

**MODELO Y SIMULACIÓN OPERACIONAL DE LA RED DE GASODUCTOS
QUE HACEN PARTE DE LA INFRAESTRUCTURA DE GAS NATURAL DE
PROMIORIENTE S.A. E.S.P. USANDO LA HERRAMIENTA HYSYS**

YURY FRANCISCO GÓMEZ ACEVEDO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIA FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA DE PETROLEOS
BUCARAMANGA**

2015

**MODELO Y SIMULACIÓN OPERACIONAL DE LA RED DE GASODUCTOS
QUE HACEN PARTE DE LA INFRAESTRUCTURA DE GAS NATURAL DE
PROMIORIENTE S.A. E.S.P. USANDO LA HERRAMIENTA HYSYS**

YURY FRANCISCO GÓMEZ ACEVEDO

**Trabajo de Grado para optar el título de
Especialista en Ingeniería del Gas**

Director

MANUEL CABARCAS SIMANCAS

Ingeniero de Petróleos

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIA FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA DE PETROLEOS
BUCARAMANGA**

2015

CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN.....	17
1. GENERALIDADES DE LA COMPAÑÍA PROMIORIENTE S.A. E.S.P.....	18
2. BASES DE DISEÑO DE LOS GASODUCTOS DE PROMIORIENTE S.A. E.S.P.....	22
2.1 DATOS GEOMÉTRICOS.....	22
2.1.1 Perfil topográfico.....	22
2.1.2 PROFUNDIDAD DE ENTERRAMIENTO.....	27
2.1.3 Recubrimiento de la tubería.....	27
2.1.4 Tubería y rugosidad:.....	28
2.1.5 Diámetro y espesor de la tubería.....	30
2.1.6 Estaciones de los gasoductos de PROMIORIENTE.....	30
2.1.7 Cruces aéreos y subfluviales.....	36
2.2 DATOS DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES.....	36
2.2.1 Temperatura ambiente.....	36
2.2.2 Tipo de suelo.....	37
2.2.3 Aire atmosférico.....	40
2.3 CRITERIOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	42
2.3.1 Conducción.....	42
2.3.2 Convección.....	42
2.3.2.1 Coeficiente convectivo interno.....	42
2.3.2.2 Coeficiente convectivo externo.....	43

2.3.2.3	Radiación.....	46
2.4	DATOS DEL FLUIDO.....	46
2.4.1	Evolución de las ecuaciones de estado.....	46
2.4.2	Metodología y selección de la envolvente de fases del fluido.....	46
2.4.2.1	Metodología para selección y ajuste de la EOS.....	47
2.4.2.2	Selección y ajuste de la EOS del gas Gibraltar y Ballenas.....	48
2.5	DATOS DE LAS CONDICIONES OPERACIONALES	56
3.	CREACION Y AJUSTE MODELO DE LOS GASODUCTOS DE PROMIORIENTE.	60
3.1	CREACION DEL MODELO.....	60
3.2	ECUACIONES DE FLUJO.....	61
3.3	SIMULACION Y COMPARACION CON DATOS REALES DEL SISTEMA.	63
4.	SIMULACIÓN DE LAS CONDICIONES CRÍTICAS OPERACIONALES.....	69
4.1	CONDICIONES CRÍTICAS CONSUMO REMITENTES	69
4.2	PROBLEMAS ASOCIADOS A LA TRANSFERENCIA DE CALOR.	70
4.2.1	Condensación de fluidos.....	71
4.2.2	Formación de hidratos	73
4.3	CALIDAD DEL GAS NATURAL	74
4.3.1	Sectores críticos a nivel geotécnico.....	79
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS.....	88
5.1	CONDICIONES CRÍTICAS CONSUMO REMITENTES	88
5.2	CONDICIONES CRÍTICAS OPERACIONALES Y DE CALIDAD DEL GAS	88
5.3	SECTORES CRÍTICOS A NIVEL GEOTÉCNICO.....	91
6.	CONCLUSIONES.....	95

7. RECOMENDACIONES	98
BIBLIOGRAFIA.....	99

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Recubrimientos de los gasoductos con sus conductividades térmicas....	28
Tabla 2. Rugosidad abs interna de las tuberías de los gasoductos de PROMIORIENTE.	30
Tabla 3. Tipo de suelos y sus conductividades térmicas establecidas en HYSYS:	37
Tabla 4. Tipo de suelo a lo largo de los gasoductos de PROMIORIENTE S.A. E.S.P.....	38
Tabla 5. Datos del Dew Point de HC del Gas Gibraltar medidos con Condumax II	48
Tabla 6. Composición molar extendida del gas Gibraltar.....	49
Tabla 7. Resultados en HYSYS de las EOS del gas Gibraltar.....	50
Tabla 8. Ajuste del C9+ del gas Gibraltar.	51
Tabla 9. Cálculo del Poder Calorífico y Gravedad Específica del gas Gibraltar. ...	53
Tabla 10. Composición molar del gas Ballenas.	53
Tabla 11. Resultados en HYSYS de las EOS del gas Ballenas promedio.....	54
Tabla 12. Ajuste del C6+ del gas Ballenas.	54
Tabla 13. Cálculo del Poder Calorífico y Gravedad Específica del gas Ballenas. .	55
Tabla 14. Máximos flujos volumétricos de los puntos de salida de menor consumo de los remitentes de PROMIORIENTE.	56
Tabla 15. Modelos de flujo disponibles en HYSYS	63
Tabla 16. Dew Point de HC gas Gibraltar	72
Tabla 17. Análisis condiciones operacionales puntos de salida gasoductos PROMIORIENTE.	72
Tabla 18. Calidad del gas (Según RUT - Resolución CREG 071-99).	75
Tabla 19. Datos de la calidad del gas Gibraltar y Ballenas.....	76

Tabla 20. Composición molar y volumétrica del gas Gibraltar.	77
Tabla 21. Sectores críticos a nivel geotécnico gasoductos Gibraltar-Bmanga 12".	79
Tabla 22. Sectores críticos geotécnicamente de los gasoductos Barranca-Payoa-Bmanga.	80
Tabla 23. Datos simulación en caso de falla del sector Palocoposo/Azufrada 1 del gasoducto Payoa-Bmanga 6"	81
Tabla 24. Datos operacionales en caso de falla a nivel geotécnico del sector Canoas/Azufrada del gasoducto Payoa-Bmanga 8".	82
Tabla 25. Datos operacionales en caso de falla a nivel geotécnico del sector Cedeño del gasoducto Gibraltar-Chitagá".....	84
Tabla 26. Datos operacionales en caso de falla a nivel geotécnico del sector Chona del gasoducto Gibraltar-Chitagá".....	85
Tabla 27. Cálculo empaquetamiento tramo Alto Virgen-Gibraltar.	86
Tabla 28. Cálculo sistema de calentamiento en puntos de salida del sistema de transporte.....	89

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Gasoductos de PROMIORIENTE con sus puntos de entrada y salida...20	
Figura 2. Dualidad en la operación de los Gasoductos de PROMIORIENTE.21	
Figura 3. Perfil topográfico y de temperatura ambiente del gasoducto Gibraltar-Chitagá.23	
Figura 4. Perfil topográfico y de temperatura ambiente del gasoducto Chitagá-Bmanga.24	
Figura 5. Perfil topográfico y de temperatura ambiente del gasoducto Payoa-Bmanga.25	
Figura 6. Perfil topográfico y de temperatura ambiente del gasoducto B/bermenja-Payoa.....26	
Figura 7. Esquema recubrimientos-aislantes térmicos de las tuberías28	
Figura 8. Composición química de tuberías de acero al carbón bajo norma API 5L.29	
Figura 9. Esquema Típico para Estación de puntos de salida31	
Figura 10. Esquema Típico para Estaciones seccionadoras32	
Figura 11. Esquema Típico para puntos de entrada33	
Figura 12. Esquema general de los gasoductos Payoa-Bmanga de 6" y 8"34	
Figura 13. Esquema general del Gasoducto Gibraltar-Chitagá-Bmanga 12"35	
Figura 14. Velocidad media del viento en Colombia durante el mes de junio 201441	
Figura 15. Ambiente de transferencia de calor para un gasoducto enterrado44	
Figura 16. Ambiente de transferencia de calor para un gasoducto al aire libre45	
Figura 17. Ambiente de transferencia de calor para un gasoducto sumergido.45	
Figura 18. Esquema simplificado para realizar cálculos consistentes con una EOS.48	

Figura 19. Frecuencia de datos del dew point de HC de junio a agosto 2014 del gas Gibraltar.	49
Figura 20. Envolvente fases gas Gibraltar con EOS Peng-Robinson sin ajuste	51
Figura 21. Definición del C9+ del gas Gibraltar.	51
Figura 22. Envolvente fases gas Gibraltar con EOS Peng-Robinson con ajuste ...	52
Figura 23. Composición gas Gibraltar ajustada en HYSYS	52
Figura 24. Envolvente de fases ajustada del Gas Ballenas	55
Figura 25. Flujo volumétrico horario de los puntos de salida relevantes de los gasoductos de PROMIORIENTE	57
Figura 26. Esquema puntos de salida y entrada de los gasoductos de PROMIORIENTE.	58
Figura 27. Condiciones Operacionales reales del Escenario 1	58
Figura 28. Condiciones Operacionales reales del Escenario 2.....	59
Figura 29. Condiciones Operacionales reales del Escenario 3.....	59
Figura 30. Problemas de cálculo en el tramo Gibraltar-Bmanga usando la correlación de flujo Gregory, Aziz, Mandhane.	64
Figura 31. Comparativo perfil de presiones reales vs simulador HYSYS en Escenario 1	66
Figura 32. Comparativo perfil de temperaturas reales vs simulador HYSYS en Escenario 1	66
Figura 33. Comparativo perfil de presiones reales vs simulador HYSYS en Escenario 2.....	67
Figura 34. Comparativo perfil de temperaturas reales vs simulador HYSYS en Escenario 2.....	67
Figura 35. Comparativo perfil de presiones reales vs simulador HYSYS en Escenario 3.....	68
Figura 36. Comparativo perfil de temperaturas reales vs simulador HYSYS en Escenario 3.....	68
Figura 37. Perfil de presiones para diferentes condiciones operacionales.	70
Figura 38. Curva de formación de hidratos del gas Gibraltar.....	74

Figura 39. Esquema operatividad gasoductos de PROMIORIENTE si falla el tramo Palocoposo/Azufrada 1.....	83
Figura 40. Esquema operatividad gasoductos de PROMIORIENTE si falla el tramo Canoas y/o Azufrada.	83
Figura 41. Esquema operatividad gasoductos de PROMIORIENTE si falla el tramo Cedeño y/o La Mesa.....	87
Figura 42. Esquema operatividad gasoductos de PROMIORIENTE si falla el tramo Chona.	87
Figura 43. Modelos Calentadores Catalíticos marca CATCO.....	89
Figura 44. Esquema de los calentadores catalíticos marca CATCO.	90
Figura 45. Capas de la tubería plástica reforzada	92
Figura 46. Transporte y flexibilidad de la tubería plástica reforzada	93
Figura 47. Sistema de conexión de la tubería plástica reforzada.....	93
Figura 48. Catálogo de selección y propiedades de la tubería plástica reforzada-Pipelife.	94

LISTA DE ANEXOS

	Pág
Anexo A. Datos Geométricos y Ambientales del Gasoducto Gibraltar-Chitagá de 12" de diámetro.....	102
Anexo B. Datos Geométricos y Ambientales del Gasoducto Chitagá-Bucaramanga de 12" de diámetro.....	108
Anexo C. Datos Geométricos y Ambientales del Gasoducto Payoa-Bucaramanga de 6" de diámetro.....	113
Anexo D. Datos Geométricos y Ambientales del Gasoducto Payoa-Bucaramanga de 8" de diámetro.....	119
Anexo E. Datos Geométricos y Ambientales del Gasoducto Barrancabermeja-Payoa de 8" de diámetro.....	125
Anexo F. Información de los puntos de entrada y salida de los gasoductos de PROMIORIENTE	128
Anexo G. Cruces Especiales (Aéreos y Subfluviales) del Gasoducto Gibraltar-Chitagá de 12" de diámetro.	130
Anexo H. Cruces Especiales (Aéreos y Subfluviales) del Gasoducto Chitagá-Bucaramanga de 12" de diámetro.....	131
Anexo I. Cruces Especiales (Aéreos y Subfluviales) del Gasoducto Payoa-Bucaramanga de 6" de diámetro.....	132
Anexo J. Cruces Especiales (Aéreos y Subfluviales) del Gasoducto Payoa-Bucaramanga de 8" de diámetro.....	133
Anexo K. Cruces Especiales (Aéreos y Subfluviales) del Gasoducto Barrancabermeja-Payoa de 8" de diámetro.	134
Anexo L. Simulación sin ajuste Envolvente de fases del Gas Gibraltar	135
Anexo M. Simulación sin ajuste Envolvente de fases del Gas Ballenas	138
Anexo N. Comparativo datos reales vs simulación HYSYS para el Escenario 1 .	141
Anexo O. Comparativo datos reales vs simulación HYSYS para el Escenario 2 .	142
Anexo P. Comparativo datos reales vs simulación HYSYS para el Escenario 3 .	143

Anexo Q. Cálculo Sistema de calentamiento puntos de salida.....144

RESUMEN

TÍTULO: MODELO Y SIMULACIÓN OPERACIONAL DE LA RED DE GASODUCTOS QUE HACEN PARTE DE LA INFRAESTRUCTURA DE GAS NATURAL DE PROMIORIENTE S.A. E.S.P. USANDO LA HERRAMIENTA HYSYS *

AUTOR: YURY FRANCISCO GÓMEZ ACEVEDO **

PALABRAS CLAVES: SIMULACIÓN GASODUCTOS, TRANSFERENCIA DE CALOR, ENVOLVENTE DE FASES, ECUACIONES DE FLUJO, PROBLEMAS OPERACIONALES, HYSYS.

DESCRIPCIÓN: El conocimiento del comportamiento de las condiciones operacionales de un sistema de gasoductos es de particular interés para predecir el perfil de temperatura y presión a lo largo del gasoducto y así conocer los puntos críticos del sistema donde posiblemente se pueden presentar diversos problemas operacionales entre los que se destacan la condensación de líquidos hidrocarburos y la formación de hidratos de gas, los cuales obstaculizan el paso efectivo del gas, afectan su calidad y promueven daños a la infraestructura asociados con la corrosión, adicionando las condiciones topográficas complicadas y los sectores críticos a nivel geotécnico que ponen en riesgo la continuidad de la operación.

En este proyecto se crea un modelo de simulación en HYSYS del sistema de gasoductos de PROMIORIENTE S.A. E.S.P. dedicados al transporte de gas natural y considerando los datos geométricos, los datos del fluido, los datos operacionales y de transferencia de calor y simulando y analizando las diferentes condiciones críticas que afectan la operación normal, como altos consumos de remitentes, problemas de rotura por inestabilidades del terreno, propiedades variables del gas transportado, se proponen posibles alternativas de solución a los diferentes problemas operacionales existentes o que potencialmente podrían llegar a ocurrir y afectar la continuidad del servicio y por ende los ingresos económicos de la compañía.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director Ing. Manuel Cabarcas Simancas.

ABSTRACT

TITLE: OPERATIONAL MODEL AND SIMULATION NATURAL GAS PIPELINE NETWORK OF INFRASTRUCTURE PROMIORIENTE SA E.S.P. USING THE SOFTWARE HYSYS *

AUTHOR: YURY FRANCISCO GÓMEZ ACEVEDO **

KEYWORDS: SIMULATION GAS NATURAL PIPELINES, HEAT TRANSFER, PHASE ENVELOPE, FLOW EQUATIONS, OPERATIONAL PROBLEMS, HYSYS.

DESCRIPTION: The knowledge of the behavior of the operating conditions of a pipeline gas natural system is particularly interesting to predict the profile of temperature and pressure along the pipeline and know the critical points system where diverse and possibly can be presented many operational problems like the liquid hydrocarbons condensation and the gas hydrates formation, which prevent the effective step of the gas, affect its quality and promote associated damages to infrastructure with the corrosion, adding the complicated topography conditions and the geotechnical critical sectors who threaten the continuity of the operation. In this project is created a simulation model in HYSYS of the pipeline system from PROMIORIENTE SA E.S.P. for the transport of natural gas and considering the geometric data, fluid data, operating condition data and heat transfer and simulating and analyzing different critical conditions affecting the normal operation, as high intakes of senders, breaking instability problems terrain, variable properties of the transported gas, and possible solutions to the various existing operational problems or could potentially reach occur and affect continuity of service and therefore the income of the company are proposed.

All this represents a significant increase in the operation and maintenance costs by the necessity to locate heating through the line or by the installation of facilities that guarantee an efficient control avoiding the generation of these problems and this form to be able to fulfill the regulation established by the control organisms.

* Bachelor Thesis

** Faculty of Physical and Chemical Engineering. Petroleum Engineering School. Director Ing. Manuel Cabarcas Simancas.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la infraestructura energética representa una de las prioridades económicas y sociales del país debido al aumento progresivo de la demanda del gas natural para cubrir las necesidades de la actividad industrial, residencial, servicios y de transporte, así como para la generación e impulso del desarrollo económico.

El gas natural debe ser transportado a los centros de consumo a través de una red compleja de gasoductos bajo diversas topografías y condiciones climatológicas. El óptimo funcionamiento de estos gasoductos es de vital importancia, por lo que es necesario evaluar periódicamente escenarios que pudieran afectar que este transporte se lleve a cabo eficientemente.

Los problemas más comunes que pueden ocurrir durante el transporte por gasoductos son la condensación de líquidos y la formación de hidratos, responsables a su vez de otros problemas operacionales que obstaculizan el paso efectivo del gas, afecta la calidad y promueven daños a la infraestructura asociados a la corrosión.

Todos estos factores representan un aumento significativo en los costos de mantenimiento por la necesidad de ubicar calentadores a través de la línea o por la instalación de facilidades que garanticen un control eficiente que evite la generación de dichos problemas, y permita cumplir con la reglamentación establecida por el organismo de control del sistema de transporte de gas natural. Estos problemas se presentan cuando los valores de presión y temperatura no pueden ser controlados eficientemente.

Estos valores están relacionados directamente con la transferencia de calor existente entre el gas y el ambiente en el que la tubería se encuentra.

PROMIORIENTE S.A. E.S.P. como empresa transportadora de gas natural de origen santandereano, comprometida con la calidad del servicio prestado a sus

clientes, y que cuenta con gasoductos localizados en el municipio de Santander y Norte de Santander, ubicados en zonas de alta inestabilidad geotécnica y diferentes pisos térmicos, está interesada en evaluar estas condiciones que pueden afectar su sistema de transporte.

Nuestro objetivo mediante este trabajo es poder detectar mediante ayuda de software y mediante el análisis termodinámico los posibles puntos afectados por el fenómeno de transferencia de calor, que implican la condensación de fluidos, formación de hidratos, riesgos operacionales por altos consumos de los remitentes, y/o restricciones en la capacidad de la red de gasoductos PROMIORIENTE por afectaciones de nivel geotécnico que son considerables debido a la ubicación de las tuberías en zonas de alta inestabilidad, adicionalmente dejar un modelo flexible que permita simular cualquier condición crítica estacionaria de sus gasoductos.

Todos estos análisis están alineados con la misión y la visión de PROMIORIENTE S.A. E.S.P. de ser una transportadora eficaz, eficiente, comprometida con mantener la credibilidad y confiabilidad del servicio con sus clientes y por ende evitando sanciones jurídicas, en caso de incumplir las reglamentaciones nacionales e internacionales de los sistemas de transporte de gas natural.

1. GENERALIDADES DE LA COMPAÑÍA PROMIORIENTE S.A. E.S.P.

PROMIORIENTE S.A. E.S.P. es una empresa privada santandereana cuya razón social es el transporte de gas natural por medio de gasoductos, mediante su construcción, operación y mantenimiento, basado en el establecimiento de estrictos Programas de Trabajo ajustados a los requerimientos mínimos de la norma ASME B 31-8, y manteniendo su misión de prestar un servicio público regulado por las leyes y reglamentaciones gubernamentales, con criterios profesionales y liderazgo empresarial garantizando altos niveles de confiabilidad, sin suspender el funcionamiento del sistema.

Ubicada actualmente como la tercera transportadora de gas más grande de Colombia, después de TGI y Promigas, siendo parte del Grupo Promigas, quién es su mayor accionista.

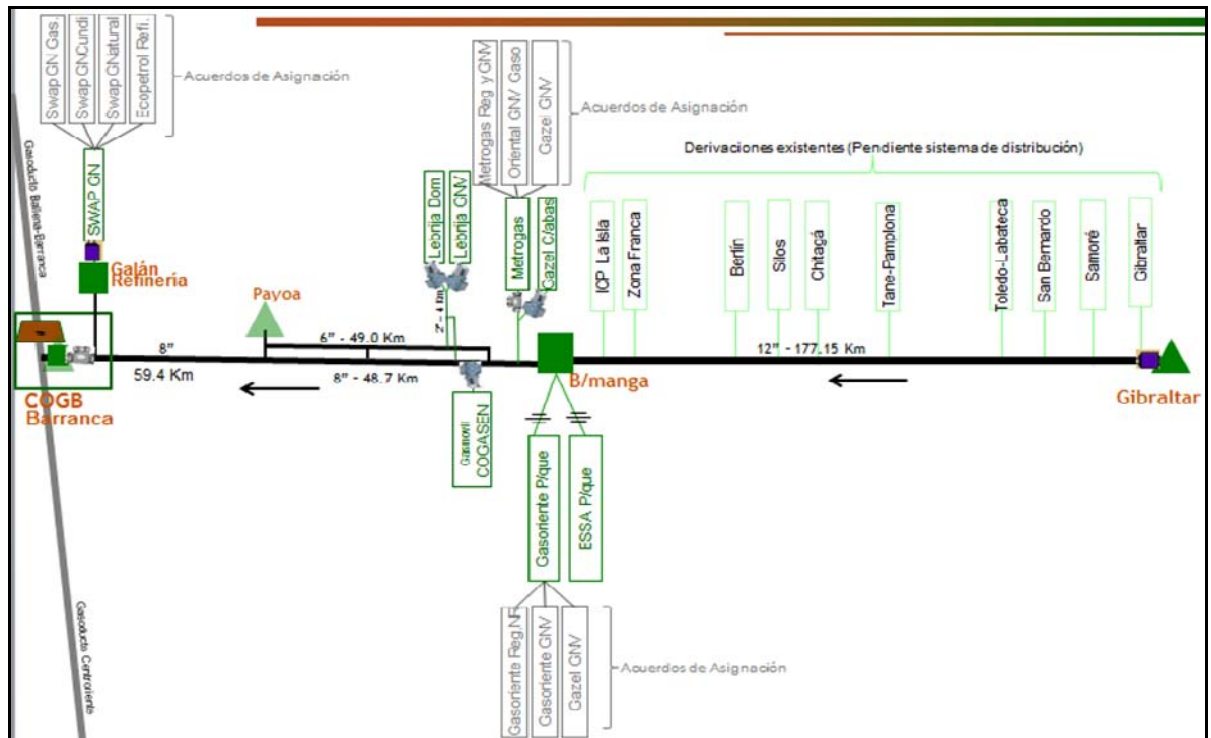
Las actividades ejecutadas por PROMIORIENTE están apoyadas por la información obtenida del sistema de transmisión de datos del gasoducto (SCADA), el cual permite conocer en tiempo real la situación técnica y operativa de los gasoductos y mantener un control permanente.

Los gasoductos propiedad de PROMIORINTE ubicados entre los departamentos de Santander y Norte de Santander son:

- Gasoducto Gibraltar-Chitagá-Bucaramanga de 12" de diámetro y 177,15 Km de longitud y capacidad máxima de transporte de 49,9 MMSCFD.
- Gasoducto Payoa-Bucaramanga de 8" de diámetro y 48,7 Km de longitud con un loop de 6" de diámetro y 49 Km de longitud, paralelos en la mayoría de su trayecto.
- Gasoducto Barrancabermeja-Payoa de 8" de diámetro y 59,4 Km de longitud.

El conjunto de gasoductos Barrancabermeja-Payoa-Bucaramanga tiene una capacidad máxima de transporte de 35,8 MMSCFD

Figura 1. Gasoductos de PROMIORIENTE con sus puntos de entrada y salida.



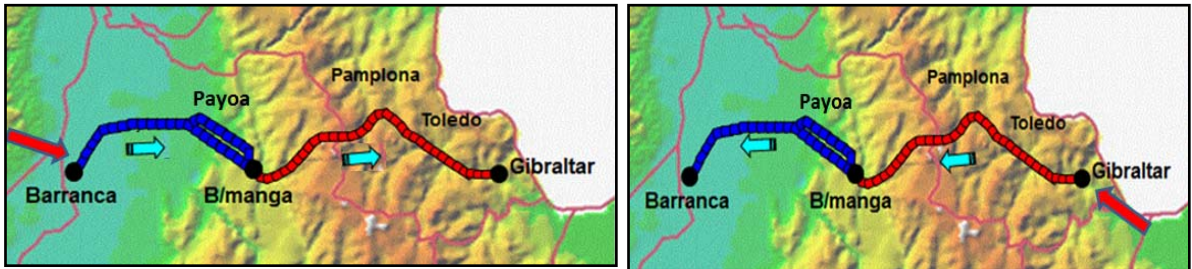
Fuente: <http://www.PROMIORIENTE.com.co/Contenido/Default.aspx?Id=98>, PROMIORIENTE S.A. E.S.P., 2011.

La filosofía de transporte en condiciones normales de operación se realiza ingresando gas desde el campo Gibraltar por medio del gasoducto Gibraltar-Bucaramanga, abasteciendo en su trayectoria las poblaciones Samoré, Labateca, San Bernardo, Tane, Chitagá y Silos del departamento de Norte de Santander, hasta la estación El Palenque en donde abastece el municipio de Bucaramanga y su Área Metropolitana, llevando el gas remanente a través del gasoducto Barranca-Payoa-Bucaramanga que atraviesa los municipios de Girón, Lebrija, Sabana de Torres, Puerto Wilches y Barrancabermeja del Departamento de Santander hasta Refinería Ecopetrol en el punto de Salida Estación Galán.

En caso de algún problema en el tramo Gibraltar-Bucaramanga que no le permita operar, el sistema de gasoductos tiene la dualidad para trabajar en sentido de

contraflujo, es decir desde Barrancabermeja hasta Bucaramanga, entrando el gas por COGB proveniente del campo Ballenas, con el objeto de mantener la demanda del municipio de Bucaramanga y su Área Metropolitana. En esta condición no se suministra gas a Galán Refinería.

Figura 2. Dualidad en la operación de los Gasoductos de PROMIORIENTE.



2. BASES DE DISEÑO DE LOS GASODUCTOS DE PROMIORIENTE S.A. E.S.P.

2.1 DATOS GEOMÉTRICOS

Los datos geométricos se definen mediante el perfil topográfico en donde se detallan las longitudes y la altimetría del gasoducto, la profundidad de enterramiento de la tubería, los diámetros y espesores de tubería, la relación y ubicación de los cruces aéreos, cruces subfluviales importantes y relevantes para el análisis del modelo, así como de las estaciones (puntos de entrada, salida y estaciones de seccionamiento) de la infraestructura de transporte de gas natural de PROMIORIENTE.

2.1.1 Perfil topográfico

Los datos del perfil topográfico se obtienen a partir de los levantamientos topográficos As Built para los gasoductos Gibraltar-Chitagá-Bucaramanga, así como de información obtenida de las corridas ILLI llevadas a cabo en los gasoductos Barrancabermeja-Payoa-Bucaramanga de 8" de diámetro y el gasoducto Payoa-Bucaramanga de 6" de diámetro detallados en el Anexo A al E.

La elevación inicial del gasoducto en el campo Gibraltar es de 520 m.s.n.m. El trayecto de Gibraltar a Bucaramanga con una longitud de 177.15 Km tiene un ascenso que alcanza una elevación de 3.700 m.s.n.m en el sector de Silos y el páramo de Berlín, perdiendo desde este punto nuevamente altura hasta llegar a Bucaramanga a 718 m.s.n.m; el trayecto de Bucaramanga a Payoa tiene una longitud de 49 Km y corresponde a un descenso brusco que llega hasta los 180 m.s.n.m. El trayecto de Payoa a Barrancabermeja con una longitud de 59 Km corresponde a una parte relativamente plana terminando en Barrancabermeja con una elevación de 104 m.

Figura 3. Perfil topográfico y de temperatura ambiente del gasoducto Gibraltar-Chitagá.

