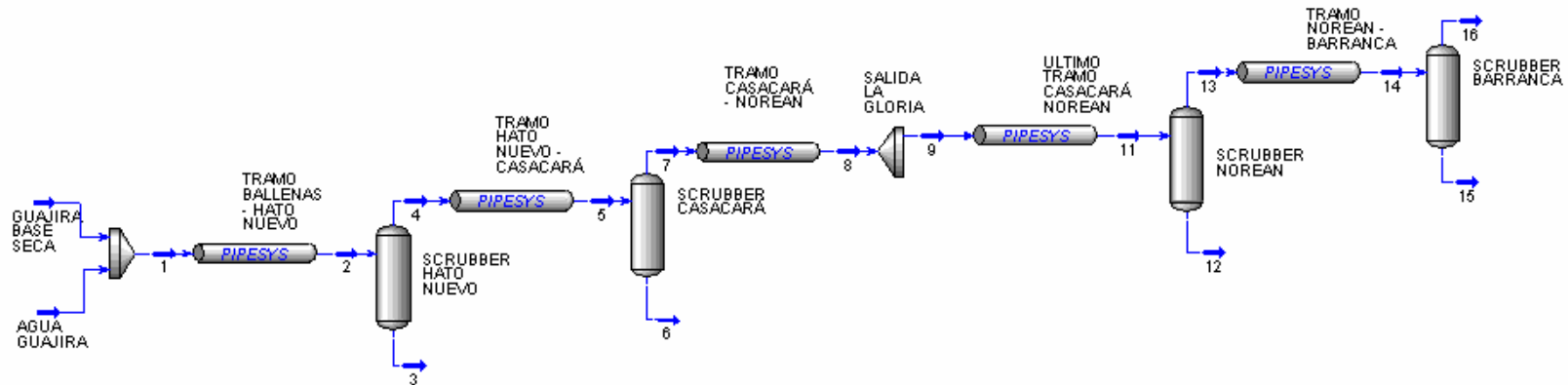
## BIBLIOGRAFIA

1. BHADURI, S. y TALACHI, R.K. Optimization of natural gas pipeline design. The University of Texas at El Paso. Texas, USA, 1995.
2. GAS PIPELINE SYSTEMS. National Standard of Canada. Ontario, Canada, 1992.
3. HERNANDEZ, Edelberto. Tecnología del Gas, Gasoductos y Redes Domiciliarias. Colombia, Bucaramanga, 2004.
4. HYPROTECH LTD. Hysys Process Simulator Program, 300 Hypotech Centre, Calgary, Canadá.
5. KENNEDY, John. Oil and Gas Pipeline Fundamentals. Ed PennWell.. Tulsa, Oklahoma. 1993. 33 – 37, 81 – 89 p.
6. KHARIONRSHY, V. Problems of service life in the construction of gas pipelines. All - Russian Gas Science and Research Institute. 1996.

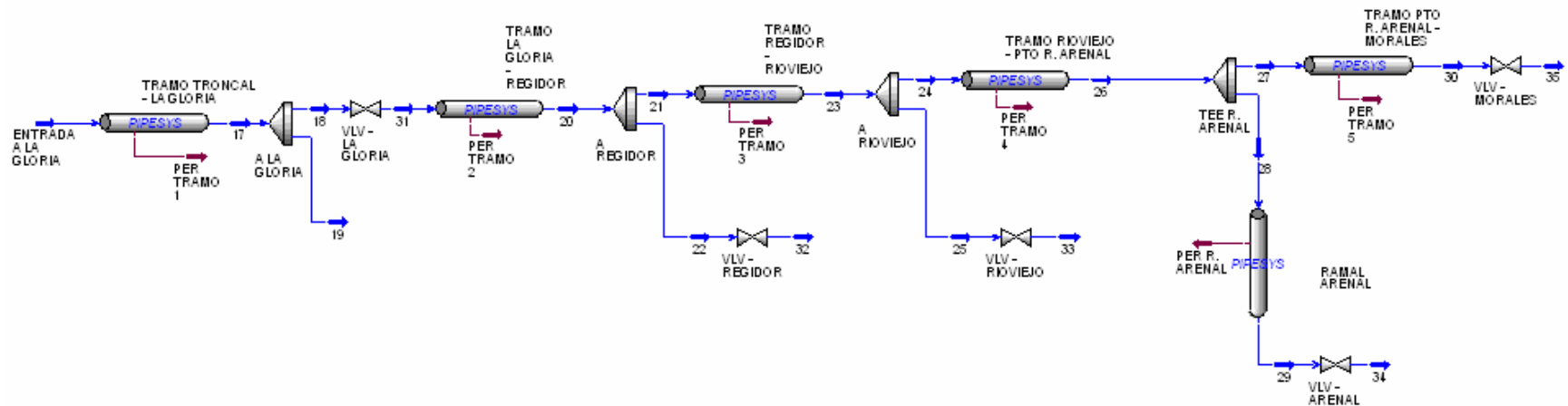
7. REGLAMENTO ÚNICO DE TRANSPORTE. Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG. Santa Fe de Bogota D.C., 1999.
  