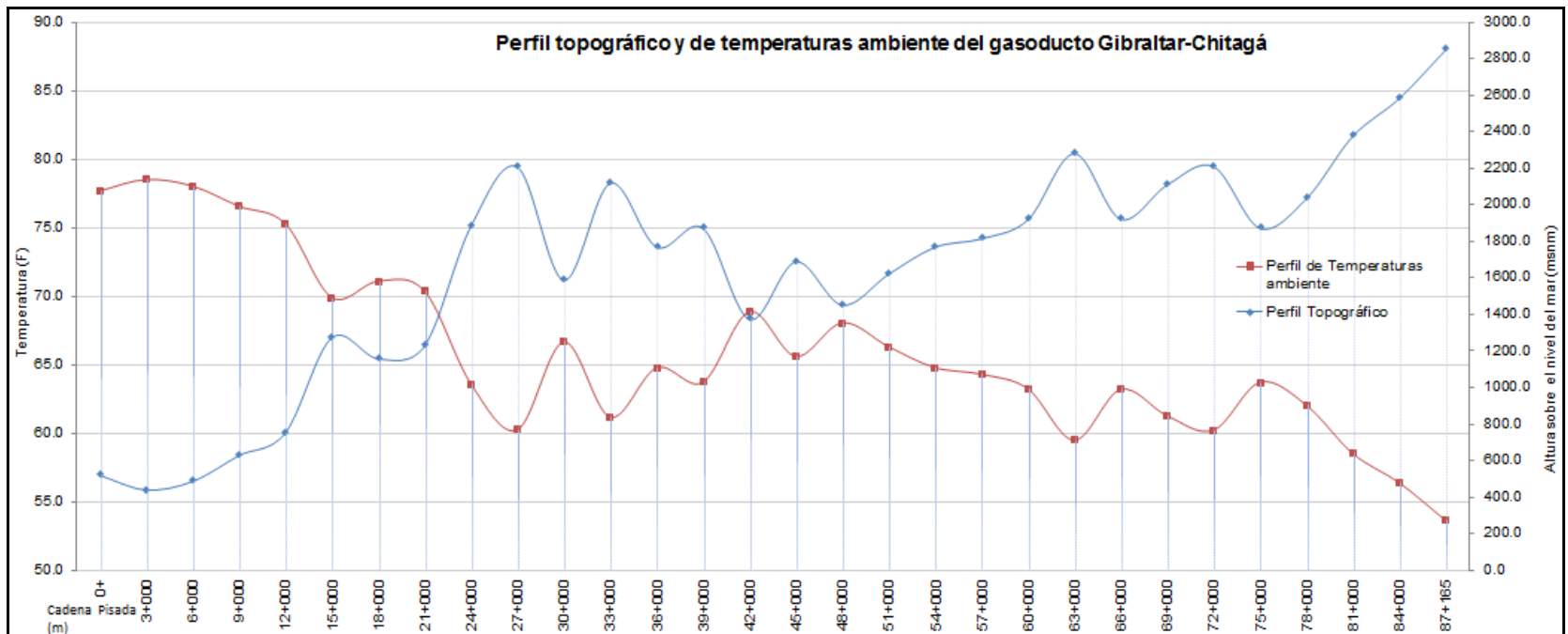


Figura 4. Perfil topográfico y de temperatura ambiente del gasoducto Chitagá-Bmanga.

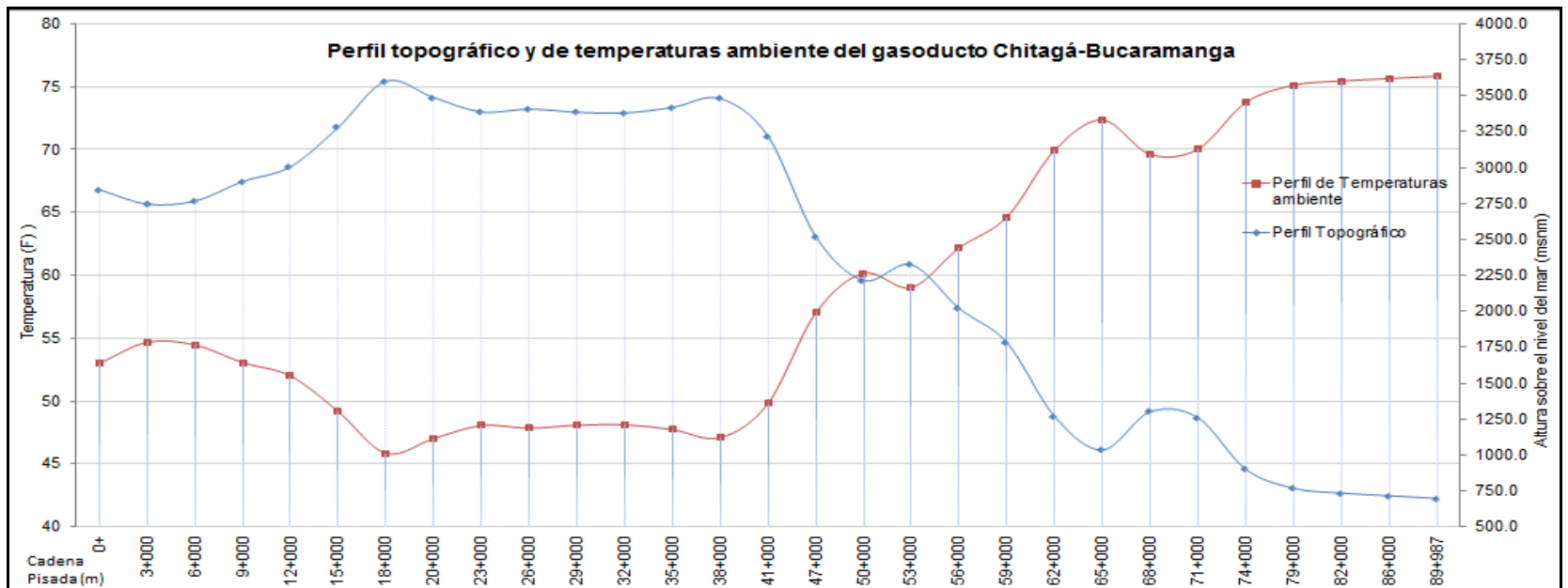


Figura 5. Perfil topográfico y de temperatura ambiente del gasoducto Payoa-Bmanga.

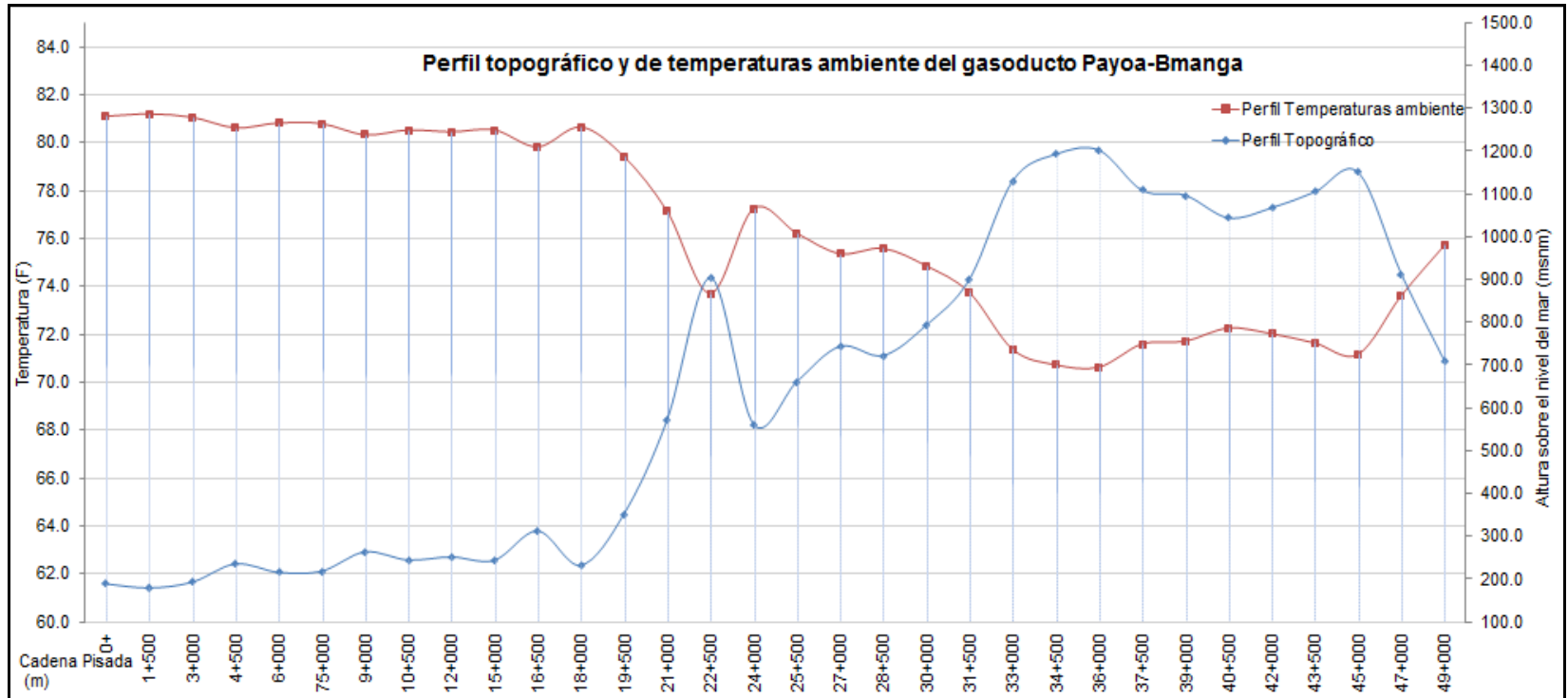
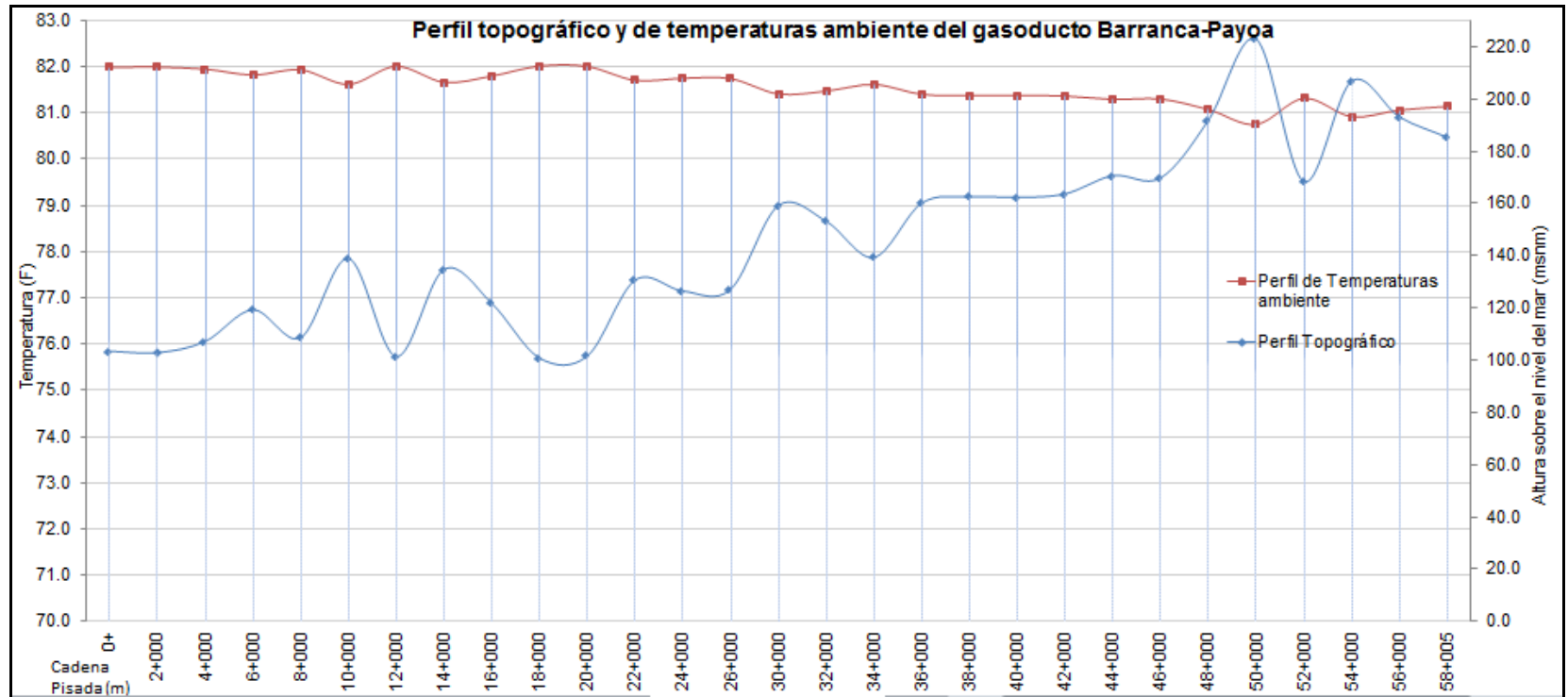


Figura 6. Perfil topográfico y de temperatura ambiente del gasoducto B/bermenja-Payoa.



2.1.2 PROFUNDIDAD DE ENTERRAMIENTO.

La profundidad de enterramiento es medida desde la superficie del suelo hasta el centro de la tubería y los valores típicos pueden variar entre 0.6 (zonas rocosas) y 4 m (algunos cruces especiales), no obstante en línea regular la profundidad promedio es de 1,5 m al centro de la tubería.

2.1.3 Recubrimiento de la tubería.

Los recubrimientos con los que cuentan las tuberías de PROMIORIENTE para protegerlas de la corrosión, de los golpes y de la exposición al ambiente son:

En el Gasoducto Gibraltar-Chitagá-Bucaramanga para tubería enterrada/inmersión usa el sistema Tricapa Polietileno (FBE + Adhesivo + Polietileno) con espesor de Película seca entre 90 y 110 mils.

En los Gasoductos Barrancabermeja-Payoa-Bucaramanga para tubería enterrada/inmersión usa el FBE (Fusión Bondied Epoxy) con espesor de Película seca entre 28 y 32 mils.

Para los cruces subfluviales todos los gasoductos usan tubería con lastrado de espesor promedio 2,5" para evitar la flotabilidad de la tubería.

Los recubrimientos por sus bajas conductividades térmicas, los usaremos en nuestro modelo de simulación como aislantes térmicos, y teniendo en cuenta los aislantes disponibles en HYSYS, tenemos:

Figura 7. Esquema recubrimientos-aislantes térmicos de las tuberías

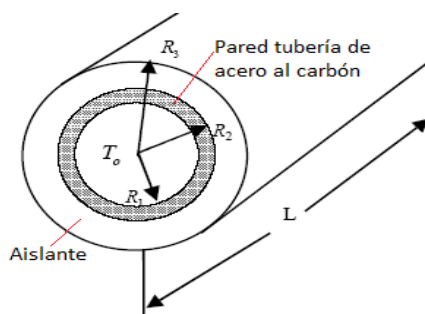


Tabla 1. Recubrimientos de los gasoductos con sus conductividades térmicas

GASODUCTO	CONDICIÓN DE INSTALAC.	TIPO DE AISLANTE	ESPESOR (in)	MATERIAL EN HYSYS	CONDUCTIV. TÉRMICA (BTU/hr.ft.F)
Gibraltar-Bucaramanga	Enterrado/aéreo	Tricapa de Polietileno	0.1	Polietileno ¹	0.21
	Subfluvial	Concreto	2.5	Concreto	0.55
B/bermeja-Payoa-Bmanga	Enterrado/aéreo	FBE	0.03	Desconocido ²	0.145
	Subfluvial	Concreto	2.5	Concreto	0.55

2.1.4 Tubería y rugosidad:

Las tuberías de los gasoductos de PROMIORIENTE tienen las siguientes especificaciones:

- Gasoducto Gibraltar-Chitagá-Bucaramanga: Tubería de acero al carbón API 5L Grado X60 con costura ERW de HF nivel PSL1 doble random (longitud de 12 metros por tubo). Operando desde 2011.
- Gasoducto Barrancabermeja-Payoa 8": Tubería de acero al carbón API 5L Grado X42 con costura ERW de HF nivel PSL1 doble random. Operando desde 1997.

¹ Dado que en HYSYS no está disponible el material FBE- Epóxico Adherido por Fusión, se define con la conductividad dada por ficha técnica del proveedor 3M.

- Gasoducto Payoa-Bucaramanga 8": Tubería de acero al carbón API 5L Grado X46 con costura ERW de HF nivel PSL1 doble random. Operando desde 2004.
- Gasoducto Payoa-Bucaramanga 6": Tubería de acero al carbón API 5L Grado X42 con costura ERW de HF nivel PSL1 doble random. Operando desde 1971.

Las tuberías de acero fabricadas bajo la norma API 5L presentan la siguiente composición química:

Figura 8. Composición química de tuberías de acero al carbón bajo norma API 5L.

PSL 1						
Grado	C Carbono % Máximo ^a	Mn Manganeso % Máximo ^a	P Fósforo % Máximo	S Azufre % Máximo	Ti Titanio % Máximo	Otros % Máximo
B	0,26	1,20	0,030	0,030	0,04	b, c, d
X42	0,26	1,40	0,030	0,030	0,04	c, d
X52	0,26	1,40	0,030	0,030	0,04	c, d
X60 ^f	0,26	1,40	0,030	0,030	0,04	c, d

PSL 2						
Grado	C Carbono % Máximo ^a	Mn Manganeso % Máximo ^a	P Fósforo % Máximo	S Azufre % Máximo	Ti Titanio % Máximo	Otros % Máximo
B	0,22	1,20	0,025	0,015	0,04	d, e
X42	0,22	1,30	0,025	0,015	0,04	c, d
X52	0,22	1,40	0,025	0,015	0,04	c, d
X60 ^f	0,22	1,40	0,025	0,015	0,04	c, d

Fuente: <http://asiamerican.com/es/products/Tuberia-de-Linea-en-Acero-al-Carbono-24.html>

Consideramos para nuestro modelo en HYSYS, tubería de acero dulce (Mild Steel), por tener un porcentaje de carbono entre 0,22% y 026%, una resistencia mecánica a la tracción entre 42 y 60 ksi y una dureza entre 135-150 HB.

Las rugosidades internas de la tubería se definen teniendo en cuenta su tiempo de uso y la condición de que son limpiadas internamente dos veces al año. De acuerdo con los criterios establecidos en el Handbook of Natural Gas Transmission and Processing, en donde definen que debido al tiempo de uso mayor a 40 años pueden aumentar las rugosidades hasta tres veces, se definen las rugosidades en la siguiente tabla:

Tabla 2. Rugosidad abs interna de las tuberías de los gasoductos de PROMIORIENTE.

GASODUCTO	MATERIAL TUBERÍA	TIEMPO EN OPERACIÓN	RUGOSIDAD (in)
Gibraltar-Bmanga 12"	Acero dulce	3 años	0.0018
Payoa-Bmanga 6"	Acero dulce	43 años	0.0036
Payoa-Bmanga 8"	Acero dulce	10 años	0.0022
B/bermeja-Payoa 8"	Acero dulce	17 años	0.0025

2.1.5 Diámetro y espesor de la tubería.

El impacto del diámetro se ve reflejado en el cálculo de la caída presión y los coeficientes de transferencia de calor tanto interno como externo.

Los diámetros nominales que hacen parte de los gasoductos de PROMIORIENTE son: 12 in, 8 in y 6 in.

Aquí también se tienen en cuenta los espesores de la tubería, para el cálculo del diámetro hidráulico y de la conductividad en la transferencia de calor del gas con el entorno. Esta información es obtenida de los Libros de terminación de Obra de cada uno de los gasoductos y se incluye dentro del Anexo A al E de este documento.

2.1.6 Estaciones de los gasoductos de PROMIORIENTE.

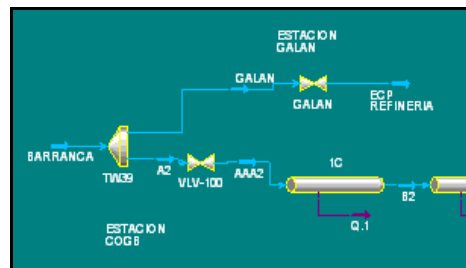
Las estaciones que se encuentran ubicadas a lo largo de los gasoductos de PROMIORIENTE se detallan en el Anexo F.

Para el modelamiento de cada una de estas estaciones se hace un análisis de cada de uno de los equipos y sistemas que se encuentran ubicados y se hace de la manera más simplificada unos esquemas típicos en HYSYS, los cuales se muestran a continuación:

Estaciones típicas de puntos de salida: Aplican para las estaciones de derivación Samoré, San Bernardo, Tane, Labateca-Toledo, Chitaga, Silos, Berlín, ICP, Metrogas-Gazel,+Lebrija y Gasmovil, Palenque.

Estas estaciones constan de una válvula de bloqueo, sistema de filtración, de regulación de presión, de medición y de seguridad contra sobrepresiones (válvula de seguridad y actuadores electroneumáticos o gashidráulicos). Para el caso de la simulación en HYSYS se considera una válvula reguladora de presión.

Figura 9. Esquema Típico para Estación de puntos de salida



Seccionadoras automáticas y manuales: Aplican para las estaciones:

- Seccionadoras automáticas del gasoducto Gibraltar-Bmanga: Alto de la Virgen, Labateca, Chitagá, Berlín, Cristales, Granadillo y La Hormiga.
- Seccionadoras automáticas del gasoducto B/bermeja-Payoa-Bmanga 8": Aeropuerto, Líbano, Rodeo, Pénjamo y Estación Uno línea de 8".
- Seccionadoras automáticas del gasoducto Payoa-Bmanga 6": Centenario y E1-6".
- Seccionadoras manuales del gasoducto Payoa-Bmanga 6": Minifalda, Paraguay, Vegadueque y Miraflores.

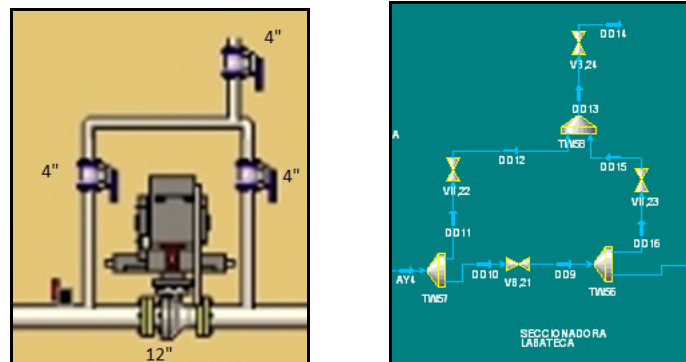
Estas seccionadoras constan de una válvula de bloqueo principal con bypass y venteo, de un sistema de seguridad contra altas, bajas o caídas de presión repentinas llevado a cabo por un actuador gashidráulico con control electrónico.

Para el caso de la simulación en HYSYS se considera una válvula de bloqueo con su respectivo bypass y venteo.

Los setting de calibración por alta y baja presión en los actuadores de PROMIORIENTE son 1200 psig y 350 psig respectivamente.

Se consideran seccionadoras automáticas a las válvulas de bloqueo principal que cuentan con un actuador gashidráulico con control electrónico que permite la apertura/cierre manual y remota desde el Cuarto de Control, mientras las manuales no cuentan con este mecanismo.

Figura 10. Esquema Típico para Estaciones seccionadoras

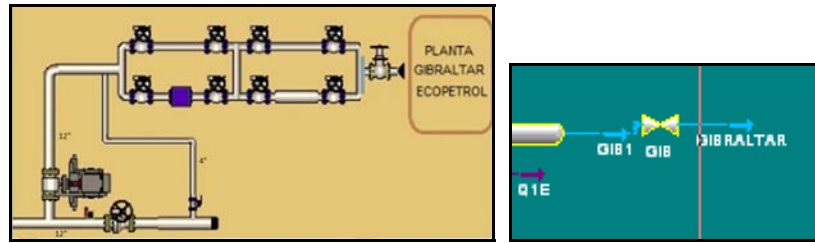


Puntos de entrada red de gasoductos: Aplica para la estación Gibraltar, Payoa y COGB, siendo Gibraltar el punto de entrada en funcionamiento normal del sistema y COGB el punto de entrada en caso de salida en operación del gasoducto Gibraltar-Bmanga; Payoa no opera desde hace más de cinco años.

Estas estaciones cuentan con trampa de envío/recibo de raspadores, sistema de filtración/medición y de seguridad contra altas, bajas o caídas de presión repentinas compuesto por un actuador gashidráulico con control electrónico.

Para el caso del simulador en HYSYS se consideran todos estos puntos de entrada como una válvula de bloqueo.

Figura 11. Esquema Típico para puntos de entrada

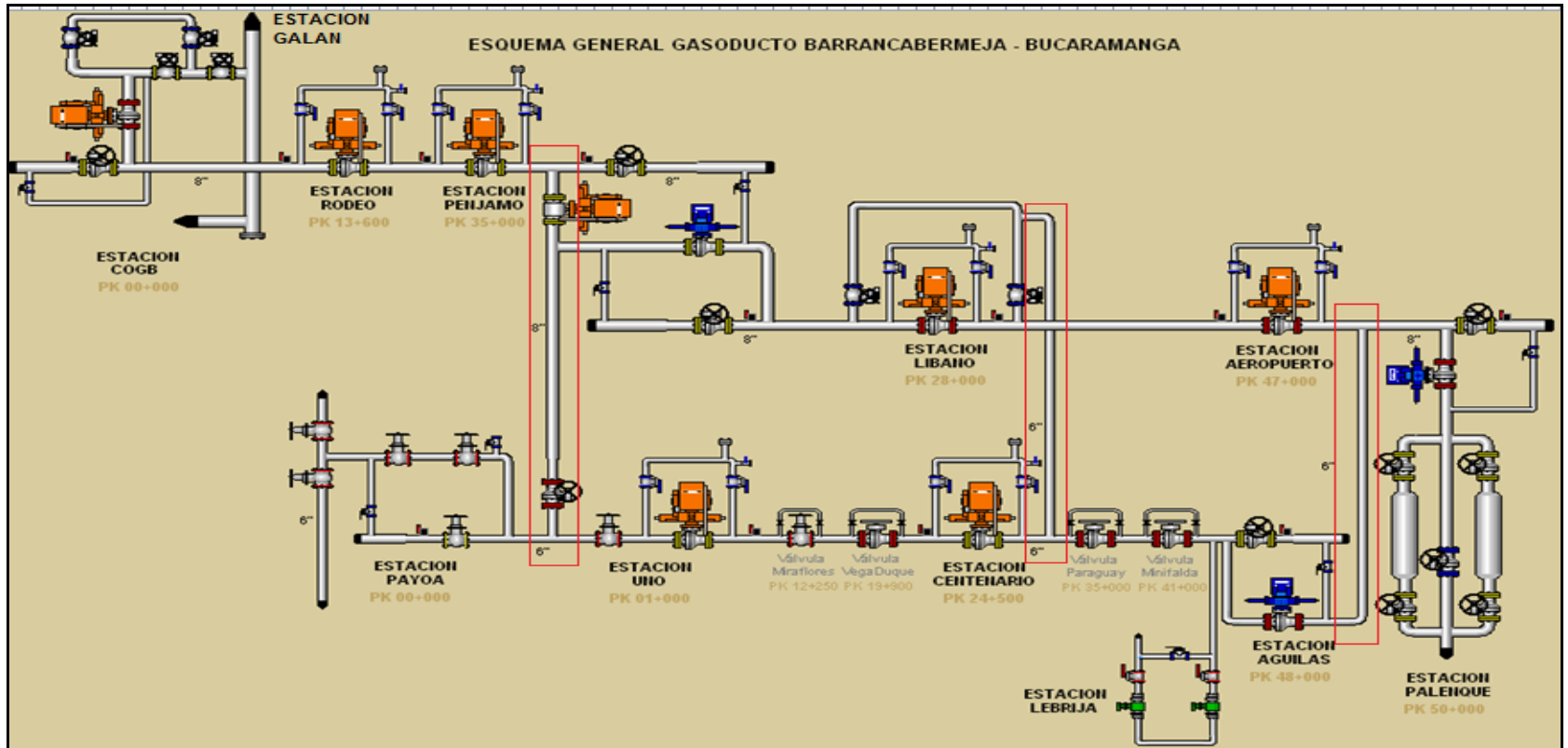


- **Interconexiones entre el sistema de loop gasoductos Payoa–Bmanga 6" y 8":**

El tramo Payoa-Bucaramanga de 6" es un loop del gasoducto Payoa-Bucaramanga de 8" y se interconectan en los siguientes tres puntos mediante tubería de 6" de diámetro:

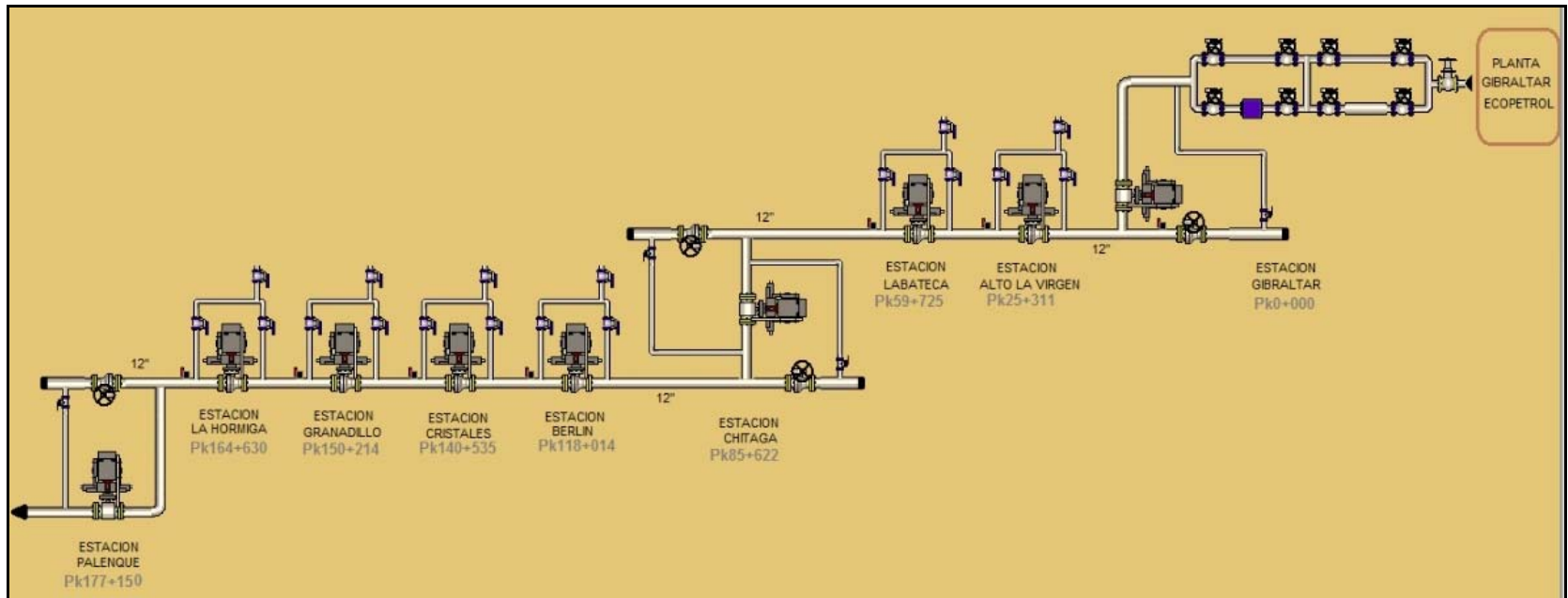
- Estaciones Águilas de 6" con Aeropuerto de 8".
- Estación Centenario de 6" con Líbano de 8".
- Estación Uno línea de 6" con Estación Uno línea de 8".

Figura 12. Esquema general de los gasoductos Payoa-Bmanga de 6" y 8"



Fuente: <http://www.PROMIORIENTE.com.co/Contenido/Default.aspx?id=98>, PROMIORIENTE S.A. E.S.P., 2011.

Figura 13. Esquema general del Gasoducto Gibraltar-Chitagá-Bmanga 12"



Fuente: <http://www.PROMIORIENTE.com.co/Contenido/Default.aspx?Id=98>, PROMIORIENTE S.A. E.S.P., 2011.

2.1.7 Cruces aéreos y subfluviales.

Del listado de los cruces aéreos y subfluviales de los gasoductos de PROMIORIENTE, se hace una selección de los cruces considerables que superan los 20 m de longitud, los cuales se tendrán en cuenta en los cálculos de transferencia de calor y en el modelamiento del sistema.

El detalle de los cruces aéreos y subfluviales, con su longitud, diámetros, espesores, ubicación, recubrimiento y demás características se describen en el Anexo G al K.

2.2 DATOS DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES

2.2.1 Temperatura ambiente

La temperatura ambiente se obtiene de una expresión matemática general planteada por la Atmósfera Estándar Internacional (ISA) en la capa de la troposfera, que depende de la altura sobre el nivel del mar en que se encuentre ubicada la tubería del gasoducto, siendo inversamente proporcional a esta, según se aprecia en la ecuación No. 1:

$$T = 28.365 - (0.00574 \times H) \quad (1)$$

donde:

H = elevación sobre el nivel del mar en metros, y

T = temperatura en grados Celsius

Esta temperatura ambiente aplica para el caso en que la tubería se encuentre instalada de forma aérea (cruces aéreos), mediante cruces subfluviales o se encuentre enterrada bajo el suelo.

El perfil de temperaturas de los gasoductos PROMIORIENTE se detallan en el Anexo A al E.

2.2.2 Tipo de suelo

El tipo de suelo en las áreas del gasoducto que van enterradas bajo el suelo tienen un impacto directo en la transferencia de calor debido a la conductividad térmica, que define la cantidad de energía térmica que un suelo es capaz de conducir por unidad de longitud y temperatura. Esta propiedad se ve influenciada por el contenido de agua en el suelo, por la distribución del tamaño de grano, densidad del suelo seco, textura del suelo y la composición mineral. Los valores característicos establecidos por HYSYS para las conductividades dependiendo del tipo de suelo son:

Tabla 3. Tipo de suelos y sus conductividades térmicas establecidas en HYSYS:

TIPO DE SUELO		CONDUCTIV. TÉRMICA (W/m-K)
Dry Peat	Turba Seca	0.17
Wet Peat	Turba Húmeda	0.54
Icy Peat	Turba Helada	1.89
Dry Sand	Arena Seca	0.5
Moist Sand	Arena Húmeda	0.95
Wet Sand	Arena Mojada	2.2
Dry Clay	Arcilla Seca	0.48
Moist Clay	Arcilla Húmeda	0.75
Wet Clay	Arcilla Mojada	1.4
Frozen Clay	Arcilla Congelada	2.5
Gravel	Grava	1.1
Sandy Gravel	Grava Arenosa	2.5
Limestone	Caliza	1.3
Sandy Stone	Piedra Arenosa	1.95
Ice	Hielo	2.2
Cold ice	Helada	2.66
Loose Snow	Nieve Suelta	0.15
Hard Snow	Nieve Dura	0.8

En la Tabla 4 se relacionan los tipos de suelo en los diferentes tramos que son atravesados por los gasoductos de PROMIORIENTE, de acuerdo con los criterios establecidos en HYSYS y tomando como base el Levantamiento Topográfico, Estudios de Suelos y de Impacto Ambiental llevados a cabo durante la definición de los trazados de cada uno de los gasoductos:

Tabla 4. Tipo de suelo a lo largo de los gasoducto de PROMIORIENTE S.A. E.S.P.

GASODUCT	TRAMO	DESCRIPCION DEL TIPO DE SUELO	TIPO SUELO HYSYS
Gasoducto Payoa-Bmanga 6"	PK 0+000 - Pk 8+000	Arenas y arcillolitas muy alteradas y erodables	Moist Sand
	PK 8+000 - Pk 12+000	Arenas y arcillolitas muy blandas y erodables	Moist Sand
	Pk 12+000 - Pk 14+500	Arcillolita, limolita y arenisca muy compacta, friable y algo erodable	Moist Sand
	Pk 14+500 - Pk 15+000	Suelo residual de aprox. 1.5 m sobre roca arenisca medianamente fracturada y meteorizada	Sand Stone
	Pk 15+000 - Pk 19+750	Suelos residuales	Sand Stone
	Pk 19+750 Pk 22+500	Macizo rocoso de arenisca conglomerática masiva sobre lutita de color gris	Sand Stone
	Pk 22+500 - Pk 27+750	Perfil de coluvión con bloques de hasta 5 m, embebidos en matriz limo-arcillosa de color amarillo y gris	Moist Clay
	Pk 27+750 - Pk 28+350	Más de 20 m de espesor de coluvión grueso	Moist Clay
	Pk 28+350 - Pk 28+750	Depósito de coluvión inestable de arcilla con pequeños bloques angulares	Dry Clay
	Pk 28+750 - Pk 33+400	Arcillas y bloques de hasta 3 m de lado, con niveles de agua subsuperficial	Wet Clay
	Pk 33+400 - Pk 35+000	Perfil de suelo residual y algunos coluviones pequeños sobre roca de arenisca y lutitas de color gris a negro	Sand Stone
	Pk 35+000 - Pk 37+500	Perfil de suelo residual de más de 2 m de espesor y limo-arenoso de color amarillo y café rojizo	Moist Sand
	Pk 37+500 - Pk 40+500	Perfil de suelo residual limo arenoso de 1.5 m aprox. sobre roca arenisca y limolita blanda	Moist Sand
	Pk 40+500 - Pk 47+400	Perfil de suelo residual de 1 m aprox. y lecho de roca arenisca y limolita muy fracturada y algo meteorizada	Sand Stone
Pk 47+400 - Pk 48+200	Perfil de suelo residual delgado y roca arenisca y limolita medianamente fracturada	Sand Stone	
Gasoducto Barrancabermeja-Payoa 8"	Galán (K0 + 000) a Ciénaga de San Silvestre (K3 + 185)	Limos ligeramente plásticos, arcillosos, color gris, muy sueltos con niveles de agua freáticas desde 60 centímetros de profundidad hasta por encima del nivel de la superficie. Llanura inundable del Río Magdalena y la Ciénaga de San Silvestre-lastrado	Water-Humedal
	Ciénaga San Silvestre (K3 + 185) a Caño Jeringas (K15 + 800)	Suelos residuales (arenas limosas y limos)	Moist Sand
	Caño Jeringas (K15 + 800) a Puente Sogamoso (K22 + 150)	Llanura de inundación del Río Sogamoso; limo de color gris a marrón, muy suelto	Moist Sand

Tabla 4. Tipo de suelo a lo largo de los gasoductos de PROMIORIENTE S.A. E.S.P.
(continuación)

GASODUCT	TRAMO	DESCRIPCION DEL TIPO DE SUELO	TIPO SUELO HYSYS
	Puente Sogamoso (K22 + 150) a (K47 + 200)	Los pasos de las quebradas presentan generalmente materiales muy sueltos en los dos metros más superficiales, estos suelos son licuables y están compuestos por limos arenosos y arenas limosas de color gris. suelos de cultivo de palma	Moist Sand
	PK 47+200 al Pk 56+500	Formaciones Mesa y Real donde aparecen suelos residuales de estas formaciones; pasos de la quebradas aparece roca dura a profundidades por debajo de los tres metros	Sand Stone
Gasoducto Payoa-Bucaramang a 8"	Payoa (K0 + 000) a Uribe Uribe (K17 + 753)	Formaciones Real, Mugrosa y Colorado del Terciario, las cuales están compuestas por arcillolitas compactas, de colores gris a rojo. Los suelos residuales son generalmente limos, arcillas, arenas limosas y arcillosas de consistencia mediana a dura	Dry Sand
Gasoducto Payoa-Bucaramang a 8"	Uribe Uribe (K17 + 753) - Vega Duque (K19 + 947)	Arenitas de la Formación Esmeraldas. Los suelos subsuperficiales son arenas limosas de consistencia blanda. A poca profundidad aparece roca dura de difícil excavabilidad en los pasos de las quebradas. El punto de mayor dificultad es el paso del Río Sucio en el cual aparece roca dura a menos de un metro de profundidad bajo el cauce.	Moist Sand
	Vega Duque (K19 + 947) a (K24 + 023)	Suelo limo arenoso a arcillo limoso de color marrón, la roca dura se encuentra a una profundidad entre 1.0 y 1.2 m. bajo el nivel actual del terreno, permitiendo la excavación	Sand Stone
	K24 + 023 a K25 + 270	Se encuentra sobre coluviones cuya matriz corresponde a las arcillas de la Formación Umir con grandes bloques de arenisca en ocasiones hasta de diez metros de ancho de la Formación La Paz	Dry Clay
	K25 + 270 a K31 + 023	En el cruce del Río Sucio (K81 + 770) se observan bloques de arenitas en el lecho del río; quebrada La Sorda (Km 84 + 925), aparecen lutitas duras de la Formación Umir	Moist Sand
	K31 + 023 a K38 + 025	Ubicado sobre las formaciones Simití, Tablazo, Paja y Rosa Blanca y aparecen ocasionalmente afloramientos de Lutitas, calizas y arenitas pero la mayor longitud del trayecto se encuentra sobre arcillas arenosas residuales	Dry Clay
	K38 + 025 a Lebrija (K43 + 067)	Suelos limo arenosos de color marrón a ocre y en algunos sitios gris como producto de la meteorización de la Formación Girón y una corta parte sobre la Formación Tambor en el área de la Hacienda Mesitas; Quebrada La Angula, una capa de hasta 3.5 metros de espesor de limos muy blandos, licuables	Moist Sand
	Lebrija (K43 + 067) a Alto de Rubén (K46 + 790)	Predominan las arenas arcillosas, ligeramente plásticas, color amarillo rojizo, relativamente duras y secas	Dry Sand
	Alto de Rubén (K46 + 790) a Valle del Río de Oro (K48 + 204)	Formación Girón y suelos producto de la meteorización de ésta, los cuales son limo-arenosos de color marrón; la roca dura está constituida por arenitas de grano medio a grueso y arenitas conglomeráticas; Río de Oro se encuentra depósitos cuaternarios constituidos por conglomerados de terrazas altas y el suelo está compuesto por coluviones de antiguos derrumbes de la formación Girón	Moist Sand

Tabla 4. Tipo de suelo a lo largo de los gasoductos de PROMIORIENTE S.A. E.S.P.
(continuación)

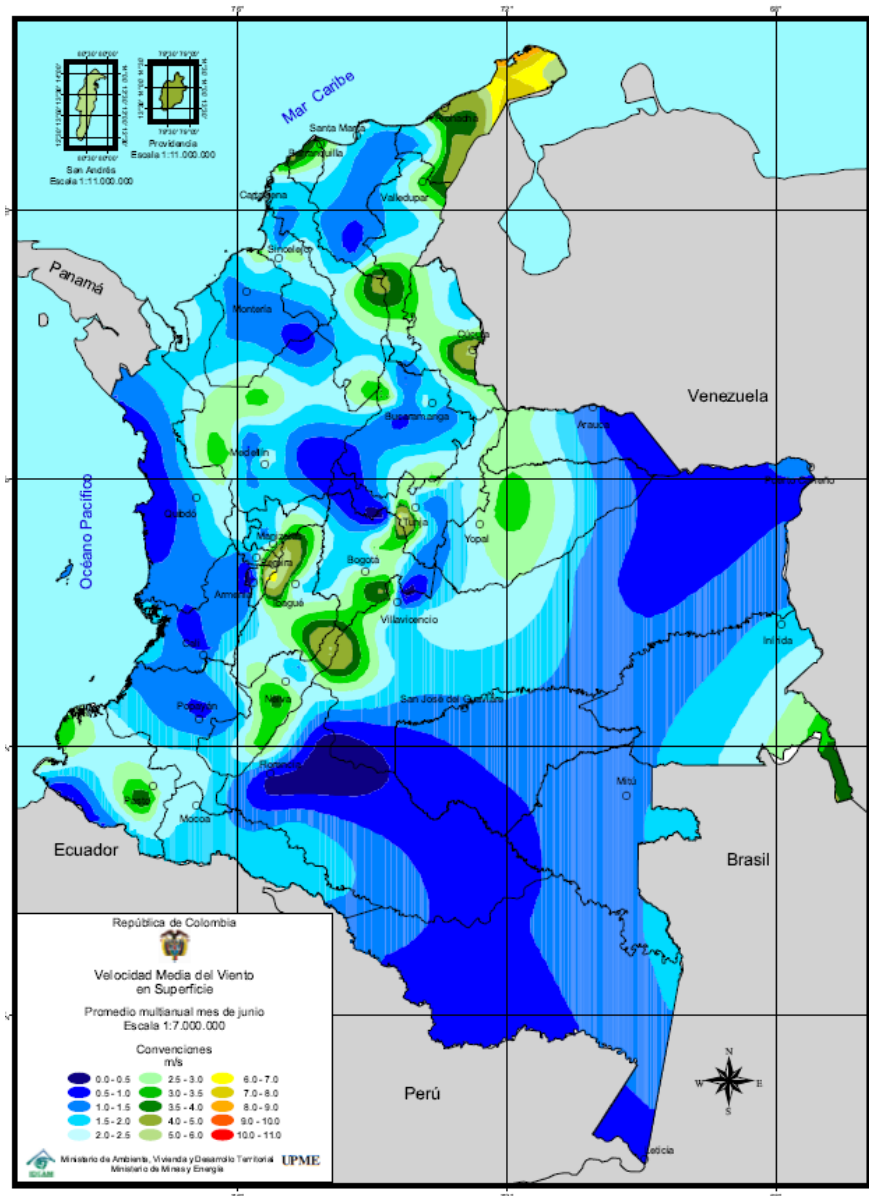
GASODUCT	TRAMO	DESCRIPCION DEL TIPO DE SUELO	TIPO SUELO HYSYS
	Valle Río de Oro (K48 + 204) a Palenque (49 + 700)	Conglomerado aluvial de cantos grandes de arenisca difíciles de excavar por su dureza, aunque su tamaño generalmente no supera los cincuenta centímetros de diámetro. Intercalados con los cantos aparecen lentes de arena de grano medio, sin cohesión. El paso del Río de Oro, está prácticamente en su totalidad, sobre cantos de aluvión, de espesor aproximado a cinco metros.	Sand Stone
Gasoducto Gibraltar-Chitagá 12"	Pk 0+000 - Pk 10+000	Depósitos coluviales de poco espesor; las formaciones rocosas presentes en este sector son arenosas y arcillosas, estas últimas aparecen en los primeros 2 kilómetros.	Sand Stone
	Pk 10+000 - Pk 20+000	Suelos arcillosos; del PK 10+000 al PK 15+750 depósitos coluviales en donde se observan algunas cicatrices de antiguos deslizamientos en suelos arcillosos.	Dry Clay
	Pk 20+000 - Pk 30+000	Formadas por capas de arenisca con suelos de poco espesor	Dry Sand
Gasoducto Gibraltar-Chitagá 12"	Sector Río Sararito (Pk 30+000) - Río Valegrá (Pk 46+100)	Las formaciones rocosas presentes en este sector son predominantemente arenosas y hacia el río Colorado arcilloarenosas	Sand Stone
	Sector Qda Lirgua (Pk 61+400) - Chitagá (Pk 87+165)		
Gasoducto Chitagá-Bucaramang a 12"	Sector Chitagá (Pk 0+000) - Silos (Pk 21+000)	Aflora roca meteorizada.	Stone
	Sector Silos - Berlín (Pk 32+000)	Cerca a Berlín la roca subyacente está fuertemente meteorizada	Stone
	Sector Berlín (Pk 32+000) - Pk 32+800)	En la zona plana y semiplana predominan los suelos residuales profundos y algunos depósitos aluviales muy arcillosos.	Dry Clay
	Pk 32+800) - Picacho (Pk 39+000)	Cerca al Picacho aparecen depósitos coluviales conformados por grandes bloques de caliza.	Lime Stone
	Sector Picacho (Pk 39+000) – Piedecuesta		Sand Stone
	Sector Piedecuesta – Ruitoque		Lime Stone

2.2.3 Aire atmosférico.

En los cruces aéreos se debe tener en cuenta que el aire es un aislante térmico, y que la transferencia de calor está definida por la velocidad del viento, el área de la tubería en exposición al aire y la temperatura ambiente.

Se escoge un valor promedio de 1 m/s para la velocidad del aire atmosférico a usar en nuestro modelo, con base en la Figura 14.

Figura 14. Velocidad media del viento en Colombia durante el mes de junio 2014



Fuente: Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia ejecutados por el UPME bajo la dirección de los Ministerios de Minas y Energía y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, pág. 26.

2.3 CRITERIOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

Para poder definir los parámetros adicionales a los ya establecidos en este capítulo, relacionados con la transferencia de calor del gas con su entorno, se describirá la teoría relacionada con los mecanismos de transferencia de calor y posteriormente se definirán las correlaciones a usar disponibles en el software de modelamiento HYSYS.

Los mecanismos de transferencia de calor son:

2.3.1 Conducción

En HYSYS el calor transferido por conducción para las tuberías es definido como un sistema cilíndrico, en donde el calor fluye en dirección radial, y aplica la ley de Fourier, teniendo en cuenta el espesor y material de la tubería y sus recubrimientos:

2.3.2 Convección

La transferencia de calor por convección en tuberías cilíndricas se da en el interior y en el exterior de la tubería, para cada caso específico existen diversas correlaciones en HYSYS para calcular este coeficiente.

2.3.2.1 Coeficiente convectivo interno

La correlación de **Dittus Boelter (1930)**, se cumple para las siguientes condiciones $0.7 \leq Pr \leq 160$ y $Re \geq 10.000$, no obstante, puede presentar algunos errores tan grandes como de 25%. Tales errores se reducen a menos del 10% mediante el uso de correlaciones más recientes y complejas.

Una correlación que se usa ampliamente y se atribuye a **Petukhov (1970)**, es de la forma.

$$\bar{h}_i = \frac{k}{D_i} \frac{(f/8) Re Pr}{1.07 + 12.7 (f/8)^{1/2} (Pr^{2/3} - 1)} \quad (2)$$

Donde f es el factor de fricción obtenido del diagrama de Moody y se cumple si $0.5 \leq Pr \leq 2000$ y $10.000 \leq Re \leq 5 \times 10^6$

La correlación **Profes** implementa los métodos utilizados por el programa Profes Pipe Simulación (antes PLAC). Los métodos se basan en los mapas de flujo Profes para flujo horizontal y vertical, y las correlaciones apropiadas se utilizan para determinar el HTC en cada región del mapa de flujo. En general se recomienda para la mayoría de aplicaciones de tuberías, ya que tiene en cuenta el régimen de flujo en la tubería y es razonablemente eficiente en el cálculo. Usada para $Re \geq 10.000$ y en sistemas de dos fases.

La correlación **HTFS** se utiliza para la ebullición y condensación de transferencia de calor (una fase o multifases), y para el flujo horizontal y vertical. Usada para $Re \geq 10.000$.

Para la convección interna, teniendo en cuenta que las correlaciones de Dittus (1930) presenta errores del 25% en el cálculo; la correlación de Sieder and Tate (1936) presenta errores del 20%; que la correlación Petukhov presenta un error del 10% y la HTFS es usada en condiciones de ebullición y condensación considerables en la transferencia de calor, usaremos en nuestro modelo para el cálculo del coeficiente convectivo interno la correlación de Profes, ya que es usada para flujos horizontales y verticales y es la más práctica y recomendada en las tuberías de transporte de hidrocarburos.

2.3.2.2 Coeficiente convectivo externo

Dado que la tubería interactúa con el medio ambiente (aire, agua, suelo), transfiere calor a este principalmente por convección siendo necesario el cálculo

de un coeficiente convectivo externo. Dependiendo del tipo de ambiente que está rodeando la tubería, HYSYS basa sus cálculos con la correlación **Davenport**:

Para el caso de la **Tubería enterrada**, la temperatura y la conductividad térmica del suelo tienen un impacto directo en la tasa de transferencia de calor entre el gas y el suelo.

En nuestro modelo tenemos en cuenta la profundidad de enterramiento de la tubería, el tipo y temperatura del suelo y los diámetros de la tubería y la correlación de **Davenport** se representa mediante la siguiente expresión:

$$\bar{h}_e = \frac{1}{\frac{D_e}{2k_s} \ln\left(\frac{4H}{D_e}\right)} \quad (3)$$

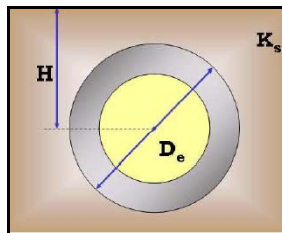
Donde

h_e = Coeficiente convectivo promedio externo, BTU/h ft² °F

k_s = Conductividad térmica del suelo, BTU/h ft °F

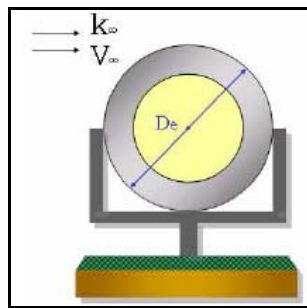
H = Distancia del suelo al centro de la tubería, ft

Figura 15. Ambiente de transferencia de calor para un gasoducto enterrado



Para las **Tuberías al aire libre**, tenemos en cuenta la velocidad del aire y la temperatura ambiente, factores muy influyentes para evaluar la transferencia de calor en este tipo de ambiente, adicional a los datos geométricos de la tubería. El valor de la velocidad determina si la transferencia de calor se produce por convección natural o por convección forzada.

Figura 16. Ambiente de transferencia de calor para un gasoducto al aire libre

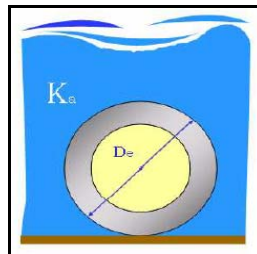


Para las **Tuberías sumergidas**, en el modelo de HYSYS se considera la velocidad y temperatura del ambiente marino y los datos geométricos de la tubería.

HYSYS usa la correlación **Davenport** para calcular el coeficiente convectivo promedio:

$$\bar{h}_e = \frac{k_a 0.52 Re_a^{0.6}}{D_e} \quad (4)$$

Figura 17. Ambiente de transferencia de calor para un gasoducto sumergido.



2.3.2.3 Radiación

No se considera la radiación para nuestro modelo, debido a las bajas temperaturas observadas en los gasoductos (entre 50 y 80 °F), el calor transferido por radiación es pequeño y no tiene mayor incidencia en los cálculos totales de la transferencia de calor, además de que la radiación es minimizada porque la tubería está hecha con un material de baja emisividad por el recubrimiento externo con poliuretano blanco en los tramos aéreos.

2.4 DATOS DEL FLUIDO

2.4.1 Evolución de las ecuaciones de estado.

Las ecuaciones de estado (EOS) son expresiones analíticas que permiten establecer las relaciones matemáticas entre las variables presión, volumen y temperatura, así como el cálculo de todas las propiedades termodinámicas de un sistema de hidrocarburos; por esta razón han sido utilizadas para reproducir el equilibrio liquido-vapor y el comportamiento volumétrico tanto de sustancias puras como de mezclas.

2.4.2 Metodología y selección de la envolvente de fases del fluido.

En HYSYS se debe establecer una lista de componentes que contiene las sustancias presentes en el gas y esta lista se combina con un paquete de propiedades que es una colección de métodos para calcular las propiedades de los componentes seleccionados. La combinación de la lista de componentes y el paquete de propiedades, junto con otras configuraciones de simulación, son llamadas en HYSYS el paquete de fluido.

Actualmente se cuenta en línea (se visualizan los datos en el Centro de Control), con dos cromatógrafos y dos analizadores del dew point de HC y H₂O ubicados a lo largo de los gasoductos de PROMIORIENTE, los cuales corresponden a:

- Cromatógrafo marca Yokogawa ubicado en el Punto de Entrada Gibraltar, propiedad del productor Ecopetrol.
- Cromatógrafo marca Daniel ubicado en el Punto de Salida Galán – Barrancabermeja, propiedad de PROMIORIENTE.
- Condumax II marca Michells Instruments ubicado en el Punto de Entrada Gibraltar, propiedad del productor Ecopetrol.
- Condumax II marca Michells Instruments ubicado en el Punto de Salida Galán – Barrancabermeja, propiedad de PROMIORIENTE.

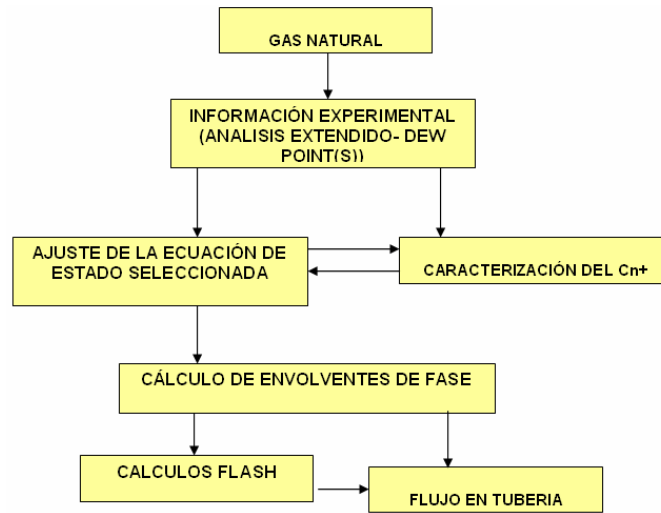
2.4.2.1 Metodología para selección y ajuste de la EOS.