8. SISTEMAS DE TUBERÍAS PARA TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN DE GAS. The American Society of Mechanical Engineers – ASME B 31.8 – Edición de 1999.
  
9. SZABO, S; MURRAY, A y ASANTE, B. Gas Pipeline Design and Distribution Networks. Section One: Desing. The University of Calgary. Calgary, Alberta, Canada. 1998

## **ANEXO A**

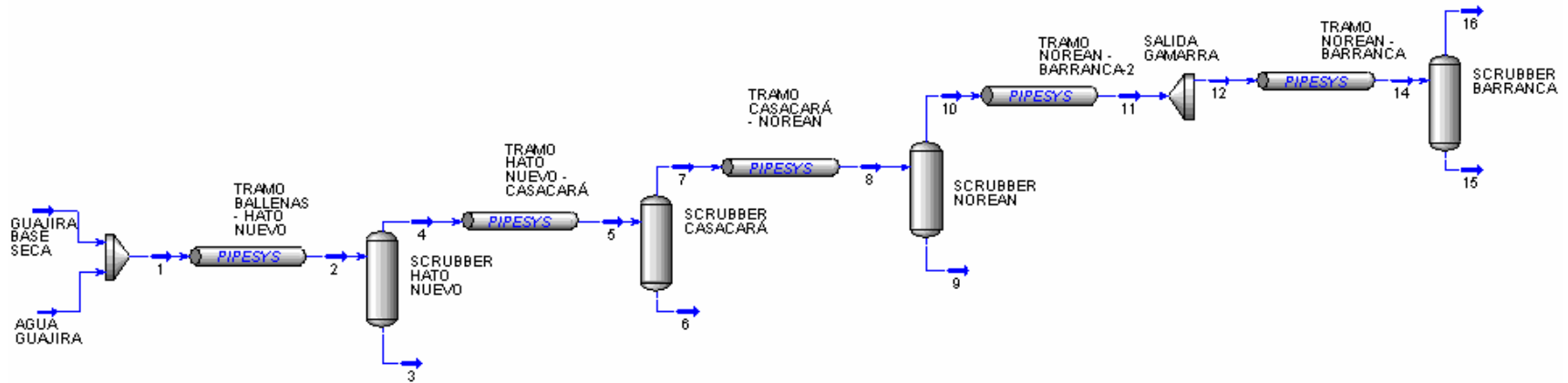
**Figura A1.** Montaje en Hysys 3.2 del Modelo de Simulación para la Alternativa 1 (Gasoducto Ballena – Barrancabermeja)



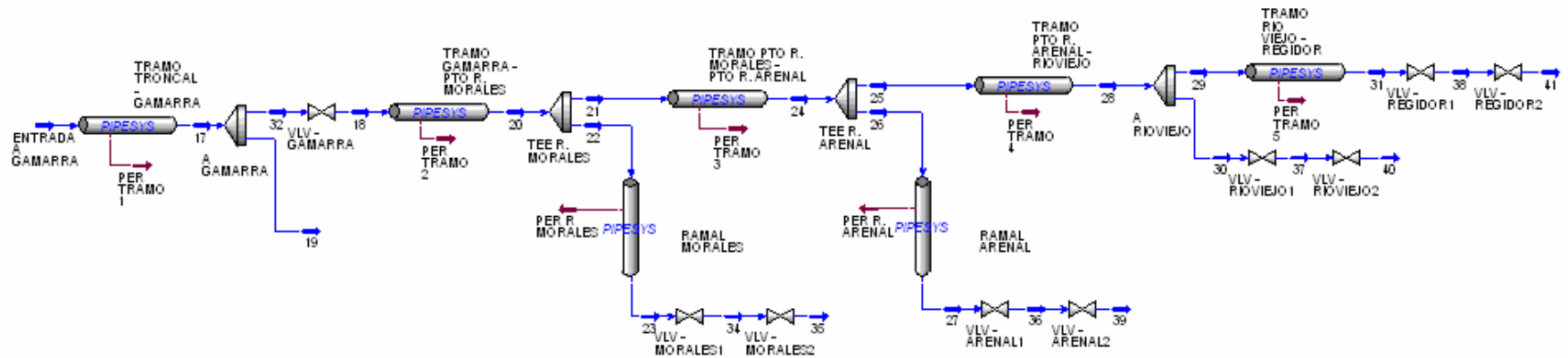
**Figura A2.** Montaje en Hysys 3.2 del Modelo de Simulación para la Alternativa 1 (Gasoducto La Gloria – Morales)