La metodología a seguir para la selección de la EOS sería:

1. Se toman los datos históricos del mayor Dew Point de HC de la corriente de gas registrados por el Condumax II durante un periodo de tiempo, que corresponderá a la composición del gas con mayor concentración de HC pesados.
2. Con la cromatografía extendida disponible entregada por el productor se calcula la envolvente de fases PREDICHA (sin ajustar) por cada una de las EOS de interés.
3. Se analiza cuál de las EOS tomadas para estudio predice los Dew Points más cercanos a los Dew Points medidos y escogerla como la EOS a utilizar.
4. Se ajustan los parámetros empíricos de la EOS escogida, de tal forma que la composición global del gas, ajuste lo mejor posible los Dew Points medidos. El criterio de ajuste se hará con la caracterización de la fracción pesada (Cn+), definiendo un componente hipotético que represente adecuadamente las fracciones pesadas.
5. Después de tener la EOS bien ajustada, se pueden realizar con menos incertidumbre los cálculos tipo flash y de flujo en tubería, si son requeridos.

En la Figura 18 se muestra un esquema simplificado de los principales pasos para realizar cálculos más exactos con una EOS.

Figura 18. Esquema simplificado para realizar cálculos consistentes con una EOS.



2.4.2.2 Selección y ajuste de la EOS del gas Gibraltar y Ballenas.

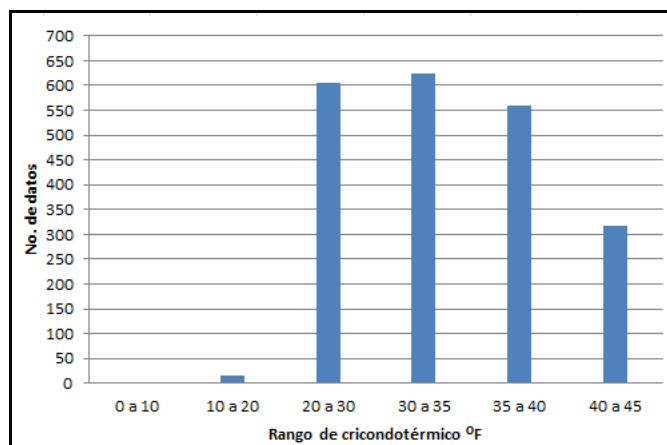
Inicialmente definimos los datos de dew point de HC medidos por los equipos Condumax II durante los meses de junio a agosto de 2014, obteniéndose:

Tabla 5. Datos del Dew Point de HC del Gas Gibraltar medidos con Condumax II

PUNTO DE ENTRADA	ESTACION	EQUIPO	VARIABLE	MAX	PROMED	MIN
GAS GIBRALTAR	GIBRALTAR	CONDUMAX II	DEW POINT HC (°F)	44.40	33.28	14.00
		CROMATÓGRAFO YOKOGAWA	PRESION MUESTRA (psig)	405.50	395.04	387.90
		TRANS. PRESION	PRESION GASODUCTO (psig)	1109.5	967.55	490.9
	GALAN	CONDUMAX II	DEW POINT HC (°F)	43.88	35.51	24.44
		CROMATÓGRAFO DANIEL	PRESION MUESTRA (psig)	422.00	398.92	369.90
		TRANS. PRESION	PRESION GASODUCTO (psig)	929.8	637.16	374.8

En la Figura 19 se evidencia que es considerable la frecuencia en que se repiten los Dew Point de HC superiores a 40 °F en el gas Gibraltar, por ende tomaremos esta condición para la simulación de todas las condiciones operacionales de este trabajo.

Figura 19. Frecuencia de datos del dew point de HC de junio a agosto 2014 del gas Gibraltar.



Se simula la cromatografía extendida del gas Gibraltar proporcionada por Ecopetrol con las diferentes EOS para sistemas de hidrocarburos disponibles en HYSYS (Kabadi-Danner, PSRV, Peng-Robinson, Sour SRK, Sour PR, SRK).

Tabla 6. Composición molar extendida del gas Gibraltar.

Componente	Fracción Molar
Metano	0.8943
Etano	0.0577
Propano	0.0157
i-Butano	0.0032
n-Butano	0.0029
i-Pentano	0.00077
n-Pentano	0.000978
n-Hexano	0.000419
n-Heptano	0.000309
n-Octano	0.000179
n-C9	6.00092E-05
n-C10	0.0000
n-C11	0.0000
n-C12	0.0000
n-C13	0.0000
n-C14	0.0000
n-C15	0.0000
Benceno	0.0000
Tolueno	0.00001
CO ₂	0.01740

Tabla 6. Composición molar extendida del gas Gibraltar (continuación)

Componente	Fracción Molar
N ₂	0.00556
O ₂	0.000492
H ₂ O	0.0000
H ₂ S	0.000000
Total	1.000000

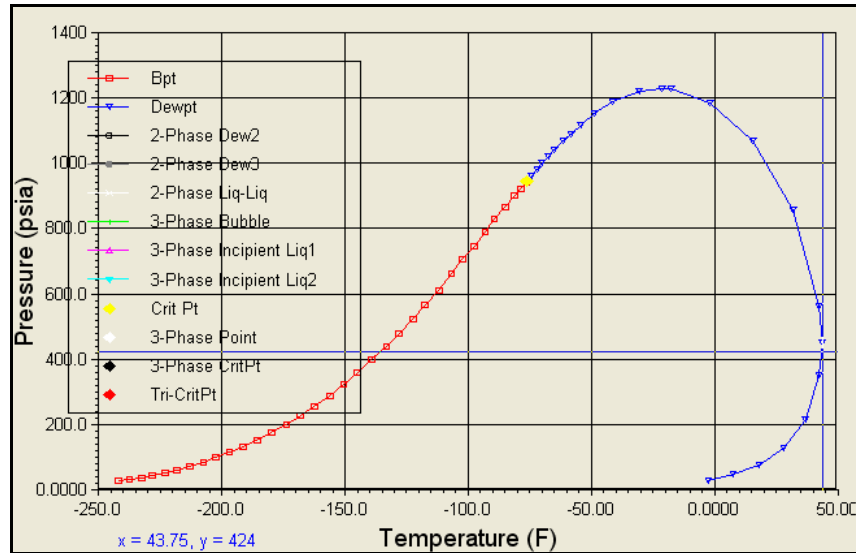
Los resultados de las simulaciones de las diferentes EOS con la cromatografía extendida del gas Gibraltar en HYSYS se muestran en el Anexo L y se resumen en la Tabla 7:

Tabla 7. Resultados en HYSYS de las EOS del gas Gibraltar.

EOS	Cricondotérmico (°F)	Presión (psia)
Kabadi-Danner	48,60	440
PRSV	47,70	424
Peng Robinson	43,85	420
Sour SRK	48,60	440
Sour PR	43,85	420
SRK	48,69	448

Las EOS que más se ajustan a la envolvente de fases real y al cricondoérmico son Peng-Robinson y Sour PR, para lo cual escogeremos Peng-Robinson para nuestra simulación.

Figura 20. Envolvente fases gas Gibraltar con EOS Peng-Robinson sin ajuste



Dado que el dew point de hidrocarburo es 44,4 °F, se hace el ajuste de la EOS Peng-Robinson definiendo un componente hipotético que remplace adecuadamente los componentes del C9+, para lo cual en HYSYS definimos la temperatura de ebullición de este componente hasta obtener esta temperatura.

Tabla 8. Ajuste del C9+ del gas Gibraltar.

Componente	Masa Molar	Punto de ebullición normal (°F)
n-C9	128,258	302.46
C9+	135	305.00
n-C10	142,285	344.33

Figura 21. Definición del C9+ del gas Gibraltar.

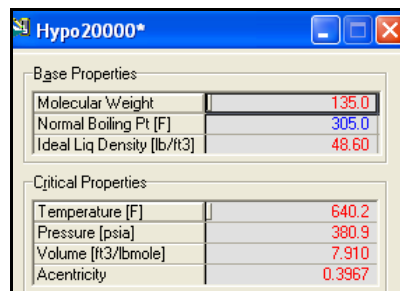


Figura 22. Envoltante fases gas Gibraltar con EOS Peng-Robinson con ajuste

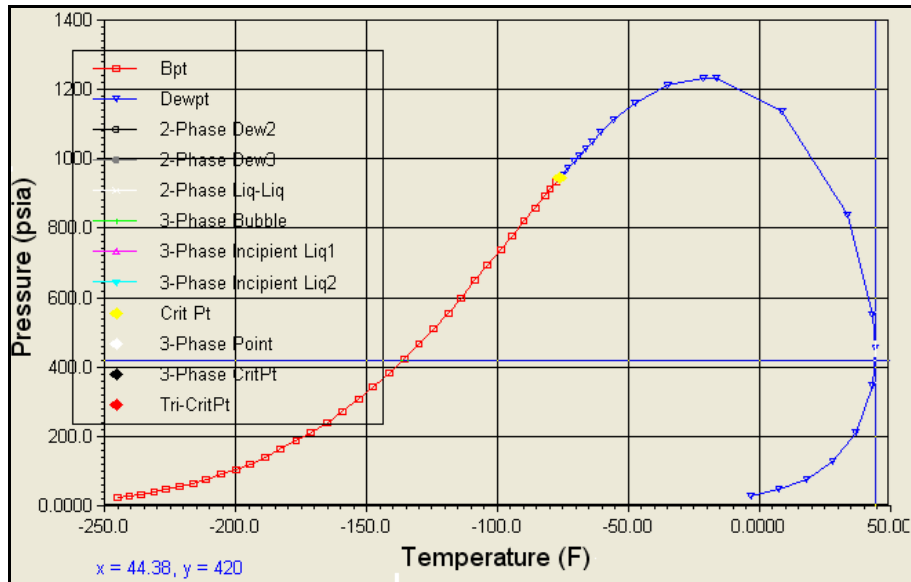


Figura 23. Composición gas Gibraltar ajustada en HYSYS

	Mole Fractions
Methane	0.894322
Ethane	0.057701
Propane	0.015700
i-Butane	0.003200
n-Butane	0.002900
i-Pentane	0.000779
n-Pentane	0.000978
n-Hexane	0.000419
n-Heptane	0.000309
n-Octane	0.000179
n-Nonane	0.000000
CO2	0.017400
Nitrogen	0.000492
Oxygen	0.005560
Hypo20000*	0.000060

En la siguiente tabla se muestra el cálculo del poder calorífico Gross y de la gravedad específica del gas Gibraltar, expresadas en las condiciones base definidas en la resolución CREG 041 de 2008, la cual complementa y reforma el RUT.

Tabla 9. Cálculo del Poder Calorífico y Gravedad Específica del gas Gibraltar.

Compon.	Fracción molar	Poder calorífico GROSS (BTU/PC) a 14.696 psia y 60 °F ²	Poder calorífico GROSS de la mezcla (BTU/PC) a 14.65 psia y 60 °F ⁴	Gravedad Específica a 14.696 psia y 60 °F ³	Gravedad Específica de la mezcla a 14.65 psia y 60 °F ⁵
Metano	0.89431	1,010.0	903.251	0.554	0.49545
Etano	0.05771	1,769.7	102.127	1.0383	0.05992
Propano	0.01570	2,516.2	39.510	1.5227	0.02391
i-Butano	0.00320	3,252.0	10.408	2.0068	0.00642
n-Butano	0.00290	3,262.4	9.462	2.0068	0.00582
i-Pentano	0.00078	4,000.9	3.117	2.4914	0.00194
n-Pentano	0.00098	4,008.7	3.921	2.4914	0.00244
Hexano	0.00042	4,756.0	1.993	2.9758	0.00125
Heptano	0.00031	5,502.5	1.701	3.4602	0.00107
Octano	0.00018	6,248.9	1.119	3.9445	0.00071
C9+	0.00006	6,996.5	0.420	3.9445	0.00024
Dióxido Carbono	0.01740	-	-	1.5197	0.02645
Nitrógeno	0.00556	-	-	0.9674	0.00048
Oxígeno	0.000492	-	-	1.105	0.00614
	1.00000		1,077.030		0.63222

Para el **gas Ballena** se toma de la cromatografía extendida promedio suministrada por Promigas, que es el gas que ingresa al punto de entrada COGB-Barrancabermeja, en caso de falla del tramo Gibraltar-Bmanga:

Adicionalmente el Dew Point de HC del gas Ballena está alrededor de 10 a 15 °F a 382 psig, medidos por el Condumax II de la Estación Galán.

Tabla 10. Composición molar del gas Ballenas.

Compuesto	Fracción molar
Metano	0.977024
Etano	0.004214
Propano	0.003637
i-Butano	0.000328
n-Butano	0.000293

2 FIG. 23-2 del GPSA, Twelfth edition

3 Condiciones base 14.65 psia y 60 oF establecidas en la resolución CREG 041 de 2008, la cual complementa y reforma el RUT

Tabla 11. Composición molar del gas Ballenas (continuación).

Compuesto	Fracción molar
i-Pentano	0.000115
n-Pentano	0.000095
n-Hexano	0.000138
n-Heptano	0.000103
n-Octano	0.000050
n-Nonano	0
n-Decano	0
CO ₂	0.001116
N ₂	0.012887
Oxígeno	0
Agua	0
H ₂ S	0
H ₂	0
CO	0
Helio	0
Argón	0
Total	1.000000

Tabla 12. Resultados en HYSYS de las EOS del gas Ballenas promedio.

EOS	Cricondotérmico (°F)	Presión (psia)
Kabadi-Danner	-5.502	365
PRSV	-5.58	368
Peng Robinson	-10.2	357
Sour SRK	-5.502	371
Sour PR	-10.2	360
SRK	-5.696	371

Como podemos observar la EOS Sour SRK se ajusta más a las condiciones promedio del gas Ballenas.

Tabla 13. Ajuste del C6+ del gas Ballenas.

Componente	Masa Molar	Punto de ebullición normal (°F)
C8	114.229	258.21
C8+	126	295
C9	128,258	302.46

Figura 24. Envolvente de fases ajustada del Gas Ballenas

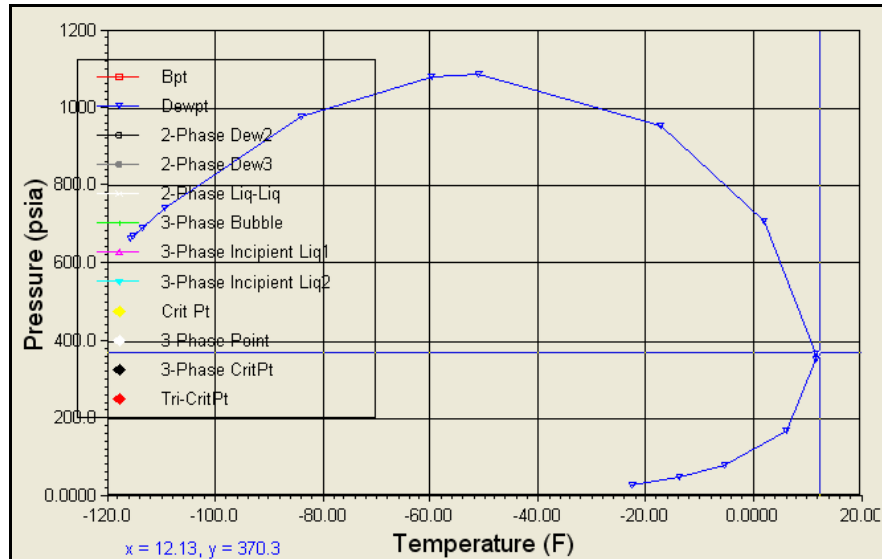


Tabla 14. Cálculo del Poder Calorífico y Gravedad Específica del gas Ballenas.

Compon.	Fracción molar	Poder calorífico GROSS compon. (BTU/PC) a 14.696 psia y 60 °F	Poder calorífico GROSS mezcla (BTU/PC) a 14.65 psia y 60 °F	Gravedad Espec. @ 14.696 psia-60°F	Gravedad Específica de la mezcla @ 14.65psia-60°F
C8+	0	6,248.9	-	3.9445	0.00000
Octano plus (C8+)	0.00005	6,248.0	0.311	3.9445	0.00020
Heptano	0.000103	5,502.0	0.565	3.4602	0.00036
Hexano	0.000138	4,756.0	0.654	2.9758	0.00041
Propano	0.003637	2,516.0	9.120	1.5227	0.00552
iButano	0.000328	3,252.0	1.063	2.0071	0.00066
nButano	0.000293	3,262.2	0.953	2.0071	0.00059
i-Pentano	0.000115	4,000.9	0.459	2.4914	0.00029
n-Pentano	0.000095	4,008.7	0.380	2.4914	0.00024
Nitrógeno	0.012887	-	-	0.9674	0.01242
Metano	0.977024	1,010.0	983.438	0.554	0.53943
Dióxido Carbono	0.001116	-	-	1.5197	0.00169
Etano	0.004214	1,769.5	7.431	1.0383	0.00436
Oxigeno	0	-	-	1.105	0.00000
Total	1.00000		1,004		0.566

2.5 DATOS DE LAS CONDICIONES OPERACIONALES

Se analizan las condiciones operativas del mes de junio de 2014, con información obtenida del Sistema SCADA en donde se monitorean y se almacenan los datos históricos de las diferentes estaciones, datos relacionados con presiones estáticas, temperaturas, flujos volumétricos, estados de apertura/cierre de actuadores, entre otros.

Los puntos de salida de los gasoductos de PROMIORIENTE, con mayor consumo son Galán-B/bermeja que abastece a la Refinería Ecopetrol, Palenque que abastece el consumo domiciliario y de algunas GNCV de la ciudad de Bucaramanga y Metrogas-Gazel, los cuales se representan en la Figura 25 que corresponde al 04/06/2014, uno de los días de mayor consumo.

Para los demás puntos de salida consideramos el mayor flujo volumétrico de salida que corresponden a:

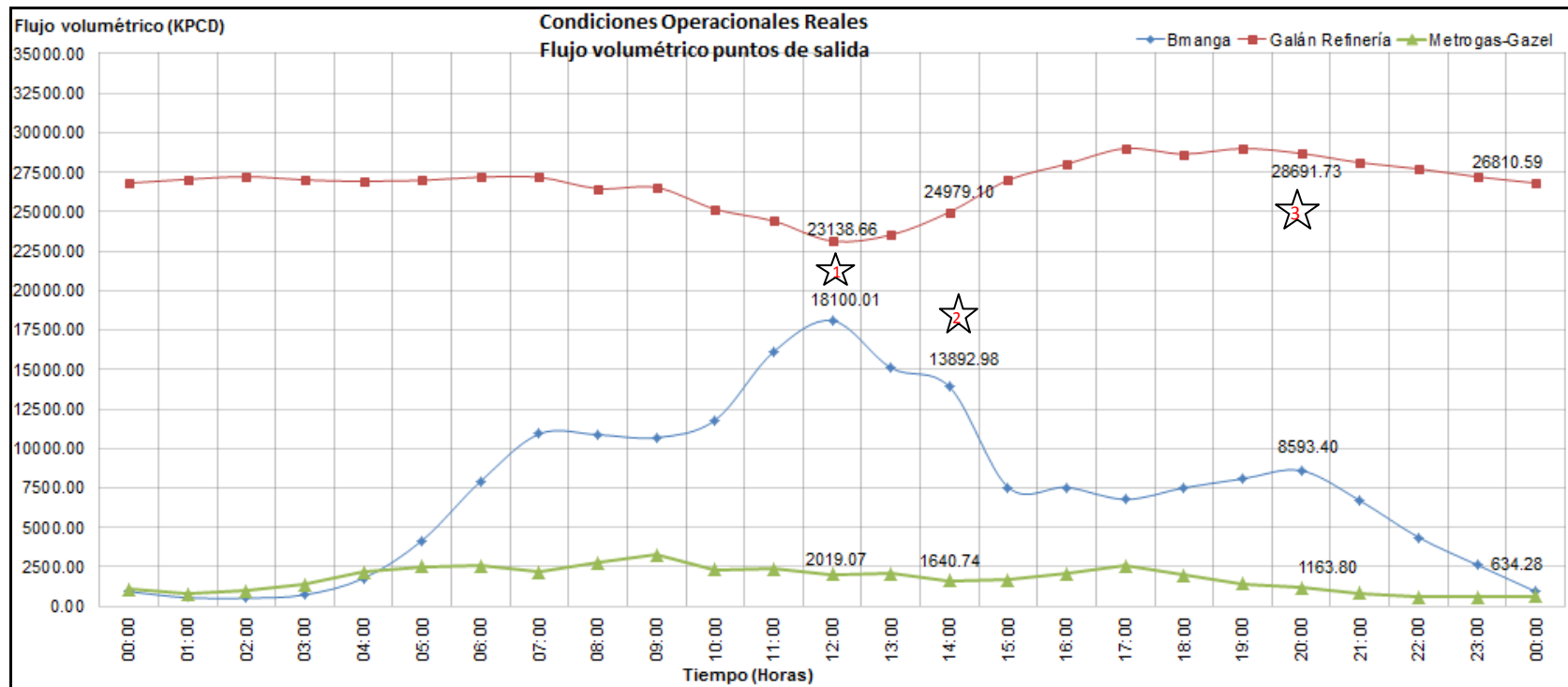
Tabla 15. Máximos flujos volumétricos de los puntos de salida de menor consumo de los remitentes de PROMIORIENTE.

Punto de salida	Caudal (MMSCFD)
Deriv. Samoré	0.00116
Deriv. San Bernardo	0.0027
Der. Labateca	0.0250
Deriv. Tane	0.0350
Der. Chitaga	0.0150
Derivac.Silos	0.0040
ICP	0.1120
Gasmovil	0.0082
Lebrija	0.1489
Total	0.352

El flujo horario promedio en el punto de entrada Gibraltar es 34-39 MMSCFD.

Las simulaciones disponibles en HYSYS son para el estado estacionario.

Figura 25. Flujo volumétrico horario de los puntos de salida relevantes de los gasoductos de PROMIORIENTE



Se simularán las tres condiciones operacionales mostradas en la Figura 25 que corresponden a horas picos de mayor demanda, las cuales exigen en mayor medida al sistema de gasoductos.

Las curvas de presión y temperatura para cada uno de los escenarios, obtenidas de los datos del Sistema SCADA se muestran a continuación y los datos están detallados en el Anexo N al P.

Figura 26. Esquema puntos de salida y entrada de los gasoductos de PROMIORIENTE.

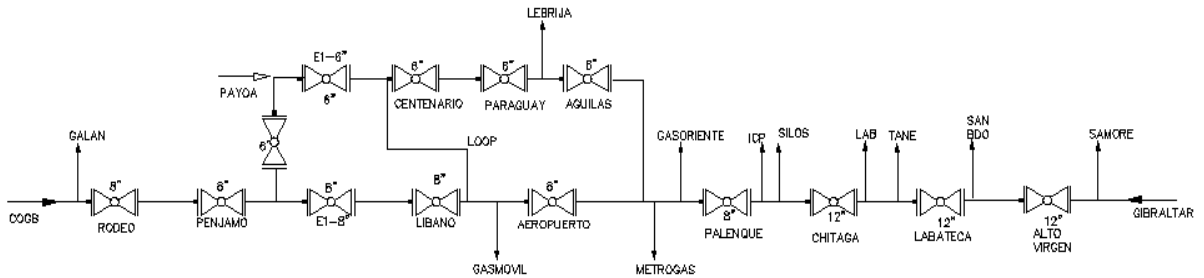


Figura 27. Condiciones Operacionales reales del Escenario 1

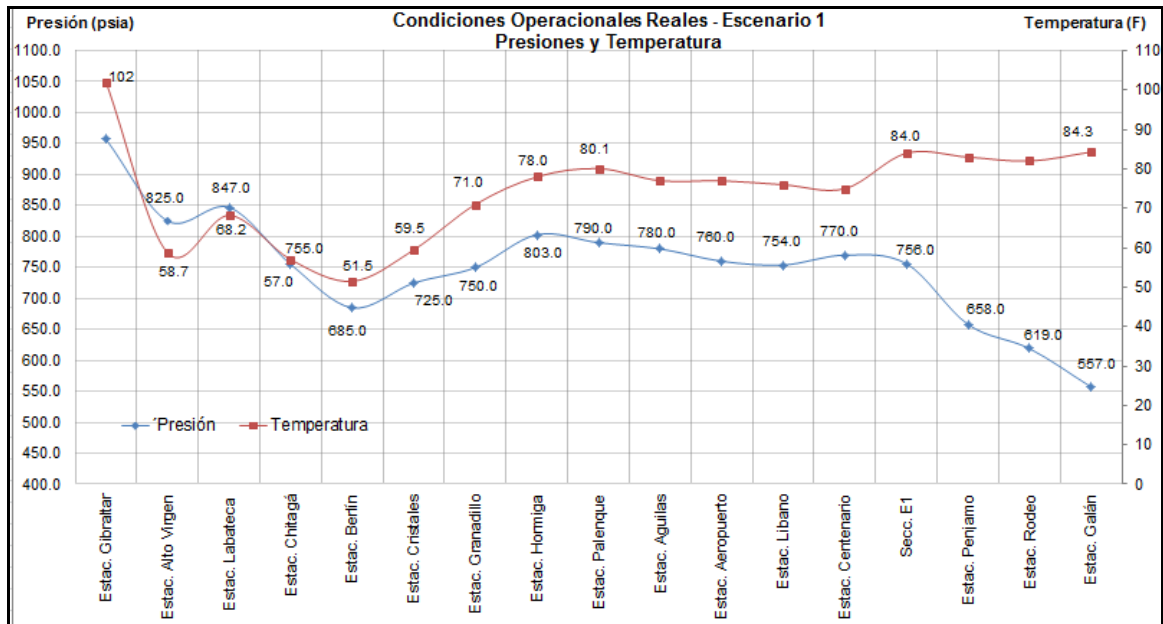


Figura 28. Condiciones Operacionales reales del Escenario 2

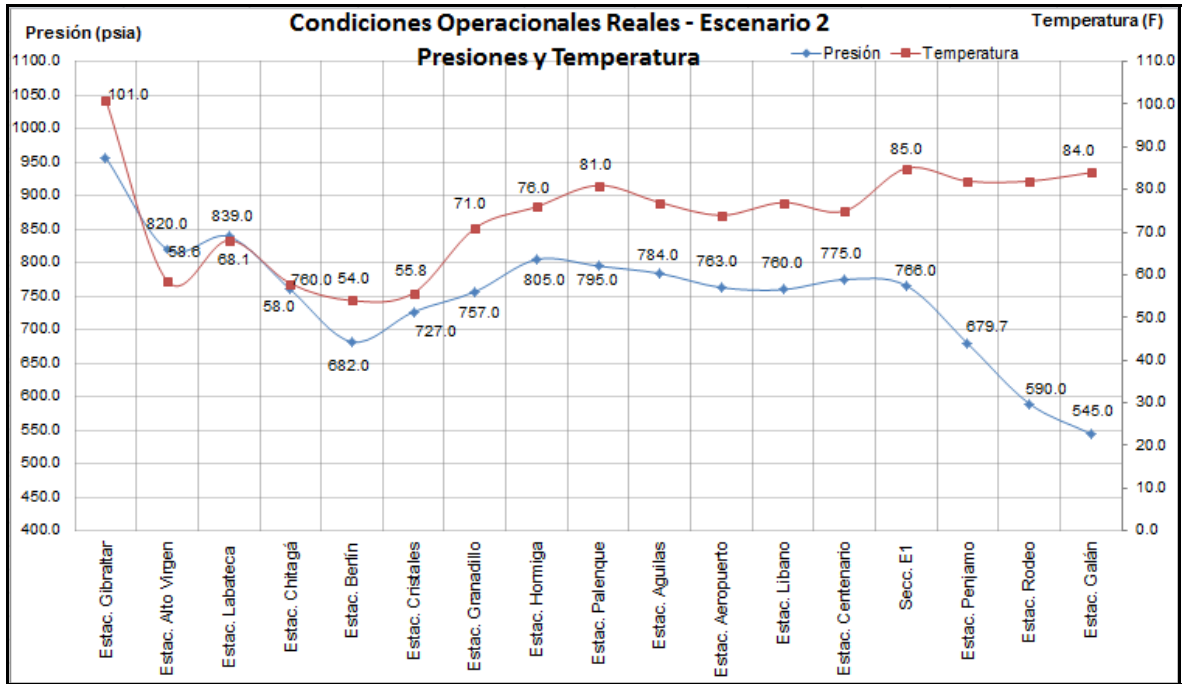
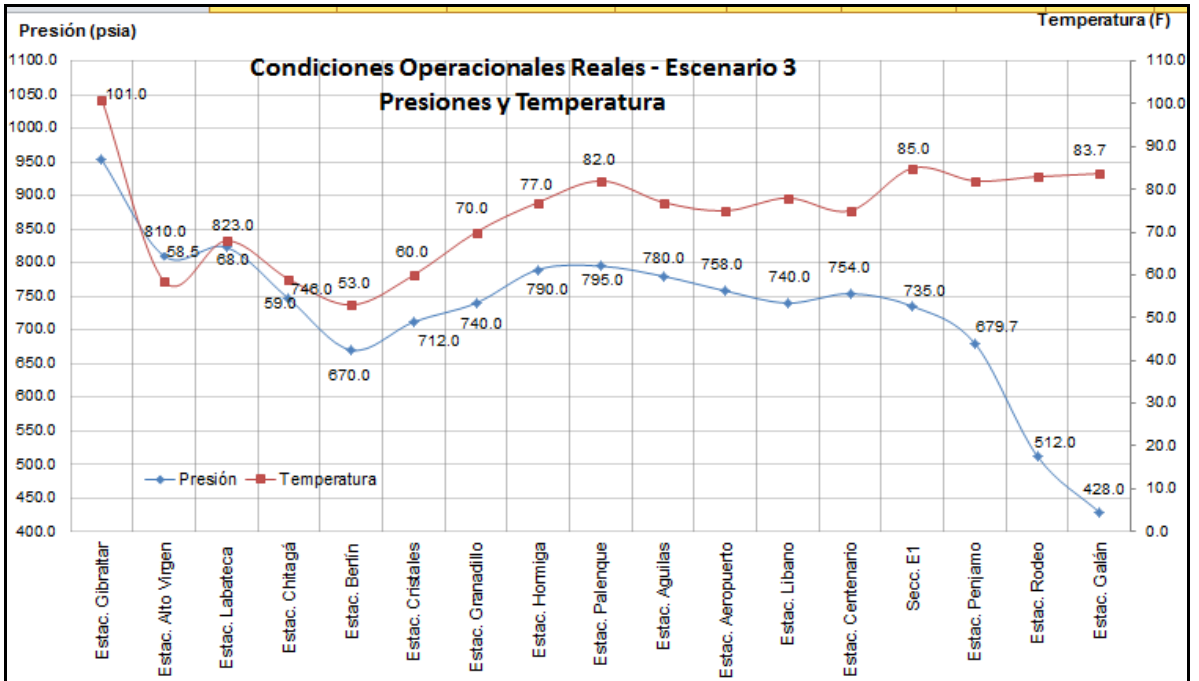


Figura 29. Condiciones Operacionales reales del Escenario 3



3. CREACION Y AJUSTE MODELO DE LOS GASODUCTOS DE PROMIORIENTE.

3.1 CREACION DEL MODELO

Para simular las condiciones operacionales de los gasoductos de PROMIORIENTE se usa el software ASPEN HYSYS versión 7.0 bajo la premisa de que se simulará en estado estacionario, dado que es la aplicación disponible que tiene la herramienta, no obstante, ya las nuevas versiones cuentan con el paquete de análisis y simulación en estado dinámico para líneas de transporte.

Las etapas realizadas para desarrollar la simulación consisten en:

- Lectura de manuales y revistas de uso del simulador HYSYS.
- Se construye el modelo conceptual recopilando la información mencionada en el capítulo anterior que incluyen los perfiles topográficos, datos geométricos de tuberías, medio en que se encuentra expuesta la tubería, la transferencia de calor con el ambiente, entre otros.
- Se define la envolvente de fases del gas a usar en el modelo.
- Se definen las condiciones operacionales del modelo para ser simuladas en HYSYS.
- Se comparan los datos de presión y temperatura reales con los arrojados por el simulador, para los diferentes modelos de flujo en tuberías disponibles en HYSYS.
- Se hacen mejoras al modelo de flujo más ajustado a las condiciones reales.

Para la simulación de los gasoductos de PROMIORIENTE, dada la combinación de los datos de diámetros internos, ubicación de las estaciones, de los cruces especiales (aéreos y subfluviales) y de los sectores geotécnicamente inestables, así como de los rangos de temperatura ambiente se originaron los siguientes segmentos de tubería para cada gasoducto:

- Gasoducto Gibraltar-Chitagá 12": 73 segmentos de tubería.

- Gasoducto Chitagá-Bmanga 12": 46 segmentos de tubería.
- Gasoducto Payoa-Bmanga 6": 42 segmentos de tubería.
- Gasoducto Payoa-Bmanga 8": 68 segmentos de tubería.
- Gasoducto Barrancabermeja-Payoa 8": 22 segmentos de tubería.

3.2 ECUACIONES DE FLUJO.

El flujo de fluidos en tuberías está acompañado de rozamiento del fluido con la tubería y, consecuentemente de una pérdida de presión en el sentido del flujo. A partir de la ecuación general de flujo para fluidos compresibles por tuberías, se determina como se afecta el dimensionamiento del sistema cuando se cambian los parámetros del fluido o los que actúan sobre la misma tubería y su forma general es la siguiente:

$$Q = 77.54 \left(\frac{T_b}{P_b} \right) \left(\frac{P_1^2 - P_2^2}{GT_f LZf} \right)^{0.5} D^{2.5} \quad (5)$$

Q = caudal de gas, SCFD

L = longitud, milla

D = diámetro interno

P_1 y P_2 = presión al inicio y al final, psia

P_b y T_b = presión base 14.65 psia y temperatura base 540°R

T_f = temperatura de flujo promedio del gas, °R

G = gravedad específica (aire=1)

Z = compresibilidad a presión y temperatura y presión de flujo

f = factor de fricción.

El régimen de flujo del gas en tuberías normalmente es parcial o totalmente turbulento, sin embargo, la diferencia entre una u otra relación radica en la forma de definir el factor de transmisión, ya que todas se derivan de la misma ecuación general.

La correlación de **Beggs & Brill** fue desarrollada especialmente para flujo direccional inclinado y puede ser aplicada a tuberías que tengan algún grado de inclinación, incluyendo flujo cuesta-abajo y tiende a pronosticar el recobro de presión en el flujo descendente. Considera tres regímenes de flujo y las correlaciones fueron dadas para holdup y factor de fricción. El holdup se calcula primero para flujo horizontal y luego es corregido para el verdadero ángulo de inclinación.

Esta ecuación puede reducirse para flujo de una sola fase, ya sea solo líquido o solo gas haciendo que Holdup tienda a uno o a cero, respectivamente. Así mismo, en la medida en que el ángulo de la tubería tienda a cero, $+90^\circ$, o -90° , la ecuación puede aplicarse a flujo horizontal o vertical.

La correlación **OLGAS** ha sido comparada con datos de varias facilidades experimentales, cubriendo un amplio rango de diámetros de líneas, fluidos, ángulos de inclinación y condiciones de operación. El modelo también ha sido probado con buenos resultados en un amplio rango de facilidades de producción de petróleo y gas. Sus características fundamentales son: Flujo transitorio (son ecuaciones diferenciales parciales referidas a un cierto período de tiempo), Unidimensional (la solución de las ecuaciones es en la dirección del eje axial), Completo (incluye todas las ecuaciones de flujo multifásico), modelo de dos fluidos modificado (modelo de dos fases), resuelto con una solución numérica semi-implícita (es un método para la solución de ecuaciones).

La Correlación de **Gregory, Aziz, Mandhane** es propuesta para usarse en el régimen de flujo burbuja alargada y disperso. Está derivada de consideraciones

mecánicas y al igual que el método de Beggs and Brill, es usado en conjunto con el holdup de líquido calculado por el procedimiento propuesto de Mandhane en lugar de una simple correlación propuesta originalmente por Gregory and Aziz.

Para los cálculos de caída de presión en flujo multifásico, se acostumbra dividir el gradiente de presión total en tres componentes: fricción, elevación y aceleración, cada uno calculado por separado y luego sumados.

Las correlaciones de flujo disponibles en HYSYS son las siguientes:

Tabla 16. Modelos de flujo disponibles en HYSYS

Modelo	Flujo Horizontal	Flujo Vertical
Aziz, Govier & Fogarasi	No	Si
Baxendell & Thomas	Usar con cuidado	Si
Begg & Brill mejorada	Si	Si
Duns & Ros	No	Si
Gregory, Aziz, Mandhane	Si	Usar con cuidado
Hagedorn & Brown	No	Si
HTFS Liquid Slip	Si	Si
OLGAS 2P	Si	Si
Orkisewki	No	Si
Poettman & Carpenter	No	Si
Tulsa	No	Si

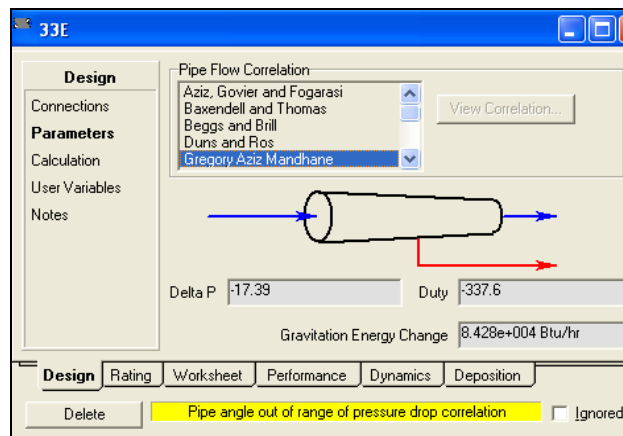
Como primer criterio de selección del modelo de flujo a usar es considerar que los gasoductos son de flujo horizontal, luego simularemos las condiciones operacionales definidas en el numeral 2.5 con los modelos Begg & Brill mejorada, Gregory, Aziz, Mandhane y OLGAS 2P y compararemos cual se ajusta más a las condiciones reales y este será seleccionado como la correlación de flujo a usar.

3.3 SIMULACION Y COMPARACION CON DATOS REALES DEL SISTEMA.

Después de simular las condiciones operacionales establecidas en el Escenario 1, 2 y 3 se observan los siguientes comportamientos:

- Con el modelo Gregory, Aziz, Mandhane en el gasoducto Gibraltar-Chitagá-Bmanga, se presentan problemas de cálculo en la mayoría de los segmentos de tubería por las elevadas inclinaciones del ducto debidas a la topografía del terreno.

Figura 30. Problemas de cálculo en el tramo Gibraltar-Bmanga usando la correlación de flujo Gregory, Aziz, Mandhane.



- Para los modelos de flujo Begg & Brill mejorada, Gregory, Aziz, Mandhane y OLGAS 2P en los gasoductos B/bermeja-Payoa-Bmanga, observamos que no se presentan diferencias mayores a 1 psi y 0,5 °F en las presiones y temperaturas a lo largo de los gasoductos comparando un modelo con otro.
- Para los modelos de flujo Begg & Brill mejorada y OLGAS 2P en los gasoductos Gibraltar-Chitagá-Bmanga, observamos que no se presentan diferencias 1 psi y 0,5 °F en las presiones y temperaturas a lo largo de los gasoductos comparando un modelo con otro.
- La simulación HYSYS tanto para el escenario 1, 2 y 3 mantiene la misma tendencia del perfil de presiones y temperaturas a las condiciones reales.
- En el Escenario 1, el perfil de presiones de las condiciones reales está ligeramente por encima de las condiciones simuladas, con un error máximo de 4.55%, teniendo en cuenta que la presión en el punto de salida Galán no difiere sino en 13 psi y de 19 psi en el punto de salida Bmanga.

- En el Escenario 1, el perfil de temperaturas de las condiciones reales está ligeramente por encima de las condiciones simuladas, con un error máximo de 8.42%, teniendo en cuenta que la temperatura en el punto de salida Galán no difiere sino en 1.7 °F y de 4 °F en el punto de salida Bmanga.
- En el Escenario 2, el perfil de presiones de las condiciones reales está ligeramente por debajo de las condiciones simuladas, con un error máximo de 3.82%, teniendo en cuenta que la presión en el punto de salida Galán no difiere sino en 20 psi y de 10 psi en el punto de salida Bmanga.
- En el Escenario 2, el perfil de temperaturas de las condiciones reales tiene un error máximo de 11%, teniendo en cuenta que la temperatura en el punto de salida Galán no difiere sino en 1.8 °F y de 5 °F en el punto de salida Bmanga.
- En el Escenario 3, el perfil de presiones de las condiciones reales está ligeramente por debajo de las condiciones simuladas, con un error máximo de 6.4%, teniendo en cuenta que la presión en el punto de salida Galán no difiere sino en 15 psi y de 25 psi en el punto de salida Bmanga.
- En el Escenario 3, el perfil de temperaturas de las condiciones reales está ligeramente por encima de las condiciones simuladas, con un error máximo de 11%, teniendo en cuenta que la temperatura en el punto de salida Galán no difiere sino en 3.7 °F y de 7 °F en el punto de salida Bmanga.

Por lo tanto definimos usar el modelo Begg & Brill mejorada para simular las demás condiciones relacionadas con los gasoductos de PROMIORIENTE, garantizando un nivel de confianza en los resultados.

En las figuras 31 a 36 y en el Anexo N al P se presentan los datos de la simulación comparados con los datos reales para el Escenario 1, 2 y 3.

Figura 31. Comparativo perfil de presiones reales vs simulador HYSYS en Escenario 1

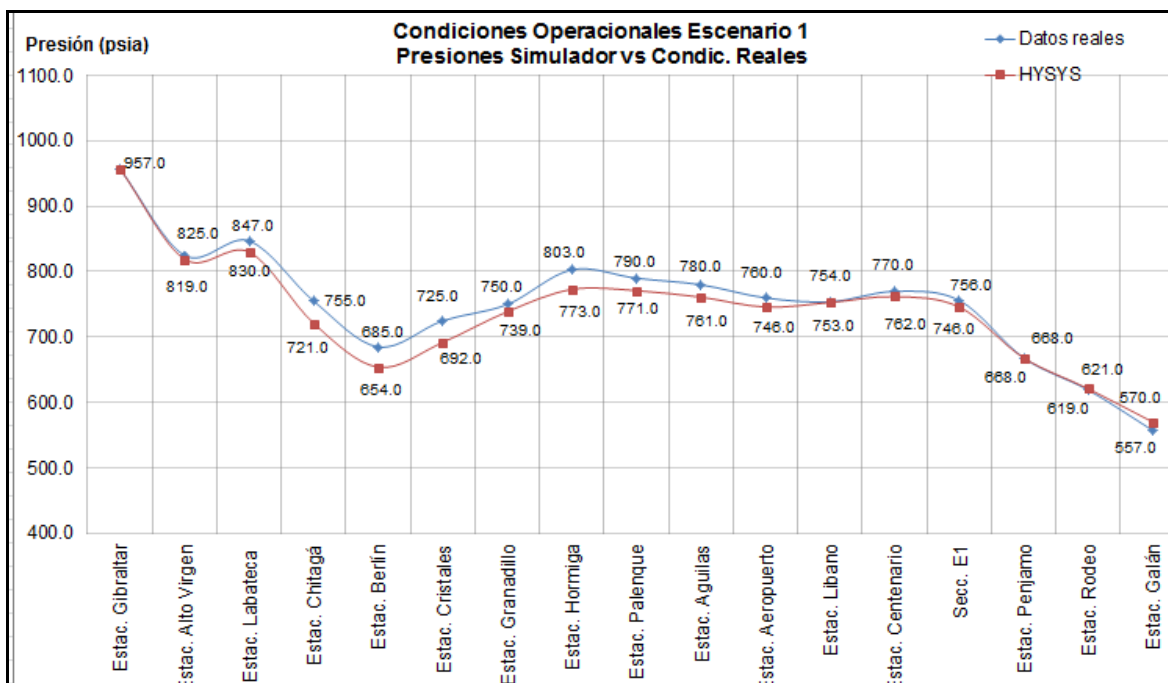


Figura 32. Comparativo perfil de temperaturas reales vs simulador HYSYS en Escenario 1

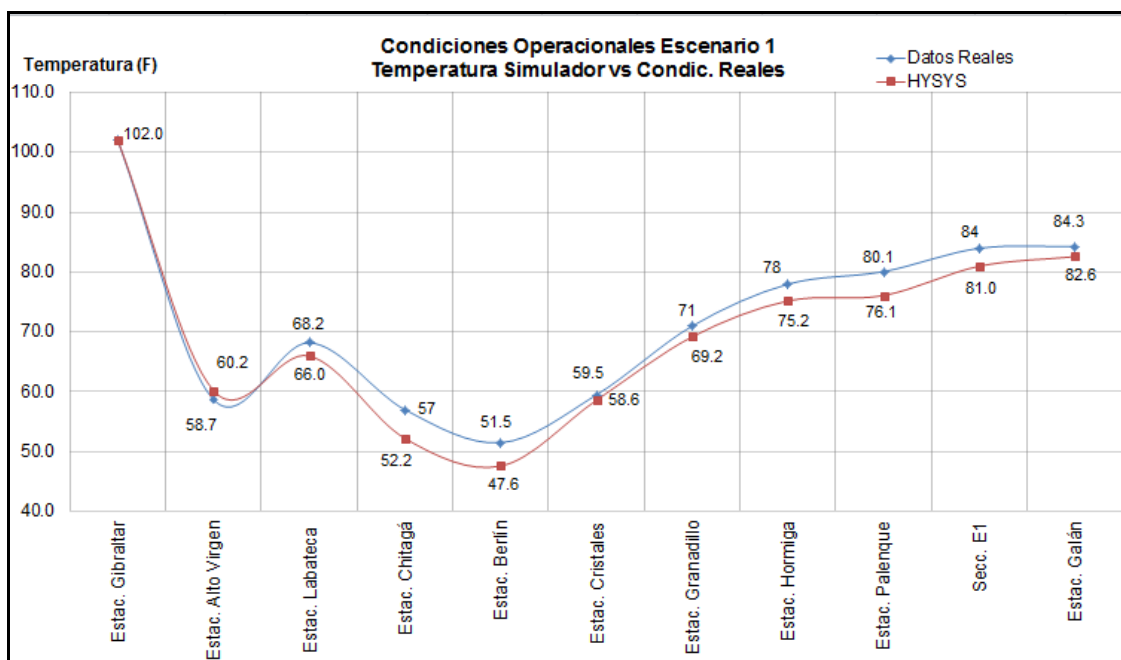


Figura 33. Comparativo perfil de presiones reales vs simulador HYSYS en Escenario 2

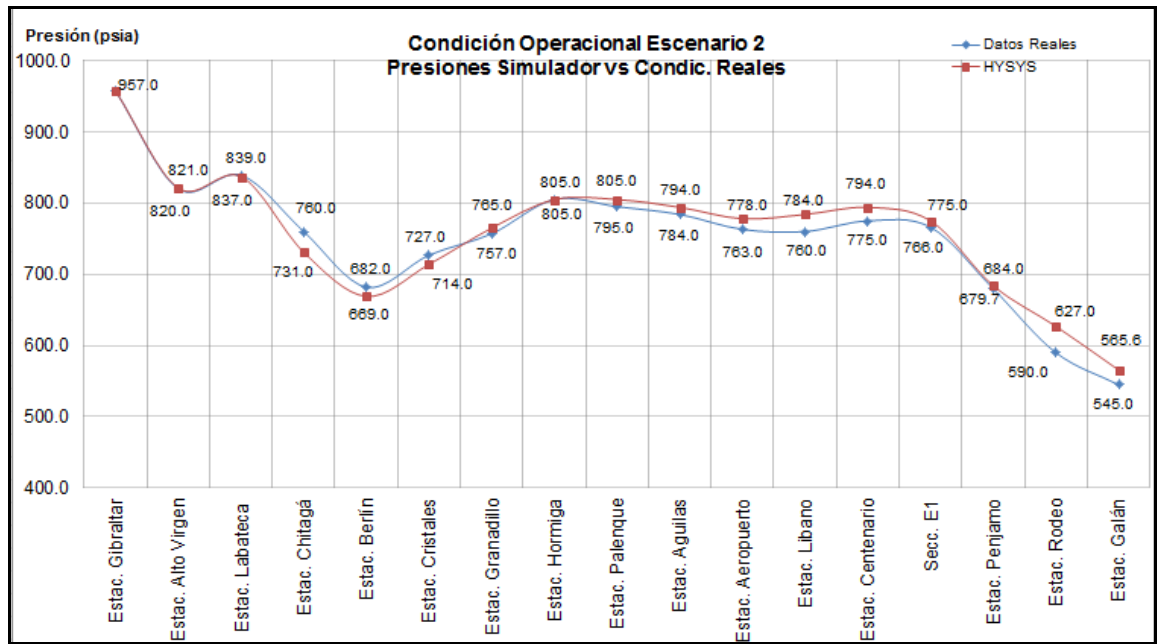


Figura 34. Comparativo perfil de temperaturas reales vs simulador HYSYS en Escenario 2

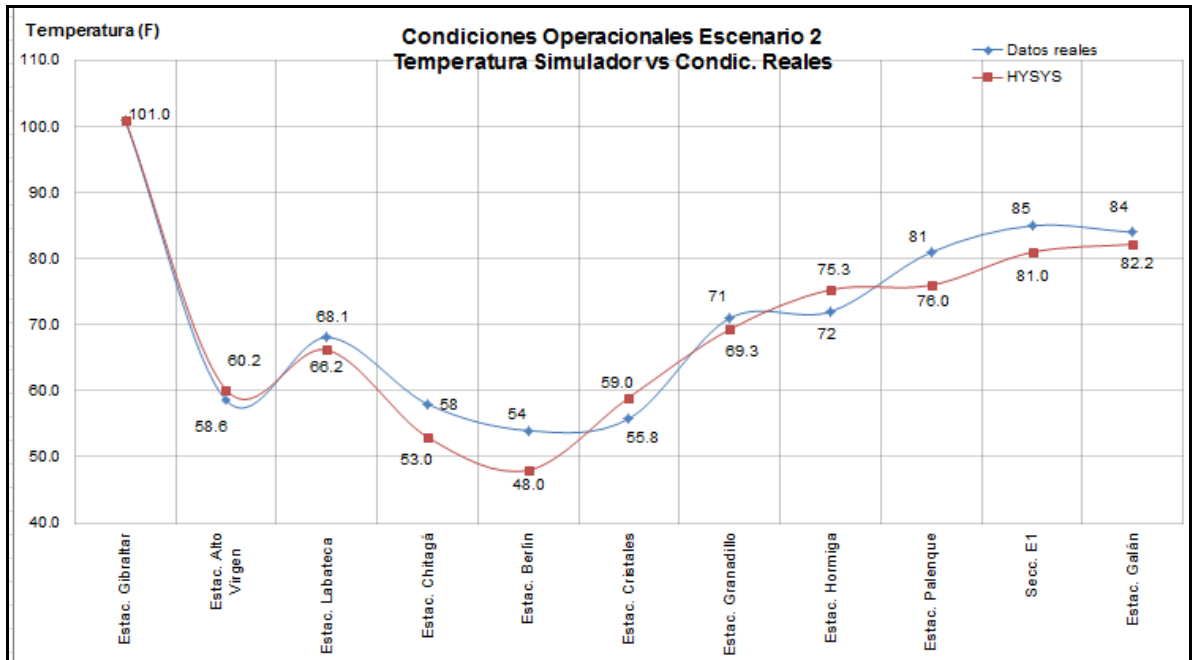


Figura 35. Comparativo perfil de presiones reales vs simulador HYSYS en Escenario 3

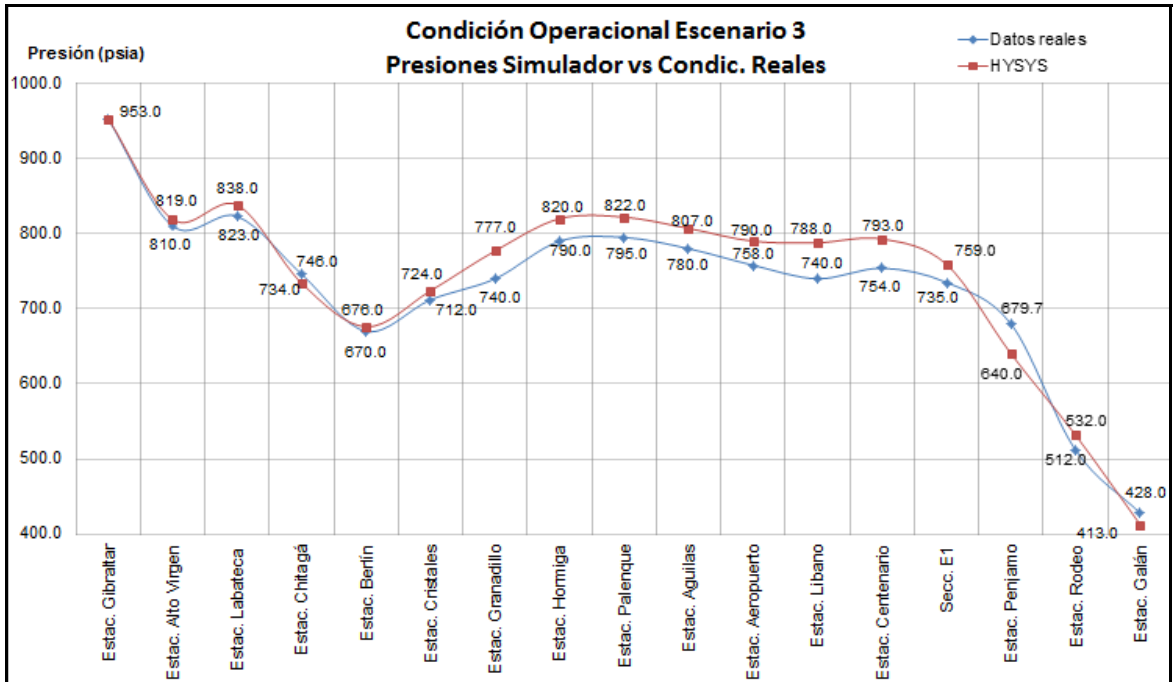
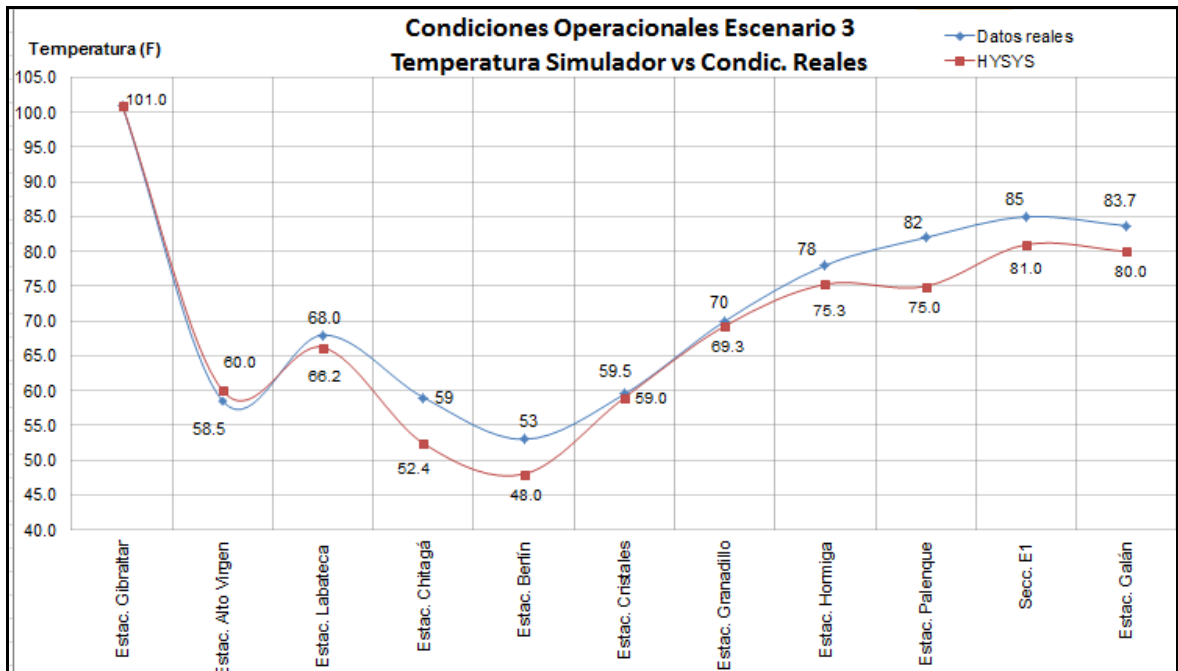


Figura 36. Comparativo perfil de temperaturas reales vs simulador HYSYS en Escenario 3



4. SIMULACIÓN DE LAS CONDICIONES CRÍTICAS OPERACIONALES.

4.1 CONDICIONES CRÍTICAS CONSUMO REMITENTES

En el sistema de PROMIORIENTE se presentan dos puntos de salida con flujos considerables, que corresponden a la Estación Palenque, que presenta picos de 18 MMSCFD y al punto de salida Estación Galán-B/bermeja, que aunque presenta consumos máximos de 30 MMSCFD, no obstante ocasionalmente se presentan picos que superan los 40 MMSCFD, convirtiéndose en una condición crítica del sistema que puede ocasionar caídas de presión por debajo de las 350 psig contractuales.