**Figura A3.** Montaje en Hysys 3.2 del Modelo de Simulación para la Alternativa 2 (Gasoducto Ballena – Barrancabermeja)



**Figura A4.** Montaje en Hysys 3.2 del Modelo de Simulación para la Alternativa 2 (Gasoducto Gamarra –Regidor)



## ANEXO B

**Tabla B1.** Para la Alternativa 1 (La Gloria – Morales)

Distancia	Elevación	P máxima 1100 psia		P media 700 psia		P mínima 500 psia	
		P (Psia)	T (°F)	P (Psia)	T (°F)	P (Psia)	T (°F)
0	50	1099	84,14	698,3	84,21	497,6	84,23
4,9	36	1100	84,24	698,6	84,2	497,5	84,19
12,8	49	1099	84,21	697,5	84,19	496,4	84,2
29	65	1097	84,19	696,3	84,19	495,2	84,2
50,9	25	1100	82,38	698,1	82,37	496,3	82,37

**Tabla B2.** Para la Alternativa 2 (Gamarra – Regidor)

Distancia	Elevación	P máxima 1100 psia		P media 700 psia		P mínima 500 psia	
		P (Psia)	T (°F)	P (Psia)	T (°F)	P (Psia)	T (°F)
0	50	1099	82,39	698,8	82,37	498,3	82,39
9,3	25	1101	82,41	699,2	82,39	497,9	82,41
26,6	65	1097	84,21	699,6	84,21	495,6	84,22
42,7	49	1098	84,21	697,1	84,21	495,8	84,22
50,6	36	1099	84,21	697,7	84,21	496,2	84,21

## ANEXO C

**Tabla C1.** Para la Alternativa 1 (La Gloria – Morales)

Distancia	Elevación	T ambiente máxima		T ambiente media		T ambiente mínima	
		P (Psia)	T (°F)	P (Psia)	T (°F)	P (Psia)	T (°F)
0	50	462,3	84,23	462,3	84,23	462,3	84,23
4,9	36	462,1	86,55	462,1	84,19	462,1	79,34
12,8	49	461	87,64	460,8	84,2	459,9	76,6
29	65	460	85,83	459,9	84,2	458,9	77,4
50,9	25	461	87,63	460,9	82,37	460	70,34

**Tabla C2.** Para la Alternativa 2 (Gamarra – Regidor)

Distancia	Elevación	T ambiente máxima		T ambiente media		T ambiente mínima	
		P (Psia)	T (°F)	P (Psia)	T (°F)	P (Psia)	T (°F)
0	50	1139	82,39	1140	82,39	1139	82,39
9,3	25	1141	87,61	1141	82,41	1141	70,33
26,6	65	1137	85,81	1137	84,21	1136	77,36
42,7	49	1138	87,74	1139	84,21	1137	76,65
50,6	36	1139	86,52	1140	84,21	1138	75,44

## ANEXO D

**Tabla D1.** Caudales proyectados para los años 2006, 2016 y 2026.

							<b>TOTALES ALTERNATIVAS</b>	
	<b>LA GLORIA</b>	<b>GAMARRA</b>	<b>REGIDOR</b>	<b>RIOVIEJO</b>	<b>ARENAL</b>	<b>MORALES</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>AÑO</b>	KPCD	KPCD	KPCD	KPCD	KPCD	KPCD	KPCD	KPCD
2006	16	17	14,5	24,4	20,7	26,7	102,3	103,3
2016	21,1	22,3	20,6	36,6	25,7	33,3	137,3	138,5
2026	28,9	30,8	30,5	47,8	32,5	42,7	182,4	184,3