Para simular esta condición en HYSYS, procedemos a obtener el perfil de presiones de los gasoductos bajo los siguientes escenarios:

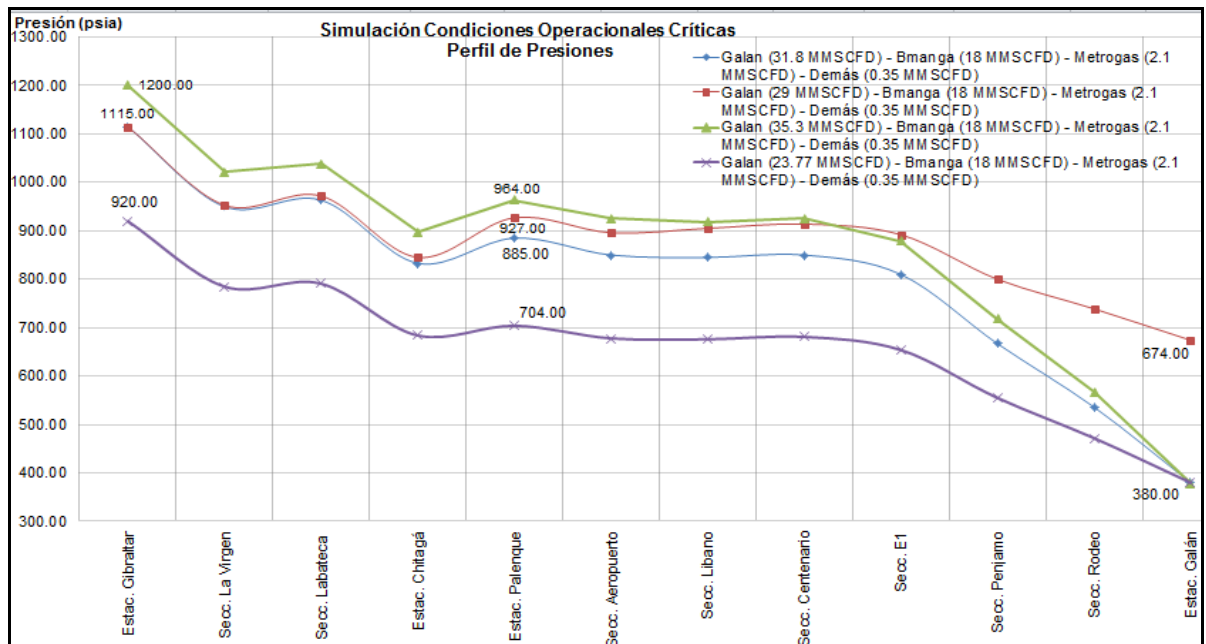
- Presión y temperatura promedio de entrada del gas Gibraltar de 1115 psia y 101 °F respectivamente, con estimación de los máximos flujos volumétricos en los puntos de salida que corresponden a Galán (30 MMSCFD), Palenque (18.1 MMSCFD), Metrogas-Gazel (2.1 MMSCFD) y demás (0.35 MMSCFD).
- Manteniendo las condiciones de 1115 psia y 101 °F en el punto de entrada, y los flujos volumétricos de salida de Palenque (18.1 MMSCFD), Metrogas-Gazel (2.1 MMSCFD) y demás (0.35 MMSCFD), variamos el flujo del punto de salida Galán-B/bermeja hasta que la presión aguas arriba del sistema de regulación quede aproxim. en 380 psia, es decir, 15 psi por encima de la presión regulada contractual con el remitente.
- De acuerdo con la definición del cálculo de capacidad máxima de gasoductos establecidos en el RUT, consideramos 1.200 psia y 101 °F como condiciones de entrada y flujos de salida para Palenque (18.1 MMSCFD), Metrogas-Gazel (2.1 MMSCFD) y demás (0.35 MMSCFD),

variamos el flujo del punto de salida Galán-B/bermeja hasta que la presión aguas arriba del sistema de regulación quede aproximadamente en 380 psia.

- Presión mínima de entrada del gas Gibraltar de 920 psia a 101 °F, con estimación de los máximos flujos volumétricos en los puntos de salida que corresponden a Galán (30 MMSCFD), Palenque (18.1 MMSCFD), Metrogas-Gazel (2.1 MMSCFD) y demás (0.35 MMSCFD), variamos el flujo del punto de salida Galán-B/bermeja hasta que la presión aguas arriba del sistema de regulación quede aproximadamente en 380 psia.

Los resultados se muestran en la siguiente gráfica:

Figura 37. Perfil de presiones para diferentes condiciones operacionales.



4.2 PROBLEMAS ASOCIADOS A LA TRANSFERENCIA DE CALOR.

A medida que el gas fluye por el gasoducto pierde energía y presión debido a la fricción con las paredes internas de la tubería y a la transferencia de calor

existente entre el gas y sus alrededores, generando descensos en la temperatura del flujo. Con los valores de presión y temperatura se analiza el estado de equilibrio de fases para determinar las zonas que están propensas a presentar diversos problemas operacionales entre los que se destacan la condensación de las fracciones más pesadas del gas, la condensación de agua y la formación de hidratos de gas.

4.2.1 Condensación de fluidos

Debido a las bajas temperaturas ambientes en algunos sectores de los gasoductos de PROMIORIENTE y al efecto Joule–Thompson, asociado a la reducción de la temperatura del gas en los sistemas de regulación ubicados en todos los puntos de salida, es posible la condensación de HC pesados y agua.

La condensación disminuye la calidad del fluido transportado y la capacidad de transporte de la línea, modifica las condiciones de flujo de la mezcla gaseosa, generando posibles riesgos físicos sobre la infraestructura de transporte en la medida en que favorece los procesos corrosivos, incrementan riesgos de explosiones e incendios, genera problemas en los sistemas de regulación y baja la confiabilidad en la medición de flujos volumétricos y de energía.

El punto de rocío de hidrocarburo es un parámetro para el control de calidad para el cumplimiento regulatorio y contractual estipulado en las especificaciones de transporte a través de la red de suministro, desde productores hasta consumidores finales, pasando por empresas transportadoras y distribuidoras.

Se hace un análisis en cada uno de los puntos de salida de los gasoductos de PROMIORIENTE, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Simulando los consumos del escenario 1 con el gas Gibraltar (cricondotérmico de 44,4 °F) y con su mínima temperatura de entrada que corresponde a 86 °F (dado el 02/06/2014 11:00 am a 13:00 p.m.) se calculan con el modelo HYSYS

las temperaturas del gas aguas arriba de los sistemas de regulación de los puntos de salida. Esta condición generará las más bajas temperaturas en los puntos de salida.

- Con las temperaturas calculadas y asumiendo una presión aguas arriba del sistema de regulación máximo de 1.200 psia, calculamos las temperaturas aguas abajo del sistema de regulación, manteniendo las presiones de salida contractuales.
- De acuerdo con la envolvente de fases del gas Gibraltar, definimos el Dew Point de HC para las presiones de salida contractuales:

Tabla 17. Dew Point de HC gas Gibraltar

Presión (psia)	Dew Point HC (°F)
75	17.5
275	40.2
365	43.7
500	43.9

Los resultados están plasmados en la siguiente tabla:

Tabla 18. Análisis condiciones operacionales puntos de salida gasoductos PROMIORIENTE.

	CAUDAL (MMSCFD) Flujo inst. Máx.	PRESION AGUAS ARRIBA REGULAD (psia)	PRESION AGUAS ABAJO REGULAD (psia)	TEMPER. AGUAS ARRIBA REGULAD (°F)	TEMPER. AGUAS ABAJO REGULAD (°F)	REQUIERE SIST. DE CALENTAM. (SI/NO)
DERIVACION SAMORE	0.00116	1.200	74	75.96	7.14	SI
DERIV LABATECA	0.025	1.200	74	67.3	3.6	SI
DERIVACION SAN BDO	0.0027	1.200	74	65.1	0.7	SI
DERIVACION TANE	0.035	1.200	1.200	60	60	NO
DERIVACION CHITAGA	0.015	1.200	74	56.9	-3.1	SI
DERIVACION SILOS	0.0043	1.200	74	45.5	-10.5	SI
DERIVACION ICP-MI ISLA	0.112	1.200	500	72.5	47.04	NO
DERIV. GASORIENTE	19	1.200	274	75.7	33.5	SI
DERIV METROGAS-GAZEL	4.5	1.200	274	76	26.4	SI
DERIVACION GASMOVIL	0.027	1.200	274	71.8	31.21	SI

Tabla 19. Análisis condiciones operacionales puntos de salida gasoductos PROMIORIENTE (continuación).

	CAUDAL (MMSCFD) Flujo inst. Máx.	PRESION AGUAS ARRIBA REGULAD (psia)	PRESION AGUAS ABAJO REGULAD (psia)	TEMPER. AGUAS ARRIBA REGULAD (°F)	TEMPER. AGUAS ABAJO REGULAD (°F)	REQUIERE SIST. DE CALENTAM. (SI/NO)
DERIVACION LEBRIJA	0.3094	1.200	274	74.7	32.5	SI
DERIVACION GALAN	30	950	364	78.5	40.89	SI

De los datos anteriores podemos concluir que evidentemente se presenta una caída de temperatura considerable en todos los puntos de salida debido al proceso de expansión del gas llevado a cabo en las válvulas reguladoras de presión, por debajo en muchos casos de la temperatura promedio de rocío de HC, adicionalmente a las bajas temperaturas ambientes en algunos sectores que favorecen el fenómeno de condensación de los HC más pesados.

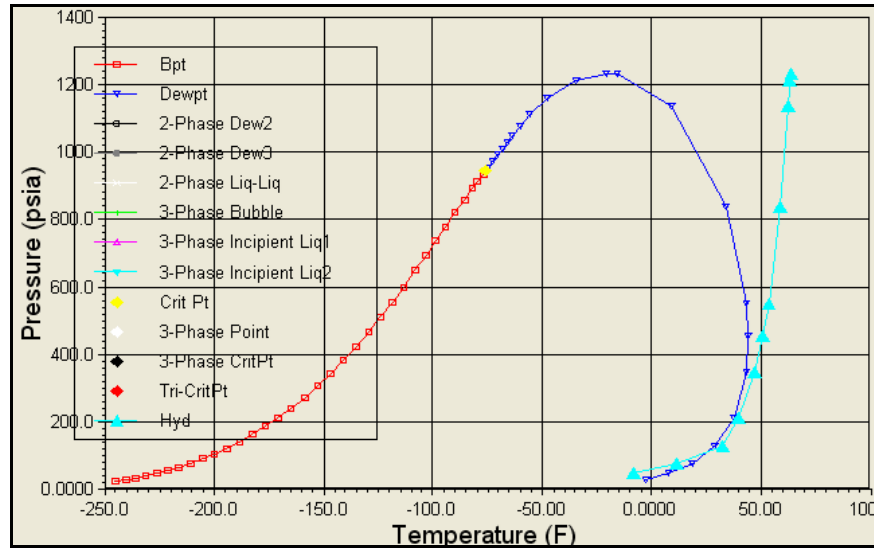
A excepción de la derivación ICP-Mi Isla, cuya temperatura aguas abajo del sistema de regulación a 500 psia, es de 47.04 °F, por encima de los 45 °F establecido por el RUT y de los 44.4 °F del cricondotérmico de Gibraltar, adicional a que en esta derivación se cuenta con scrubber y filtros ubicados aguas arriba del sistema de compresión (mercado GNVCV); las demás derivaciones presentan condensación de HC.

4.2.2 Formación de hidratos

Los hidratos de gas son acumulaciones cristalinas similares al hielo formado de gas natural y agua. Se presentan en condiciones de presión alta y temperatura bajas, en presencia de agua y de moléculas de gas con diámetro pequeño (C1, C2, C3, C4, H₂S, CO₂). Generaran una variedad de problemas como el aumento innecesario en la potencia del bombeo, disminución en flujo, o aún más grave, el bloqueo total de la línea.

En Figura 38 se ilustran envolvente de fases del Gas Gibraltar con la curva de hidratos. En las condiciones a la izquierda de la curva se forman los hidratos.

Figura 38. Curva de formación de hidratos del gas Gibraltar.



De acuerdo con el análisis establecido en el numeral 4.3, es factible la formación de agua líquida, aguas abajo de los sistemas de regulación de los puntos de salida Labateca, San Bdo, Chitagá y Silos. Estos puntos de salida tienen una presión de 75 psia que en la curva de hidratos corresponde a una temperatura máxima de formación de hidratos de 0 °F, lo que significa que con los datos de la Tabla 17, es posible la formación de hidratos en los puntos de salida Chitagá y Silos.

4.3 CALIDAD DEL GAS NATURAL

En Colombia, la regulación del transporte del gas natural fue establecida por la Comisión Nacional de Energía y Gas (CREG), a través de la RESOLUCIÓN 071 DE 1999 (Reglamento Unitario de Transporte - RUT), y se dan las especificaciones de la calidad requeridas dentro del Sistema Nacional de Transporte mostradas en la Tabla 18.

Tabla 20. Calidad del gas (Según RUT - Resolución CREG 071-99).

<i>Especificaciones</i>	<i>Sistema Internacional</i>	<i>Sistema Inglés</i>
Máximo poder calorífico bruto [GHV] <i>(Nota 1)</i>	42.8 MJ/m ³	1.150 BTU/ft ³
Mínimo poder calorífico bruto [GHV] <i>(Nota 1)</i>	35.4 MJ/m ³	950 BTU/ft ³
Contenido de Líquido <i>(Nota 2)</i>	Libre de líquidos	Libre de líquidos
Contenido total de H ₂ S máximo	6 mg/m ³	0.25 grano/100PCS
Contenido total de azufre máximo	23 mg/m ³	1.0 grano/100PCS
Contenido CO ₂ , máximo en % volumen	2%	2%
Contenido de N ₂ , máximo en % volumen	3	3
Contenido de inertes máximo en % volumen <i>(Nota 3)</i>	5%	5%
Contenido de oxígeno máximo en % volumen	0.1%	0.1%
Contenido máximo de vapor de agua	97 mg/m ³	6.0 Lb/MPCS
Temperatura de entrega máximo	49 °C	120°F
Temperatura de entrega mínimo	7.2 °C	45 °F
Contenido máximo de polvos y material en suspensión <i>(Nota 4)</i>	1.6 mg/m ³	0.7 grano/1000 pc

Fuente: *Reglamento Único de Transporte. CREG-Comisión de Regulación de Energía y Gas del Ministerio de Minas y Energía, Colombia.*

Nota 1: Los datos referidos a m³ ó ft³ de gas se referencian a Condiciones Estándar.

Nota 2: El Gas Natural deberá entregarse con una calidad tal que no forme líquido, a las condiciones críticas de operación del Sistema. La característica para medir la calidad será el “Cricodentherm” el cual se fijó en 45 °F.

Nota 3: Se consideran como inertes la suma de los contenidos de CO₂, N₂ y O₂.

Nota 4: El máximo tamaño de las partículas debe ser 15 micrones. Salvo acuerdo entre las partes, el Productor-comercializador y el Remitente están en la obligación de entregar Gas Natural en el Punto de Entrada hasta las 1200 Psia.

Se analiza la composición del gas Gibraltar en cuanto al contenido de CO₂, H₂S y agua, bajo lo cual nos apoyamos en los datos históricos obtenidos de los equipos de calidad del gas instalados tanto en la estación Gibraltar (punto de entrada),

como de la Estación Galán (punto de salida) durante los meses de junio a agosto de 2014:

Tabla 21. Datos de la calidad del gas Gibraltar y Ballenas.

CAMPO	PUNTO	EQUIPO	VARIABLE	MAX	PROM	MIN
GIBRALTAR	GIBRALTAR	CONDUMAX II	Cant. Vapor de agua (lb/MMSCF)	2.1	0.96	0.35
			Dew Point agua (°F)	0.9	-7.07	-25.4
		CROMATOGRAFO	CO ₂ (% mol)	1.98	1.77	1.59
			H ₂ S (ppm)	0.94	0.23	0.00
	CALCULO	Presión parcial CO ₂ (psi)	21.77	17.16	8.35	
	GALAN	CONDUMAX II	Cant. Vapor de agua (lb/MMSCF)	4.3	1.86	1.42
			Dew Point agua (°F)	6.08	-8.17	-17.14
		CROMATOGRAFO	CO ₂ (% mol)	1.91	1.88	1.27
			H ₂ S (ppm)	0.82	0.57	0.40
		CALCULO	Presión parcial CO ₂ (psi)	17.61	12.01	0.00
BALLENAS	GALAN	CONDUMAX II	Cant. Vapor de agua (lb/MMSCF)	5.87	3.16	2.11
			Dew Point agua (°F)	24.62	9.25	0.86
		CROMATOGRAFO	CO ₂ (% mol)	0.73	0.16	0.04
			H ₂ S (ppm)	0.27	0.23	0.15
		CALCULO	Presión parcial CO ₂ (psi)	5.86	1.36	0.00

Análisis de H₂O: Para el gas Gibraltar el punto de rocío de agua máximo es 6.08 °F y para el gas Ballena es 24.6 °F. Estos puntos de rocío se encuentran por debajo de la mínima temperatura registrada para el gas transportado por los gasoductos de PROMIORIENTE donde la menor temperatura ha sido 48 °F para el tramo Gibraltar-Bucaramanga y 75 °F para el tramo Barrancabermeja-Payoa-Bucaramanga.

Teniendo en cuenta lo anterior se descarta la posibilidad de condensación de agua en los ductos de PROMIORIENTE, sin embargo aguas abajo del sistema de regulación de los puntos de salida Labateca, San Bdo, Chitagá y Silos, de acuerdo con la Tabla 17 se presentan las condiciones para que se condense el agua contenida en el gas.

El contenido máximo de agua en forma vapor para el gas Gibraltar fue de 2,1 Lb H₂O/MMSCF de gas, y para el gas ballenas de 5,86 Lb H₂O/MMSCFD, inferior al valor de 6 Lb H₂O/MMSCF de gas establecido en el RUT.

Análisis de CO₂: Tomando la composición del gas Gibraltar con la máxima concentración de CO₂ cuyo valor es 1.98% molar y teniendo en cuenta que el límite de concentración establecido en el RUT para el CO₂ se debe obtener con base % volumen y este varía dependiendo de la presión a la cual se encuentra el gas. Para el caso particular del CO₂ el porcentaje en volumen disminuye a medida que se aumenta la presión, por lo tanto se realiza el ejercicio para determinar la equivalencia del porcentaje molar al volumétrico a una presión de 200 psig y temperatura promedio de 550 °R. Los resultados son:

Tabla 22. Composición molar y volumétrica del gas Gibraltar.

Componente	Fracción molar Yi	Ma (lb/lbmol)	Ma*Yi	zi (Gráfica Standing de GPSA)	zi*Yi	Frac. vol @ 200 psig y 550 °R (zi*Yi/suma(zi*Yi))
Metano	0.89662	16.043	14.3845	0.99	0.8877	0.90989
Etano	0.05369	30.07	1.6145	0.88	0.0472	0.04843
Propano	0.01596	44.097	0.7038	0.76	0.0121	0.01243
n-Butano	0.00334	58.123	0.1941	0.55	0.0018	0.00188
i-Butano	0.00304	58.123	0.1767	0.55	0.0017	0.00171
n-pentano	0.00100	72.15	0.0722	0.4	0.0004	0.00041
i-pentano	0.00150	72.15	0.1082	0.4	0.0006	0.00062
Hexano	0.00006	86.117	0.0052	0.4	0.0000	0.00002
CO ₂	0.01980	44.01	0.8714	0.96	0.0190	0.01948
N ₂	0.00499	28.013	0.1398	1	0.0050	0.00512
TOTAL	1.00000				0.9756	1.00000

Lo que significa que tiene 1.95% volum. De CO₂, menor al 2% permitido por el RUT y teniendo en cuenta los valores de punto de rocío de agua, se puede deducir que no habría posibilidad de formación de ácido carbónico y por lo tanto se reduce la posibilidad de corrosión interna por CO₂ en los gasoductos de

PROMIORIENTE, no obstante en los puntos de salida Labateca, San Bdo, Chitagá y Silos existen las condiciones para que se genere corrosión por CO₂.

De acuerdo con la ley de Dalton de presiones parciales se establece que la presión total ejercida por una mezcla de gases es igual a la suma de las presiones ejercidas por sus componentes o presión parcial.

$$P_j = Y_j * P \tag{6}$$

donde

P_j = Presión Parcial de un componente del Gas

Y_j = Fracción Molar de un Componente del Gas

P = Presión Total del Gas

De acuerdo con el estándar NACE SP 0106-2006, si hay presencia de agua líquida dentro de la tubería se deben tener en cuenta los siguientes límites de presión parcial del CO₂:

- Presión Parcial de CO₂ superior a 30 psi, USUALMENTE es corrosiva.
- Presión parcial de CO₂ entre 3 psi y 30 psi, PODRIA ser corrosiva.
- Presión parcial de CO₂ menor a 3 psi, GENERALMENTE no es corrosiva.

En la Tabla 19 se puede ver que para el gas Gibraltar la máxima presión parcial de CO₂ es 21.77 psig, es decir que en presencia de agua líquida PODRIA existir corrosión por efecto del CO₂.

El gas Ballenas tiene 0,73% CO₂ inferior al 2% del RUT con presión parcial de 5,86 psi lo que significa que podría ser corrosiva en presencia de agua líquida.

Análisis de H₂S: La máxima Concentración de H₂S para el gas Gibraltar es 0.94 ppm y 0,27 ppm para el gas Ballenas, menor a las 4 ppm permitidas por el RUT. Además, teniendo en cuenta los valores de Punto de Rocio de Agua, se puede deducir que no habría posibilidad de formación de H₂SO₄ y por lo tanto se reduce

la posibilidad de corrosión interna en los gasoductos de PROMIORIENTE, no obstante si podría generarse corrosión interna en los puntos de salida Labateca, San Bdo, Chitagá y Silos.

Poder calorífico: El poder calorífico tanto del gas Gibraltar como Ballenas se encuentra dentro del rango definido por el RUT de 950 a 1.150 BTU/PC.

Temperatura del gas: Los datos de la temperatura del gas registrados durante los meses de junio a agosto de 2014, a lo largo de los gasoductos de PROMIORIENTE, son de 48 °F para el tramo Gibraltar-Bucaramanga y 75 °F para el tramo Barrancabermeja-Payoa-Bucaramanga y se encuentra dentro del rango de temperaturas exigido por el RUT, que corresponde entre 45 °F y 120 °F.

Análisis cantidad de inertes: La cantidad de N₂ máxima presentada en el gas Gibraltar fue de 0,51%, la de O₂ de 0,07% y la de CO₂ de 1,95%. La sumatoria de todos estos componentes inertes es de 2,53%, cumpliendo con las exigencias del RUT. Par el gas Bellenas se cumple igualmente con la reglamentación.

4.3.1 Sectores críticos a nivel geotécnico

El tramo Gibraltar-Chitagá-Bucaramanga tiene los sitios tramos de inestabilidad geotécnica:

Tabla 23. Sectores críticos a nivel geotécnico gasoductos Gibraltar-Bmanga 12”.

SECTOR	GASODUCTO	PK	DESCRIPCION	VALORACION
Cedeño	Gibraltar – Bucaramanga	Pk 1+985	Flujo de lodos ocasionó rotura del gasoducto. Se instalaron Marcos H para soporte de la tubería que deben ser monitoreados para verificar desplazamientos en las estructuras que puedan afectar la estabilidad de la línea.	Crítico

Tabla 24. Sectores críticos a nivel geotécnico gasoductos Gibraltar-Bmanga 12” (continuación).

SECTOR	GASODUCTO	PK	DESCRIPCION	VALORACION
La Mesa	Gibraltar – Bucaramanga	Pk 22+300 - Pk 22+600	Deslizamiento generó exposición de la línea. Se construyeron obras para controlar el deslizamiento, pero dada la magnitud del mismo y el riesgo sobre la tubería se debe monitorear para verificar la estabilidad del sector.	Critico
Chona	Gibraltar – Bucaramanga	Pk 55+200 +Pk 55+600 Alicia	Por deslizamiento de grandes proporciones en sentido normal al gasoducto, se presentó rotura de la línea. En este punto se instalaron Marcos H para la mitigación de la falla del terreno. Se debe monitorear para verificar estabilidad general del sector.	Critico

El tramo Payoa-Bucaramanga tiene los sitios tramos de inestabilidad geotécnica:

Tabla 25. Sectores críticos geotécnicamente de los gasoductos Barranca-Payoa-Bmanga.

SECTOR	GASODUCTO	PK	DESCRIPCION	VALORACION
Palo Coposo	Payoa Bucaramanga 6"	Pk 25+100 - Pk 26+600	Zona de coluvión que se desplaza en sentido normal a la tubería. Se monitorea para verificar estabilidad general del sector y afectaciones a la línea como consecuencia del movimiento.	Critico
Canoas	Payoa Bucaramanga 8"	Pk 22+600 - Pk 22+700	Zona de coluvión que se desplaza en sentido normal a la tubería. Se monitorea para verificar estabilidad general del sector y afectaciones a la línea como consecuencia del movimiento.	Severo
La Azufrada	Payoa Bucaramanga 8"	Pk 26+200 - Pk 29+700	Zona de coluvión que se desplaza en sentido normal a la tubería. Se monitorea para verificar estabilidad general del sector y afectaciones a la línea como consecuencia del movimiento.	Critico
La Azufrada 1	Payoa Bucaramanga 6"	Pk 28+500 - Pk 33+000	Zona de coluvión que se desplaza en sentido normal a la tubería. Se monitorea para verificar estabilidad general del sector y afectaciones a la línea como consecuencia del movimiento.	Critico

Los tramos Chitagá-Bmanga y Barrancabermeja-Payoa no presentan sectores críticos a nivel geotécnico.

Para la simulación y análisis de estos sectores críticos del tramo Bmanga-Payoa se tienen en cuenta las siguientes condiciones operacionales:

- Condiciones operacionales del Escenario 1 con 1.115 psia y 101 °F en Gibraltar.
- Se varía el consumo del punto de salida Galán hasta obtener una presión aguas arriba del sistema de regulación de 380 psia.

Para el caso de **falla en el sector Palocoposo o de la Azufrada 1** del gasoducto Payoa-Bmanga 6", se deben cerrar las válvulas de seccionamiento Paraguay y Centenario, quedando fuera de operación 10,6 Km de tubería, es decir el 21.4% de este gasoducto y quedarían operando todos los puntos de salida haciendo funcional la interconexión de los loops de acuerdo con la Figura 39. Los datos de simulación en HYSYS son:

Tabla 26. Datos simulación en caso de falla del sector Palocoposo/Azufrada 1 del gasoducto Payoa-Bmanga 6".

Estación	Presión (psia)
Gibraltar	1,115
Alto Virgen	951
Labateca	965
Chitagá	833
Palenque	892
Águilas	879
Aeropuerto	860
Líbano	809
Centenario	806
E1	773
Pénjamo	640
Rodeo	520
Galán	380
Flujo máx Galán 29,9 MMSCFD	

Para el caso de **falla en el sector Canoas o de la Azufrada** del gasoducto Payoa-Bmanga 8" se deben cerrar las válvulas de seccionamiento Líbano y E1,

quedando fuera de operación 26,5 Km de tubería, es decir el 53.3% de este gasoducto, quedarían operando todos los puntos de salida haciendo funcional la interconexión de los loops de acuerdo con la Figura 40. Los datos de simulación en HYSYS son:

Tabla 27. Datos operacionales en caso de falla a nivel geotécnico del sector Canoas/Azufrada del gasoducto Payoa-Bmanga 8”.

Estación	Presión (psia)
Gibraltar	1,115
Alto Virgen	954
Labateca	977
Chitagá	850
Palenque	951
Águilas	942
Aeropuerto	922
Líbano	948
Centenario	945
E1	494
Pénjamo	584
Rodeo	488
Galán	379.8
Flujo máx Galán 25,92 MMSCFD	

Figura 39. Esquema operatividad gasoductos de PROMIORIENTE si falla el tramo Palocoposo/Azufrada 1.

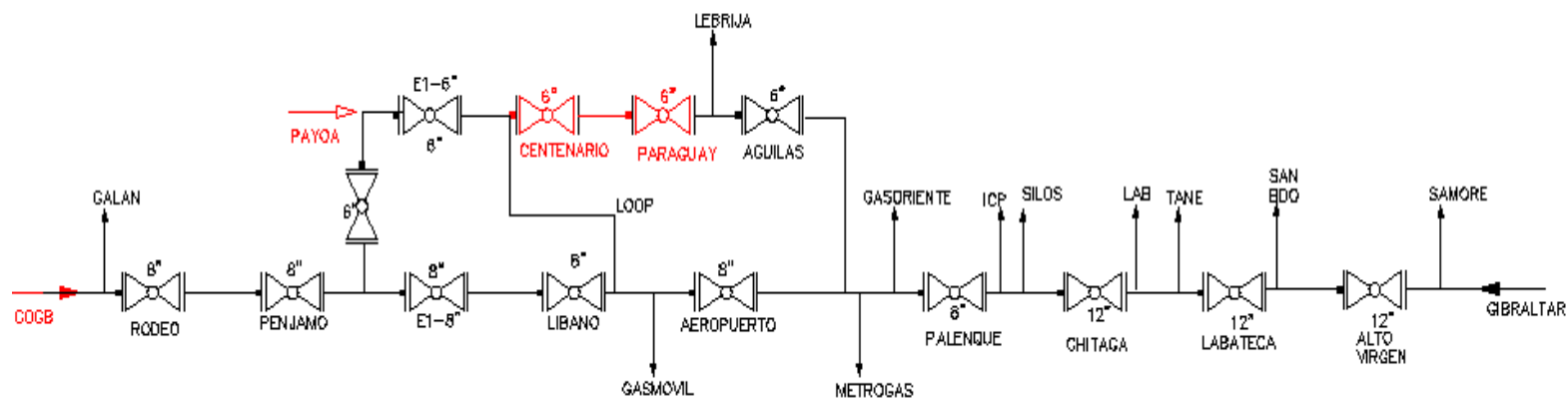
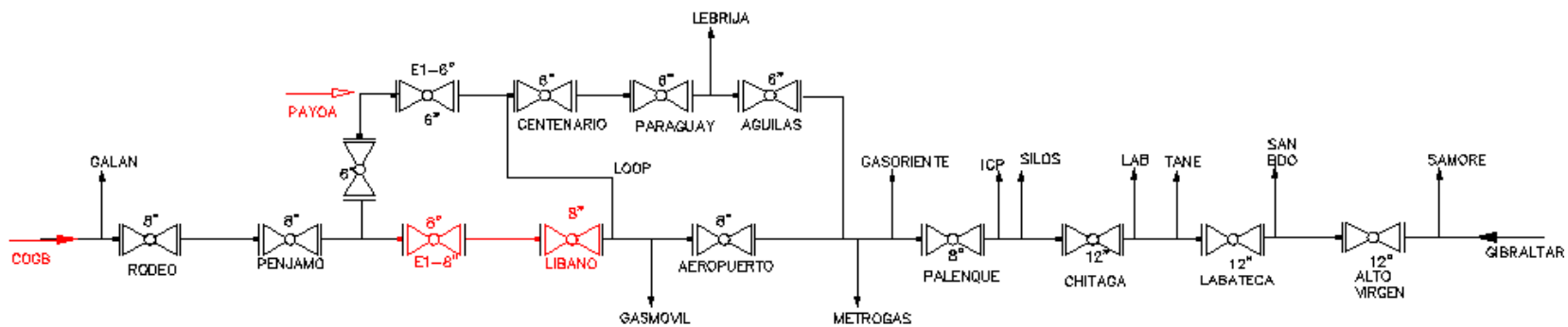


Figura 40. Esquema operatividad gasoductos de PROMIORIENTE si falla el tramo Canoas y/o Azufrada.



Para la simulación y análisis de estos sectores críticos del tramo Gibraltar-Chitagá se tienen en cuenta las siguientes condiciones operacionales:

- El sistema de gasoductos opera a contraflujo, por lo tanto ingresa gas por el punto COGB (gas Ballenas), y tomaremos como condición crítica la más baja presión de entrada que se ha dado en los pocos escenarios en que el sistema opera en contraflujo, que corresponde a 850 psi y 78 °F.
- Simularemos el Escenario 1, teniendo en cuenta que cuando se presenta la condición de no operabilidad del tramo Gibraltar-Bmanga no se hace entrega al punto de salida Galán.

Para el caso de **falla en el sector de Cedeño y/o La Mesa** del gasoducto Gibraltar-Chitagá se deben cerrar las válvulas de seccionamiento Gibraltar y Alto Virgen, quedando fuera de operación la 25,3 Km de tubería, es decir el 29% de este gasoducto, y sin operar el punto de salida Samoré de acuerdo con la Figura 41. Los datos de simulación en HYSYS son:

Tabla 28. Datos operacionales en caso de falla a nivel geotécnico del sector Cedeño del gasoducto Gibraltar-Chitagá”.

Estación	Presión (psia)
COGB	865
Rodeo	797
Pénjamo	707
E1	615
Centenario	585
Líbano	537
Aeropuerto	533
Aguilas	542
Palenque	526
Chitagá	416
Der. Labateca	452
Der. San Bdo	444

Para el caso de **falla en el sector Chona** del gasoducto Gibraltar-Chitagá se deben cerrar las válvulas de seccionamiento Alto Virgen y Labateca, quedando fuera de operación la 33,5 Km de tubería, es decir el 38.4% de este gasoducto, y sin operar los puntos de salida Samoré, y San Bdo, de acuerdo con la Figura 42. Los datos de simulación en HYSYS son:

Tabla 29. Datos operacionales en caso de falla a nivel geotécnico del sector Chona del gasoducto Gibraltar-Chitagá”.

Estación	Presión (psia)
COGB	865
Rodeo	792
Pénjamo	696
E1	591
Centenario	560
Líbano	502
Aeropuerto	508
Águilas	517
Palenque	499
Chitagá	394
Labateca	428
Der. Labateca	428

En este caso, el punto de salida Samoré podría operar con el gas de empaquetamiento del tramo Alto Virgen-Gibraltar, el cual calculamos con la Ecuación Clinedinst:

$$V_0 = \frac{ALz_0T_0 P_c \int_0^{P_r,1} \left(\frac{P_r}{z}\right)^2 dP_r - \int_0^{P_r,2} \left(\frac{P_r}{z}\right)^2 dP_r}{P_oT \int_0^{P_r,1} \left(\frac{P_r}{z}\right) dP_r - \int_0^{P_r,2} \left(\frac{P_r}{z}\right) dP_r}$$

A = Área de la sección transversal de la tubería.

L= Longitud del tramo de tubería.

Vo, Zo, To, Po = Volumen, factor de compresibilidad, temperatura y presión a condiciones estándar.

Pc y Pr = presión crítica y presión a condiciones normales del gas.

Tabla 30. Cálculo empaquetamiento tramo Alto Virgen-Gibraltar.

Tramo	Vfísico pie ³	Presión Inicial (psig)	Temp Inicial °F	Patm (psia)	Presión Final (psig)	Temp Final °F	Pc Mezcla Gas (psia)	Tc Mezcla Gas °R	Line Pack kPC
GIBRALTAR- ALTO VIRGEN	67,966.4	1,010	102.0	13.73	863	58.0	940.0	385.00	4,939.67
GIBRALTAR- ALTO VIRGEN	67,966.4	440	102.0	13.73	250	58.0	940.0	385.00	1,694.57

Lo que indica que habría una disponibilidad de 3,245 KPC hasta que la presión caiga a 250 psi en Alto Virgen, y teniendo en cuenta el consumo diario de 1,2 KPCD en Samoré, habría gas por 7,4 años.

Figura 41. Esquema operatividad gasoductos de PROMIORIENTE si falla el tramo Cedeño y/o La Mesa

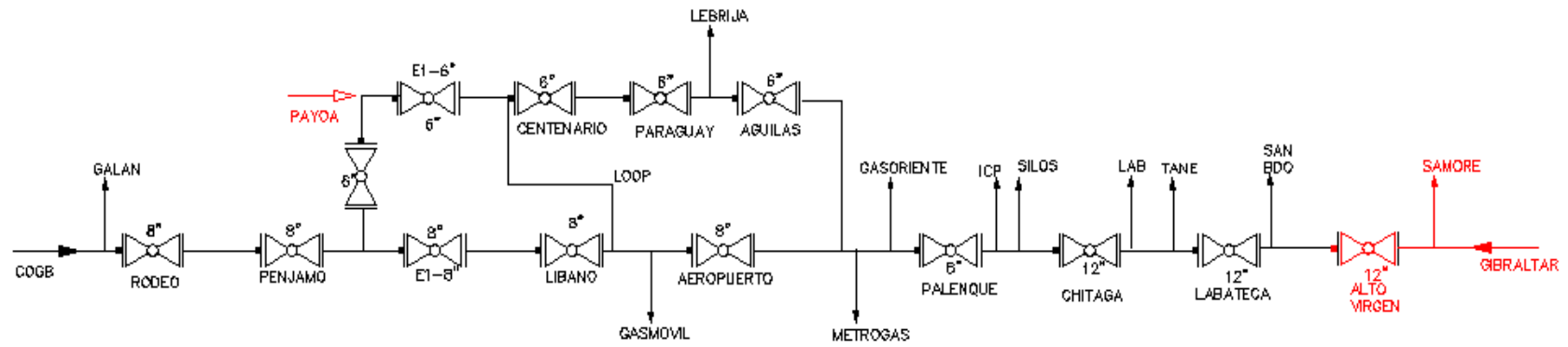
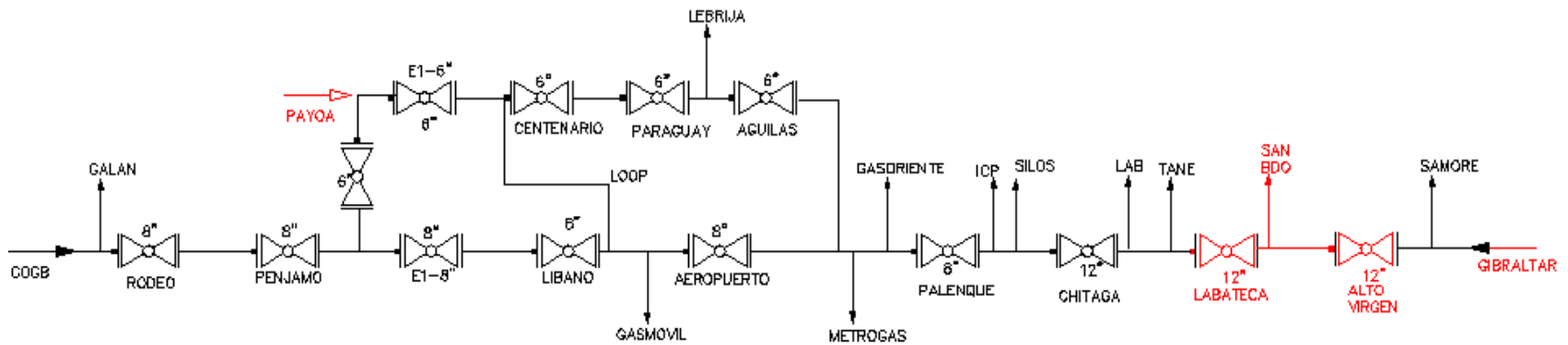


Figura 42. Esquema operatividad gasoductos de PROMIORIENTE si falla el tramo Chona.



5. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS.

5.1 CONDICIONES CRÍTICAS CONSUMO REMITENTES

Con base en las simulaciones en la hora pico (11 am – 12:30 pm) del sistema de transporte de PROMIORIENTE, bajo la condición de una presión promedio de entrada de 1.115 psia en Gibraltar se pueden mantener los altos consumos de los puntos de salida, a excepción de Galán, cuyo flujo no debe superar los 32 MMSCFD, dado que ya se presentan caídas de presión por debajo de las 375 psia contractuales.

En el caso en que la presión de entrega en Gibraltar se 1.200 psia en el escenario de la hora pico se podría subir el consumo en Galán máximo a 35,5 MMSCFD.

5.2 CONDICIONES CRÍTICAS OPERACIONALES Y DE CALIDAD DEL GAS

Como solución a la condensación de HC pesados y del agua contenida en el gas Gibraltar presentada en aguas abajo de los sistemas de regulación de los deferentes remitentes, se plantea la instalación de un sistema de calentamiento, como el caso de los calentadores catalíticos, que usan una pequeña parte del flujo de gas para operar.

En HYSYS se define una temperatura aguas arriba del sistema de regulación de 45 °F, de acuerdo con los acuerdos establecidos en los contratos de transporte aceptados entre las Partes (PROMIORIENTE y los remitentes), considerando una caída de 2 psi en el calentador, se hace el cálculo de la potencia requerida y del flujo de calor, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 31. Cálculo sistema de calentamiento en puntos de salida del sistema de transporte

	CAUDAL (MMSCFD) Flujo instant Máx.	PRESION AGUAS ARRIBA CALENT (psia)	TEMP. AGUAS ARRIBA CALENT (°F)	TEMPER AGUAS ABAJO CALENT (°F)	TEMPER. AGUAS ABAJO REGULAD (°F)	PRESION AGUAS ABAJO REGULAD (PSIG)	POTENC REQUER HYSYS (HP)	HEAT FLOW HYSYS (BTU/h)
DERIV. SAMORE	0.00116	1200	75.96	111	45	74	0.022	55.4
DERIV. LABATECA	0.025	1200	67.3	111	45	74	0.6	1,496.0
DERIV. SAN BDO	0.0027	1200	65.1	111	45	74	0.067	170.0
DERIV. CHITAGA	0.015	1200	56.9	111	45	74	0.45	1,120.0
DERIV. SILOS	0.0043	1200	45.5	111	45	74	0.16	393.0
DERIV. GASORIENTE	19	1200	75.7	100.4	45	274	252	641,700
DERIV. METROGAS-GAZEL	4.5	1200	76	100.4	45	274	59.12	150,400
DERIV. GASMOVIL	0.2	1200	71.8	100.4	45	274	12.3	31,360
DERIV. LEBRIJA	0.3	1200	74.7	100.4	45	274	6.9	17,540
DERIV. GALAN	30	1200	78.5	81.9	45	364	54.2	137,800

En el Anexo Q se ilustra el cálculo del sistema de calentamiento en HYSYS.

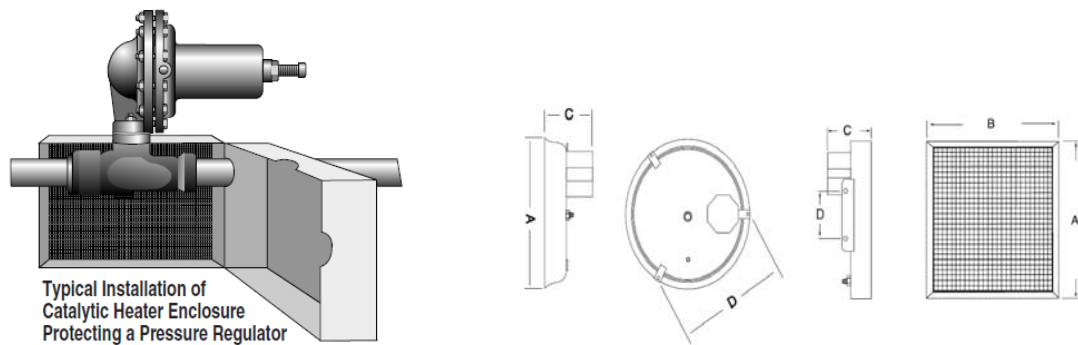
Se hace una selección del sistema de calentamiento con unos calentadores de tipo industrial de marca CATCO CATALYTIC HEATERS COMPANY, escogiéndose el modelo 66 que aplica para todos los sistemas de regulación:

Figura 43. Modelos Calentadores Catalíticos marca CATCO.

Model	8RD	12RD	66	88	612	1012	624	1212	1224	1236	1836	1248	1848	1260	1860	2448	2460	
Nominal Size (Inches)	8Diam	12Dian	6X6	8X8	6X12	10X12	6X24	12X12	12X24	12X36	18X36	12X48	18X48	12X60	18X60	24X48	24X60	
BTU/hr. Input	2500	5000	1500	2667	3000	5000	6000	6000	12000	18000	27000	24000	36000	30000	45000	48000	60000	
Gas Consumption Cu Ft/hr	2.5	5.0	1.5	2.7	3.0	5.0	6.0	6.0	12.0	18.0	27.0	24.0	36.0	30.0	45.0	48.0	60.0	
Starting Amps	12V	5.0	5.0	5.0	8.3	8.3	15.0	8.3	16.6	25.0	30.0	30.0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	120V	0.5	0.5	0.5	0.83	0.83	1.5	0.83	1.67	2.5	2.5	3.75	3.75	3.75	3.75	8.33	8.33	
	240V	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.83	1.25	1.25	1.87	1.87	1.87	1.87	4.16	4.16	
Approx. Weight (lbs.)	4	5	5	5	7	8	10	10	15	20	30	30	40	40	45	45	60	
Dimensions (Inches) with standard junction box	A	8 ¹ / ₂	12	7 ¹ / ₄	9 ¹ / ₄	6 ¹ / ₈	10 ¹ / ₈	6 ¹ / ₈	12 ¹ / ₈	12 ¹ / ₄	18 ¹ / ₄	12 ¹ / ₄	18 ¹ / ₄	12 ¹ / ₄	18 ¹ / ₄	24 ¹ / ₄	24 ¹ / ₄	
	B	N/A	N/A	6 ¹ / ₈	8 ¹ / ₈	12 ¹ / ₈	13 ¹ / ₄	24 ¹ / ₈	12 ¹ / ₈	24 ¹ / ₈	36 ¹ / ₈	36 ¹ / ₈	48 ¹ / ₈	48 ¹ / ₈	60 ¹ / ₈	60 ¹ / ₈	48 ¹ / ₈	60 ¹ / ₈
	C	3 ¹ / ₂	3 ¹ / ₂	3 ¹ / ₂	3 ¹ / ₂	3 ¹ / ₂	3 ¹ / ₂	3 ¹ / ₂	3 ¹ / ₂	3 ¹ / ₂	3 ¹ / ₂	3 ¹ / ₂	3 ³ / ₄	3 ³ / ₄	3 ³ / ₄	3 ³ / ₄	3 ³ / ₄	3 ³ / ₄
	D	6 ¹ / ₂	10	4 ¹ / ₂	4 ¹ / ₂	5	4 ¹ / ₂	5	5	5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Fuente: <http://flousasa.com.ar/es/empresas/catco-catalytic-heater-company.html>

Figura 44. Esquema de los calentadores catalíticos marca CATCO.



Fuente: <http://flousasa.com.ar/es/empresas/catco-catalytic-heater-company.html>

Se recomienda para este sistema de calentamiento:

- Debido a que funciona con el mismo consumo del gas de transporte, se recomienda ubicar la toma de consumo de gas aguas abajo del sistema de medición para que sea medido y facturado por el transportador.
- Ubicarlo aguas arriba del sistema de regulación para evitar que se presente condensación de HC pesados en alguna parte del sistema, especialmente en los sistemas de regulación y medición.
- Que el sistema opere sensando la temperatura del gas a la salida del sistema de regulación, de tal manera que se envíe una señal de activación al PLC para encendido del sistema; esto se hace para que se optimice la energía y el consumo de la misma.
- Que el cableado Heat Trace, se encuentre cubierto por una fibra, con el fin de conservar el calor producido por el cable y la transferencia de calor sea eficiente.

De igual manera con el sistema de calentamiento se previene condensación de agua, la formación de hidratos y la posibilidad de corrosión interna por la acción del CO_2 y H_2S .

5.3 SECTORES CRÍTICOS A NIVEL GEOTÉCNICO

En caso de falla del sector de Palocoposo o la Azufrada 1 del gasoducto Payoa-Bmanga 6", se debe hacer funcional el loop Líbano-Centenario, quedan operando todos los puntos de salida al máximo flujo, a excepción de Galán que se restringe a un flujo instantáneo máximo de 29,9 MMSCFD.

En caso de falla del sector de Canoas o la Azufrada del gasoducto Payoa-Bmanga 8", se debe hacer funcional el loop Líbano-Centenario, quedarían operando todos los puntos de salida al máximo flujo, a excepción de Galán que se restringe a un flujo instantáneo máximo de 25,92 MMSCFD.

En caso de falla de los sectores de Cedeño queda sin operar el punto de salida Samoré y si falla La Mesa queda sin operar San Bdo y Samoré se alimentaría con el empaquetamiento del tramo Alto Virgen-Gibraltar.

Como solución a estos inconvenientes adicional a las obras de geotécnica con sus respectivos monitoreos constantes, y a exponer la tubería al aire libre que genera riesgos por atentados de grupos al margen de la ley y mayores mantenimientos, a disponer de acopios de tubería cercanos a los puntos críticos, que igualmente me generan altos costos de reparación, pérdida de ingresos por no estar operativo el gasoducto y mayores tiempos de reparación, se plantea el uso de tubería plástica reforzada diseñada y construida bajo la norma API RP 15S ya sea de manera temporal, mientras se realizan los trabajos de reparación, pero que me permiten seguir operando los gasoductos o de manera definitiva permitiéndome soportar los movimientos de inestabilidad de mejor manera que una tubería de acero.

Composición de las capas de la tubería plástica: Capa interior de Nylon y Forton, Capa intermedia de refuerzo de keblar o fibra de aramida (resistente a altas temperaturas, le proporciona su capacidad estructural de carga y resistencia a la tensión y a la explosión) y una capa exterior de Polipropileno resistente a diferentes medios, a la abrasión y proporciona estabilidad mecánica alta. Por sus

capas genera baja pérdida de temperatura por transferencia de calor; menor peso que el acero.

Figura 45. Capas de la tubería plástica reforzada



Fuente: <https://prezi.com/ipmgbfasyitd/imantt-ltda/>

Propiedades: Resistente a la corrosión interna y externa, a fluidos corrosivos de terminación de pozos, al CO₂, H₂S del yacimiento, a ambientes ácidos con HCl y H₂SO₄, en cualquier concentración, a aditivos anticorrosivos, y sales minerales, por lo tanto no requiere de un sistema de protección catódica o inhibidores de corrosión ni de mantenimiento.

Baja permeabilidad al agua, HC, H₂S, CO₂, resistencia a altas temperaturas hasta de 150 °F, altamente flexible, mínima pérdida de presión por fricción lo que mejora la capacidad de flujo.

Facilidad y economía de transporte e instalación, inclusive en zonas irregulares y anegadas (inundadas) y varios tipos de terrenos. El transporte se hace con carretes de madera desechables.

Menor costo de adquirir que la tubería de acero y su vida útil es mayor (50 años si es enterrada) y el sistema de conexión es muy similar al de las mangueras de alta presión (prensados o bridadas)

Rango de operación de presión entre 500 a 4.000 psig cumpliendo con las normas y códigos: ASTM D3350, D1598, D2292, D2513, D2122 y D1599.

Figura 46. Transporte y flexibilidad de la tubería plástica reforzada



Fuente: <https://prezi.com/ipmgbfasyitd/imantt-ltda/>

Figura 47. Sistema de conexión de la tubería plástica reforzada



Fuente: <https://prezi.com/ipmgbfasyitd/imantt-ltda/>

El máximo diámetro nominal para estas tuberías es de 6", y seleccionamos del fabricante Pipelife la tubería RPL 1500 con diámetro 6", para un sistema con una Máxima Presión de Operación de 1.200 psia.

Figura 48. Catálogo de selección y propiedades de la tubería plástica reforzada-Pipelife.

GAMA DE PRODUCTOS		RLP 750	RLP 1000			RLP 1500			
DIÁMETRO NOMINAL		4	3	4	6	2	3	4	6
PRESIÓN DE DISEÑO (LCL 20 años/150F según API RP 155 / ASTM2992-B)	[psi]	1125	1500	1500	1500	2250	2250	2250	2250
PRESIÓN MÁXIMA RECOMENDADA DE OPERACIÓN	[psi]	750	1000	1000	1000	1500	1500	1500	1500
TENSIÓN AXIAL MÁXIMA PERMITIDA	[Lbs.]	5310	3540	5310	8818	2212	3540	5310	8818
DIÁMETRO EXTERIOR	["]	4.92	3.85	4.92	6.85	2.79	3.85	5.06	6.85
DIÁMETRO INTERNO	["]	3.78	2.87	3.62	5.24	1.89	2.87	3.62	5.24
DIÁMETRO INTERNO A PRESIÓN DE TRABAJO	["]	4.06	3.08	3.89	5.63	2.03	3.09	3.89	5.63
PESO EN VACÍO	[Lbs./ft.]	3.0	2.0	3.3	6.0	1.3	2.5	4.0	7.0
RADIO MÍNIMO DE CURVATURA (EN ALMACÉN)	[ft.]	2'11"	2'11"	2'11"	3'10"	2'11"	2'11"	2'11"	3'10"
RADIO MÍNIMO DE CURVATURA (EN SERVICIO)	[ft.]	7'	5'	7'	12'	2'11"	5'	7'	10'
LONGITUD DE BOBINA	[ft.]	1000	1800	1000	500	2400	1800	1000	400
TEMPERATURA MÁXIMA DE OPERACIÓN	[°F]	150°F							
TEMPERATURA MÍNIMA DE OPERACIÓN	[°F]	-40°F							
COEFICIENTE DE FLUJO HAZEN WILLIAMS		150							
DARCY WEISBACH RUGOSIDAD DE SUPERFICIE EQUIVALENTE	["]	0.00006"							

INSTALADA EN SUPERFICIE	20 años			
ENTERRADA	50 años			
RADIO MÍNIMO DE CURVATURA				
EN ALMACÉN	1.25 m / 4'1.2"			
EN SERVICIO	3.00 m / 9'10.1"			
PRUEBA DE PRESIÓN				
PRESIÓN MÁXIMA EN HIDROTEST	195 Bar / 2828 psi	195 Bar / 2828 psi	195 Bar / 2828 psi	195 Bar / 2828 psi
EMBALAJE				
LONGITUD DE BOBINA	220 m / 721'			
DIMENSIONES DE LA BOBINA (l x h x w)	400 x 420 x 146 cm			
PESO POR BOBINA	1940 kg / 4273 Lbs	2380 kg / 5242 Lbs	1940 kg / 4273 Lbs	2380 kg / 5242 Lbs

Fuente: <https://prezi.com/ipmgbfasytid/imantt-ltda/>

6. CONCLUSIONES

La importancia de conocer las condiciones geométricas, geográficas y ambientales del trazado de los gasoductos me permiten hacer una mejor predicción del perfil de presiones y temperaturas operacionales de un sistema de transporte de hidrocarburos, ya que son parámetros muy influyentes en el cálculo, por ende asumir unas condiciones ambientales promedias para todo un sistema nos conlleva a un error considerable, teniendo en cuenta que éstas son muy variables a lo largo del trazado de los gasoductos de PROMIORIENTE.

En los modelamientos es muy influyente tanto en los perfiles de presión y temperatura operacionales, la definición del fluido (gas) a modelar, por ende no basta con conformarnos con una cromatografía promedio del gas, sino indagar las variaciones en su composición química a lo largo de la operación y definir un fluido que pueda afectar estos perfiles de presión y temperatura considerablemente, además de acarrear potenciales problemas de tipo operacional.

Las fracciones pesadas son muy considerables en la definición de la envolvente de fases de los gases, porque afectan sus propiedades y su calidad, por ende contar con una cromatografía extendida y precisa me permite predecir de mejor manera el fluido a modelar.

Los modelos EOS Peng Robinson o SRK disponibles y recomendadas por los simuladores para predecir las envolventes de fases de los gases, son muy confiables y acertados con ciertos ajustes.

Del análisis realizado se puede concluir que las variaciones en caídas de presión cuando se usan diferentes modelos predictivos de flujo (Begg & Brill mejorada, Gregory, Aziz, Mandhane y OLGAS 2P) en tuberías no presentan mayores

diferencias y que se debe tener cuidado en usar el modelo Gregory, Aziz, Mandhane para ciertos grados de inclinación de tuberías.

Dentro de los modelos de flujo ofrecidos por HYSYS no se cuenta con las típicas correlaciones AGA, Colebrookk, Weymouth, Panhandle A y B, IGT para la simulación de gasoductos, siendo más limitada esta herramienta para este tipo de modelamientos, no obstante la simulaciones realizadas en HYSYS dan valores muy similares a las condiciones reales de operación de PROMIORIENTE, con errores máximos de 7% en presión y 9% en temperatura, que permiten hacer simulaciones de manera confiable.