**Tabla D2.** Para la Alternativa 1 (La Gloria – Morales)

		<b>CAUDAL 2006</b>		<b>CAUDAL 2016</b>		<b>CAUDAL 2026</b>	
<b>Distancia</b>	<b>Elevación</b>	<b>P (Psia)</b>	<b>T (°F)</b>	<b>P (Psia)</b>	<b>T (°F)</b>	<b>P (Psia)</b>	<b>T (°F)</b>
0	50	462,3	84,23	460,4	84,2	457,2	84,19
4,9	36	462,1	84,19	459,8	84,21	455,9	84,21
12,8	49	461	84,2	458,2	84,18	453,5	84,18
29	65	459,7	84,2	456,6	84,2	451,3	84,2
50,9	25	460,7	82,37	457,4	82,38	451,9	82,36

**Tabla D3.** Para la Alternativa 2 (Gamarra – Regidor)

		<b>CAUDAL 2006</b>		<b>CAUDAL 2016</b>		<b>CAUDAL 2026</b>	
<b>Distancia</b>	<b>Elevación</b>	<b>P (Psia)</b>	<b>T (°F)</b>	<b>P (Psia)</b>	<b>T (°F)</b>	<b>P (Psia)</b>	<b>T (°F)</b>
0	50	1140	82,39	1139	82,41	1138	82,39
9,3	25	1141	82,41	1140	82,39	1139	82,38
26,6	65	1138	84,21	1136	84,2	1134	84,19
42,7	49	1139	84,21	1137	84,2	1135	84,19
50,6	36	1140	84,21	1138	84,2	1136	84,21

## ANEXO E

**Tabla E1.** Comportamiento de la Envolvente para Diferentes Relaciones de Carga del Gas Guajira

CARGA ALTA		CARGA MEDIA		CARGA BAJA	
Presión Psia	T Rocio °F	Presión Psia	T Rocio °F	Presión Psia	T Rocio °F
29,392	22,401	29,392	15,120	29,392	-0,581
48,459	31,282	48,459	23,581	48,459	7,554
79,895	39,831	79,895	31,669	79,895	15,304
169,139	50,716	169,139	41,761	169,139	24,853
335,943	55,396	316,026	45,579	302,645	28,139
358,067	55,343	358,067	45,378	358,067	27,771
758,027	41,435	758,027	29,566	758,027	9,971
1052,164	17,754	1040,945	4,012	1017,736	-18,092
1280,195	-29,896	1210,268	-39,442	1111,835	-48,913
1281,988	-34,704	1205,796	-46,989	1052,423	-73,995
1202,041	-65,360	1041,997	-84,163	950,031	-90,713
1054,808	-86,273	1004,649	-88,737	857,601	-101,247
925,609	-99,039	968,641	-92,750	774,164	-109,098
812,235	-108,302	933,922	-96,330	698,844	-115,328
712,747	-115,469	884,164	-101,067	663,979	-118,003
667,671	-118,489	837,057	-105,207	663,846	-118,013
646,214	-119,883	792,460	-108,874		
645,967	-119,899	750,239	-112,156		
645,843	-119,907	710,267	-115,115		
		681,692	-117,153		
		661,018	-118,589		
		657,212	-118,850		
		655,317	-118,980		
		654,372	-119,044		

## ANEXO F

**Tabla F1.** Condiciones de Operación Con y Sin Válvula para la Alternativa 1 (La Gloria – Morales)

Distancia	Elevación	SIN VÁLVULA		CON VÁLVULA	
		P (Psia)	T (°F)	P (Psia)	T (°F)
0	50	462,3	82,39	600	53,91
4,9	36	462,1	16,92	600,1	82,39
12,8	49	461	19,43	597,6	84,21
29	65	459,7	19,37	598	84,21
50,9	25	460,7	19,30	598,5	84,21

## ANEXO G

**Tabla G1.** Condiciones de Operación Con y Sin Válvula para la Alternativa 2 (Gamarra – Regidor)

Distancia	Elevación	SIN VÁLVULA		CON VÁLVULA	
		P (Psia)	T (°F)	P (Psia)	T (°F)
0	50	1140	82,39	600	53,91
9,3	25	1141	82,41	600,1	82,39
26,6	65	1138	84,21	597,6	84,21
42,7	49	1139	84,21	598	84,21
50,6	36	1140	84,21	598,5	84,21