Las condiciones operacionales se mantienen controladas por parte de PROMIORIENTE con sus remitentes, y aunque las curvas de demanda son en su mayoría constantes, a excepción de la hora pico de Bucaramanga y su Área Metropolitana, es considerable la caída de presión bajo esta condición, la cual se considera crítica en la operación.

De acuerdo con las simulaciones en las condiciones críticas que corresponden a la hora pico en la ciudad de Bucaramanga en caso de falla del tramo Palocoposo/Azufrada del gasoducto Payoa-Bmanga 6" el flujo máximo en Galán debería ser 29,9 MMSCFD, mientras si falla el tramo Canoas/Azufrada del gasoducto Payoa-Bmaga 8" el flujo máximo en el punto de salida Galán sería 25,92 MMSCFD para poder cumplir con las condiciones contractuales de presiones.

A lo largo de los gasoductos de PROMIORIENTE no se presentan condensados de HC ni agua bajo ninguna de las condiciones de operación actuales, dándose la temperatura del gas más baja en el sector de Silos en 45.5 °F, no obstante si es posible técnicamente la formación de condensados de HC y agua en los puntos de salida por la combinación de la expansión del gas en los sistemas de regulación y

en muchos casos por las bajas temperaturas de entrega del gas por las condiciones ambientales, que pueden ser un problema latente y en potencia para afectar la integridad y funcionalidad de la tubería y equipos de los remitentes.

7. RECOMENDACIONES

Se recomienda, teniendo creado el modelo de los gasoductos de PROMIORIENTE en HYSYS, implementar la aplicación disponible actualmente en el software HYSYS para simular el modelo en estado dinámico, con otras correlaciones de flujo como AGA, Colebrookk, Weymouth, Panhandle A y B, IGT o con un modelo propio definido que se ajuste de manera más precisa a las condiciones reales tanto estacionarias como dinámicas del sistema.

Es importante tener un estudio de riesgos y vulnerabilidad geotécnica en los ductos y un análisis de integridad, que nos permitan visualizar los puntos más críticos y vulnerables que puedan presentar potencialmente afectaciones operacionales, de seguridad e impactos ambientales, en caso de presentarse fallas.

Se recomienda la instalación de Tuberías plásticas en las zonas de inestabilidad geotécnica o en los caso de roturas de tramos de tubería para poder continuar con el transporte de gas, y por ende con los ingresos económicos de la compañía.

Se recomienda seguir con el monitoreo de la composición del gas proveniente del campo Gibraltar, dado que es muy variable, y en ocasiones se podrían incumplir las condiciones exigidas en RUT.

Se recomienda la instalación de sistemas de calentamiento en los puntos de salida de los gasoductos de PROMIORIENTE para evitar la formación de condensados HC y de agua y por ende evitar las afectaciones relacionadas con este problema operacional.

BIBLIOGRAFIA

- BOLAÑOS GUTIERREZ, Carlos Andrés y PAEZ CAMACHO, Oscar Mauricio. Análisis de sensibilidad de los parámetros que influyen en la transferencia de calor en gasoductos. Bucaramanga, 2006, p. Trabajo de grado (Ingeniero de Petróleos).Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos.
- PINEDA GÓMEZ, César Augusto. Evaluación del impacto de la temperatura ambiente sobre la presencia de condiciones críticas de flujo en las líneas de transporte de gas natural del sistema colombiano. Bucaramanga, 2005, p. Trabajo de grado (Ingeniero de Petróleos).Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos.
- COMISIÓN DE REGULACIÓN Y ENERGÍA DEL MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Reglamento Único de Transporte de Gas Natural. Bogotá.
- THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. ASME B31.8 Gas Transmission and Distribution Piping System. New York: ASME, Revisión 2013.
- BRENNER, Sarah Jane; SACHEDINA, Muhammad y STERNON, Yannick. Tutorial ASPEN HYSYS Versión 2.4., 2010, Canadá.
- GAS PROCESSORS SUPPLIERS ASSOCIATION. Engineering Data Book. Twelfth edition., Tulsa Oklahoma 74145, GPSA, 2004.

- DIAZ QUIMBAY, Jenny Alejandra y QUIROGA SIERRA, Jency Bibiana. Modelamiento de flujo compresible por el método de volúmenes. Bucaramanga, 2010, p. Trabajo de grado (Ingeniero de Petróleos).Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos.
- GARZON NAVARRO, Edgar Alexander y HERRERA RONDON, Ronald Fabián. Análisis composicional y de parámetros empíricos en la predicción de la condensación de líquidos hidrocarburos en líneas de transporte de gas natural, aplicado al gasoducto colombiano. Bucaramanga, 2004, p. Trabajo de grado (Ingeniero de Petróleos).Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos.
- ÇENGEL, Yunus A., Transferencia de Calor; traducción, José Hernán Pérez., 1a ed. en español, Mexico. McGraw-Hill, 2004, Mexico, 2004.
- CAMPBELL, J. "Technical Assistance Service for the Design, Operation, and Maintenance of Gas Plant". 2003. Cap 4.
- ARNOLD, K. STEWART, M., Design of Oil Handling Systems and Facilities, Surface Productions Operations Volumen 2, 2da edición, Gulf Publishing, Houston, Texas, 1999; Capitulo 4.
- NACE SP0106-2006, Control of Internal Corrosion in Steel Pipelines and Piping Systems Houston, Texas, 2006.
- KATZ, DONALD. Handbook of Natural Gas Transmission and Processing, Mc Graw Hill, 1959.

- ANSELMÍ, RUTH. Revisión de los Métodos y Correlaciones para el Análisis en líneas de Transporte con Flujo Multifásico del Departamento de Procesos de INELECTRA S.A. C.A.

- TRANSORIENTE S.A. E.S.P. Levantamiento Topográfico, Estudios de Suelos y de Impacto Ambiental y resultados Inspección Interna de los gasoductos.

Anexo A. Datos Geométricos y Ambientales del Gasoducto Gibraltar-Chitagá de 12” de diámetro.

No. SEGMENTO	CADENA PISADA PK	ESTACIÓN-CRUCES ESPECIALES	LONGITUD (m)	INCREMENTO DE ALTURA (m)	DIAM. EXT. (in)	DIAM. INT. (in)	ALTURA ABSOLUTA (m)	TEMPERATURA AMBIENTE (°F)	SECTORES GEOTECNICAM CRÍTICOS
0	0+	ESTACION GIBRALTAR-DERIVADORA GIBRALTAR							
1	0+657		657	-91.44	12.75	11.75	519.9	77.7	
2	0+764	AEREO SECTOR DESLIZAMIENTO	107	-6.096	12.75	11.75	513.8	77.7	
3	1+000		236	-14.77	12.75	12.25	499.0	77.9	
	2+000		1,000	-17	12.75	12.25	482.0	78.1	
	2+100		100	-4.2672	12.75	12.25	477.7	78.1	CEDEÑO
	2+044		-56	-4.572	12.75	11.938	473.2	78.2	
4	2+088	CRUCE AEREO FINCA LA ESMERALDA	44	-3.048	12.75	11.938	470.1	78.2	
5	2+148		60	-2.4384	12.75	11.75	467.7	78.2	
6	2+302	AEREO SECTOR DEL BOTADERO	154	-6.096	12.75	11.75	461.6	78.3	
7	2+976		674	-21.8784	12.75	12.25	439.7	78.5	
	3+929		953	2.1336	12.75	12.25	441.8	78.5	
8	4+088	SECTOR MARCO H PREDIO CARLOS VERA	159	0.6664	12.75	12.09	442.5	78.5	
9	4+119		31	0	12.75	12.25	442.5	78.5	
10	4+162	CRUCE AEREO GIBRALT 2	43	0	12.75	11.938	442.5	78.5	
11	4+609		447	3.048	12.75	12.25	445.5	78.5	
12	4+723	CRUCE AEREO RIO CUBUGON	114	0.9144	12.75	11.75	446.5	78.4	
13	4+976		253	1.5376	12.75	12.25	448.0	78.4	
	5+176		200	7.3152	12.75	12.25	455.3	78.4	
14	5+200	QDA. LA CARBONERA	25	0.9144	12.75	12.25	456.2	78.3	
15	5+239		39	1.524	12.75	12.25	457.8	78.3	
16	5+492	PIEDRAS LASRGAS AEREO	253	13.716	12.75	11.938	471.5	78.2	
17	5+976		484	14.5304	12.75	12.25	486.0	78.0	
	6+976		1,000	24	12.75	12.25	510.0	77.8	
	7+976		1,000	157.3	12.75	12.25	667.3	76.2	
	8+976		1,000	-39.5	12.75	12.25	627.8	76.6	
	9+976		1,000	32.2	12.75	12.25	660.0	76.2	
	10+976		1,000	-12	12.75	12.25	648.0	76.4	
	11+219		243	24.384	12.75	12.25	672.4	76.1	

Anexo A. Datos Geométricos y Ambientales Gasoducto Gibraltar-Chitagá de 12" de diámetro (continuación)

No. SEGMENTO	CADENA PISADA PK	ESTACIÓN-CRUCES ESPECIALES	LONGITUD (m)	INCREMENTO DE ALTURA (m)	DIAM. EXT. (in)	DIAM. INT. (in)	ALTURA ABSOLUTA (m)	TEMPERATURA AMBIENTE (°F)	SECTORES GEOTECNICAM CRÍTICOS
18	11+249	QDA. ACEVEDO	30	3.048	12.75	11.75	675.4	76.1	
19	11+366		117	12.192	12.75	12.25	687.6	76.0	
20	11+441	QDA. LA CHINA	75	7.62	12.75	11.75	695.2	75.9	
21	11+686		245	26.8224	12.75	12.25	722.1	75.6	
22	11+686	DERIVACION SAMORE	-	0			722.1	75.6	
23	11+976		290	29.9336	12.75	12.25	752.0	75.3	
	12+976		1,000	198	12.75	12.25	950.0	73.2	
	13+976		1,000	251	12.75	12.25	1201.0	70.6	
	14+976		1,000	71	12.75	12.25	1272.0	69.9	
	15+976		1,000	46	12.75	12.25	1318.0	69.4	
	16+781		805	25.908	12.75	12.25	1343.9	69.2	
24	16+816	QDA. SANTA MARIA	35	1.2192	12.75	11.75	1345.1	69.2	
25	16+976		160	5.0728	12.75	12.25	1350.2	69.1	
	17+976		1,000	-193.1	12.75	12.25	1157.1	71.1	
	18+695		719	2.7432	12.75	12.25	1159.8	71.1	
26	18+776	AREO RIO NEGRO	81	0.3048	12.75	11.75	1160.1	71.1	
27	18+976		200	0.852	12.75	12.25	1161.0	71.1	
	19+976		1,000	1.9	12.75	12.25	1162.9	71.0	
	20+976		1,000	64.3	12.75	12.25	1227.2	70.4	
	21+115		139	28.6512	12.75	12.25	1255.9	70.1	
28	21+151	QDA. LAS PALMAS	36	7.3152	12.75	12.25	1263.2	70.0	
29	21+976		825	170.3336	12.75	12.25	1433.5	68.2	
	22+276		300	12.192	12.75	12.25	1445.7	68.1	
	22+576		300	12.192	12.75	12.25	1457.9	68.0	LA MESA
	22+976		400	18.916	12.75	12.25	1476.8	67.8	
	23+636		660	268.224	12.75	12.25	1745.0	65.0	
30	23+671	QDA. LA PIAZOLA	35	14.3256	12.75	11.75	1759.3	64.9	
31	23+973		302	93.7704	12.75	12.25	1853.1	63.9	
32	24+079	MARCO H LA PIAZOLA	106	30.48	12.75	12.25	1883.6	63.6	

Anexo A. Datos Geométricos y Ambientales Gasoducto Gibraltar-Chitagá de 12" de diámetro (continuación)

No. SEGMENTO	CADENA PISADA PK	ESTACIÓN-CRUCES ESPECIALES	LONGITUD (m)	INCREMENTO DE ALTURA (m)	DIAM. EXT. (in)	DIAM. INT. (in)	ALTURA ABSOLUTA (m)	TEMPERATURA AMBIENTE (°F)	SECTORES GEOTECNICAM CRÍTICOS
33	24+976		897	157.6	12.75	12.25	2041.2	62.0	
	25+287		311	54.864	12.75	12.25	2096.1	61.4	
34	25+287	SECCION. ALTO DE LA VIRGEN	-	0			2096.1	61.4	
35	25+976		689	111.236	12.75	12.25	2207.3	60.3	
	26+976		1,000	-0.3	12.75	12.25	2207.0	60.3	
	27+976		1,000	-253.2	12.75	12.25	1953.8	62.9	
	28+976		1,000	-324.4	12.75	12.25	1629.4	66.2	
	29+476		500	-18.288	12.75	12.25	1611.1	66.4	
	29+730		254	-14.6304	12.75	12.25	1596.5	66.6	
36	29+754	QDA. LA PETRA	24	-1.2192	12.75	11.75	1595.3	66.6	
37	29+976		222	-9.2624	12.75	12.25	1586.0	66.7	
	30+976		1,000	105.6	12.75	12.25	1691.6	65.6	
	31+804		828	228.6	12.75	12.25	1920.2	63.2	
38	31+839	RÍO SARARITO	35	9.7536	12.75	11.75	1930.0	63.1	
39	31+976		137	36.8464	12.75	12.25	1966.8	62.7	
	32+470		494	70.104	12.75	12.25	2036.9	62.0	
	32+976		506	81.196	12.75	12.25	2118.1	61.2	
	33+976		1,000	-129.4	12.75	12.25	1988.7	62.5	
	34+976		1,000	-190.5	12.75	12.25	1798.2	64.5	
	35+976		1,000	-29.2	12.75	12.25	1769.0	64.8	
	36+976		1,000	-156.6	12.75	12.25	1612.4	66.4	
	37+893		917	98.7552	12.75	12.25	1711.2	65.4	
40	37+921	RÍO COLORADO	28	3.048	12.75	12.25	1714.2	65.3	
41	37+976		55	5.8968	12.75	12.25	1720.1	65.3	
	38+976		1,000	150.4	12.75	12.25	1870.5	63.7	
	39+976		1,000	-23.9	12.75	12.25	1846.6	64.0	
	40+976		1,000	-166.7	12.75	12.25	1679.9	65.7	
	41+976		1,000	-307.4	12.75	12.25	1372.5	68.9	
	42+543		567	225.552	12.75	12.25	1598.1	66.5	

Anexo A. Datos Geométricos y Ambientales Gasoducto Gibraltar-Chitagá de 12" de diámetro (continuación)

No. SEGMENTO	CADENA PISADA PK	ESTACIÓN-CRUCES ESPECIALES	LONGITUD (m)	INCREMENTO DE ALTURA (m)	DIAM. EXT. (in)	DIAM. INT. (in)	ALTURA ABSOLUTA (m)	TEMPERATURA AMBIENTE (°F)	SECTORES GEOTECNICAM CRÍTICOS
42	42+568	QDA. EL ORO	25	9.7536	12.75	11.75	1607.8	66.4	
43	42+976		408	167.3944	12.75	12.25	1775.2	64.7	
	43+976		1,000	54.5	12.75	12.25	1829.7	64.2	
	44+976		1,000	-141.7	12.75	12.25	1688.0	65.6	
	45+976		1,000	-86.5	12.75	12.25	1601.5	66.5	
	46+976		1,000	72.5	12.75	12.25	1674.0	65.8	
	47+406		430	-106.68	12.75	12.25	1567.3	66.9	
44	47+406	DERIV. SAN BRDO DE BATA	-	0			1567.3	66.9	
45	47+976		570	-116.52	12.75	12.25	1450.8	68.1	
	48+534		558	-45.72	12.75	12.25	1405.1	68.5	
46	48+593	RÍO VALEGRA	59	-4.572	12.75	11.75	1400.5	68.6	
47	48+976		383	-34.508	12.75	12.25	1366.0	68.9	
	49+976		1,000	242.1	12.75	12.25	1608.1	66.4	
	50+976		1,000	12.1	12.75	12.25	1620.2	66.3	
	51+976		1,000	-14.4	12.75	12.25	1605.8	66.5	
	52+377		401	-33.528	12.75	12.25	1572.3	66.8	
48	52+478	TUBO DESTAPADO	101	-7.62	12.75	12.25	1564.7	66.9	
49	52+615		137	-12.192	12.75	12.25	1552.5	67.0	
50	52+654	TUBO DESTAPADO	39	-1.524	12.75	12.25	1550.9	67.0	
51	52+976		322	-25.936	12.75	12.25	1525.0	67.3	
	53+976		1,000	-89.8	12.75	12.25	1435.2	68.2	
	54+976		1,000	188.9	12.75	12.25	1624.1	66.3	
	55+176		200	21.336	12.75	12.25	1645.4	66.1	
	55+376		200	21.336	12.75	12.25	1666.8	65.8	CHONA
	55+976		600	47.228	12.75	12.25	1714.0	65.3	
	56+976		1,000	53.6	12.75	12.25	1767.6	64.8	
	57+976		1,000	-210.2	12.75	12.25	1557.4	67.0	
58+763		787	-146.304	12.75	12.25	1411.1	68.5		
52	58+763	SECC. LABATECA	-	0			1411.1	68.5	

Anexo A. Datos Geométricos y Ambientales Gasoducto Gibraltar-Chitagá de 12” de diámetro (continuación)

No. SEGMENTO	CADENA PISADA PK	ESTACIÓN-CRUCES ESPECIALES	LONGITUD (m)	INCREMENTO DE ALTURA (m)	DIAM. EXT. (in)	DIAM. INT. (in)	ALTURA ABSOLUTA (m)	TEMPERATURA AMBIENTE (°F)	SECTORES GEOTECNICAM CRÍTICOS
53	58+976		213	-40.496	12.75	12.25	1370.6	68.9	
	59+701		725	301.752	12.75	12.25	1672.4	65.8	
54	59+701	DERIVADORA LABATECA	-	0			1672.4	65.8	
55	59+976		275	114.548	12.75	12.25	1786.9	64.6	
	60+089		113	27.432	12.75	12.25	1814.3	64.3	
56	60+123	AEREO PROTECCION EN COSTALES	34	9.144	12.75	12.25	1823.5	64.2	
57	60+976		853	242.524	12.75	12.25	2066.0	61.7	
	61+976		1,000	-83.9	12.75	12.25	1982.1	62.6	
	62+976		1,000	-64.3	12.75	12.25	1917.8	63.2	
	63+976		1,000	-68.7	12.75	12.25	1849.1	64.0	
58	64+976		1,000	11.2	12.75	12.25	1860.3	63.8	
	65+976		1,000	419.8	12.75	12.25	2280.1	59.5	
	66+976		1,000	-94.9	12.75	12.25	2185.2	60.5	
	67+976		1,000	-57.6	12.75	12.25	2127.6	61.1	
	68+976		1,000	-206.4	12.75	12.25	1921.2	63.2	
	69+976		1,000	129.1	12.75	12.25	2050.3	61.9	
	70+602		626	167.64	12.75	12.25	2217.9	60.1	
59	70+679	CRUCE AEREO CHERELA	77	18.288	12.75	12.09	2236.2	60.0	
60	70+976		297	144.372	12.75	12.25	2380.6	58.5	
	71+503		527	-141.732	12.75	12.25	2238.9	59.9	
61	71+503	DERIVADORA TANE	-	0			2238.9	59.9	
62	71+556		53	-16.764	12.75	12.25	2222.1	60.1	
63	71+593	QDA. TANE	37	-9.7536	12.75	11.75	2212.4	60.2	
64	71+976		383	-104.0504	12.75	12.25	2108.3	61.3	
	72+976		1,000	-21.3	12.75	12.25	2087.0	61.5	
	73+976		1,000	80.8	12.75	12.25	2167.8	60.7	
	74+976		1,000	41.2	12.75	12.25	2209.0	60.2	
	75+976		1,000	-93.8	12.75	12.25	2115.2	61.2	
	76+619		643	53.0352	12.75	12.25	2168.2	60.7	

**Anexo A. Datos Geométricos y Ambientales del Gasoducto Gibraltar-Chitagá de 12" de diámetro
(continuación)**

No. SEGMENTO	CADENA PISADA PK	ESTACIÓN-CRUCES ESPECIALES	LONGITUD (m)	INCREMENTO DE ALTURA (m)	DIAM. EXT. (in)	DIAM. INT. (in)	ALTURA ABSOLUTA (m)	TEMPERATURA AMBIENTE (°F)	SECTORES GEOTECNICAM CRÍTICOS
65	76+714	CRUCE AEREO PELUCO	95	7.9248	12.75	12.09	2176.2	60.6	
66	76+976		262	21.54	12.75	12.25	2197.7	60.4	
	77+868		892	-304.8	12.75	12.25	1892.9	63.5	
	77+925		57	-12.192	12.75	12.09	1880.7	63.6	
	77+976		51	-9.708	12.75	12.25	1871.0	63.7	
	78+976		1,000	87.3	12.75	12.25	1958.3	62.8	
	79+976		1,000	47.7	12.75	12.25	2006.0	62.3	
	80+976		1,000	27	12.75	12.25	2033.0	62.1	
	81+976		1,000	32	12.75	12.25	2065.0	61.7	
	82+976		1,000	-20.3	12.75	12.25	2044.7	61.9	
	83+247		271	88.392	12.75	12.25	2133.1	61.0	
67	83+275	QDA. ACORA	28	9.144	12.75	12.25	2142.2	60.9	
68	83+976		701	232.764	12.75	12.25	2375.0	58.5	
	84+976		1,000	115	12.75	12.25	2490.0	57.3	
	84+998		22	2.1336	12.75	12.25	2492.1	57.3	
69	84+998	DERIVADORA CHITAGA	-	0		2492.1	57.3		
70	85+224		226	20.4216	12.75	12.25	2512.6	57.1	
71	85+254	RIO CHITAGA	30	2.7432	12.75	11.75	2515.3	57.1	
72	85+976		722	65.7016	12.75	12.25	2581.0	56.4	
	86+976		1,000	226	12.75	12.25	2807.0	54.1	
	87+165		189	39.624	12.75	12.25	2846.6	53.6	
73	87+165	ESTAC. INTERM. CHITAGA				2846.6	53.6		

Anexo B. Datos Geométricos y Ambientales del Gasoducto Chitagá-Bucaramanga de 12" de diámetro.

No. SEGMENTO	CADENA PISADA PK	ESTACIÓN-CRUCES ESPECIALES	LONGITUD (m)	INCREMENTO DE ALTURA (m)	DIAM. EXT. (in)	DIAM. INT. (in)	ALTURA ABSOLUTA (m)	TEMPERATURA AMBIENTE (°F)	TIPO DE AMBIENTE	SECTORES GEOTECNICAM CRÍTICOS
0	0+	ESTACION CHITAGA							Air	
1	0+835		835	203.976	12.75	12.25	3050.6	51.5	Stone	
	1+835		1000	139.6	12.75	12.25	3190.2	50.1	Stone	
	2+835		1000	-251.5	12.75	12.25	2938.7	52.7	Stone	
	3+835		1000	-192.7	12.75	12.25	2746	54.7	Stone	
	4+835		1000	45.8	12.75	12.25	2791.8	54.2	Stone	
	5+835		1000	-27.8	12.75	12.25	2764	54.5	Stone	
	6+835		1000	2.9	12.75	12.25	2766.9	54.5	Stone	
	7+835		1000	-412.6	12.75	12.25	2354.3	58.7	Stone	
	8+835		1000	239.7	12.75	12.25	2594	56.3	Stone	
	9+835		1000	309	12.75	12.25	2903	53.1	Stone	
	10+368		533	-158.496	12.75	12.25	2744.504	54.7	Stone	
2	10+404	RÍO ANGOSTURAS	36	-10.668	12.75	11.938	2733.836	54.8	Water	
3	10+835		431	-126.736	12.75	12.25	2607.1	56.1	Stone	
	10+935		100	24.9936	12.75	12.25	2632.0936	55.9	Stone	
4	11+335		400	100.584	12.75	12.25	2732.6776	54.8	Stone	
5	11+835		500	124.3224	12.75	12.25	2857	53.5	Stone	
	12+835		1000	148	12.75	12.25	3005	52.0	Stone	
	13+835		1000	-154.2	12.75	12.25	2850.8	53.6	Stone	
	14+135		300	45.72	12.75	12.25	2896.52	53.1	Stone	
	14+538		403	54.76	12.75	12.25	2951.28	52.6	Stone	
	14+835		297	45.72	12.75	12.25	2997	52.1	Stone	
	15+835		1000	282	12.75	12.25	3279	49.2	Stone	
6	16+483		648	117.9576	12.75	12.25	3396.9576	48.0	Stone	
7	16+703	TUBO DESTAPADO	220	39.624	12.75	12.25	3436.5816	47.6	Air	
8	16+835		132	26.4184	12.75	12.25	3463	47.3	Stone	
	17+835		1000	95.2	12.75	12.25	3558.2	46.3	Stone	
	18+835		1000	42.8	12.75	12.25	3601	45.9	Stone	
	19+835		1000	-47	12.75	12.25	3554	46.3	Stone	
	19+879		44	0	12.75	12.25	3554	46.3	Stone	
9	19+879	DERIVADORA SILOS	0	0			3554	46.3	Air	

Anexo B. Datos Geométricos y Ambientales Gasoducto Chitagá-Bmanga de 12” de diámetro (continuación).

No. SEGMENTO	CADENA PISADA PK	ESTACIÓN-CRUCES ESPECIALES	LONGITUD (m)	INCREMENTO DE ALTURA (m)	DIAM. EXT. (in)	DIAM. INT. (in)	ALTURA ABSOLUTA (m)	TEMPERATURA AMBIENTE (°F)	TIPO DE AMBIENTE	SECTORES GEOTECNICAM CRÍTICOS
10	20+835		956	-67	12.75	12.25	3487	47.0	Stone	
	21+835		1000	-94	12.75	12.25	3393	48.0	Stone	
	22+835		1000	-82	12.75	12.25	3311	48.8	Stone	
	23+835		1000	76	12.75	12.25	3387	48.1	Stone	
	24+654		818.5	-44.196	12.75	12.25	3342.804	48.5	Stone	
11	24+734	AÉREO RÍO MATAPERROS	80	-4.572	12.75	11.938	3338.232	48.6	Air	
12	24+835		101.5	-5.232	12.75	12.25	3333	48.6	Stone	
	25+835		1000	53	12.75	12.25	3386	48.1	Stone	
	26+835		1000	21	12.75	12.25	3407	47.9	Stone	
	27+229		394	-19.812	12.75	12.25	3387.188	48.1	Stone	
13	27+259	RÍO AGUACLARA	30	-1.524	12.75	11.938	3385.664	48.1	Water	
14	27+835		576	-29.664	12.75	12.25	3356	48.4	Stone	
	28+835		1000	41	12.75	12.25	3397	48.0	Stone	
	29+835		1000	-30	12.75	12.25	3367	48.3	Stone	
	30+835		1000	18	12.75	12.25	3385	48.1	Stone	
	30+849		14	0	12.75	12.25	3385	48.1	Stone	
15	30+849	SECCIONADORA DE BERLÍN	0	0			3385	48.1	Stone	
16	31+097		248	3.048	12.75	12.25	3388.048	48.1	Stone	
17	31+097	DERIVADORA BERLÍN	0	0			3388.048	48.1	Air	
18	31+835		738	13.952	12.75	12.25	3402	47.9	Stone	
	32+500		665	-21.336	12.75	12.25	3380.664	48.1	Stone	
19	32+522	RÍO JORDÁN	22	-0.9144	12.75	12.25	3379.7496	48.1	Water	
20	32+835		313.075771	-9.8756	12.75	12.25	3369.874	48.2	Lime Stone	
	33+835		999.924229	12.126	12.75	12.25	3382	48.1	Lime Stone	
	34+835		1000	0	12.75	12.25	3382	48.1	Lime Stone	
	35+835		1000	25	12.75	12.25	3407	47.9	Lime Stone	
	36+836		1000.55483	11.164	12.75	12.25	3418.164	47.7	Lime Stone	
	37+835		999.445166	-3.164	12.75	12.25	3415	47.8	Lime Stone	

Anexo B. Datos Geométricos y Ambientales Gasoducto Chitagá-Bmanga de 12” de diámetro (continuación).

No. SEGMENTO	CADENA PISADA PK	ESTACIÓN-CRUCES ESPECIALES	LONGITUD (m)	INCREMENTO DE ALTURA (m)	DIAM. EXT. (in)	DIAM. INT. (in)	ALTURA ABSOLUTA (m)	TEMPERATURA AMBIENTE (°F)	TIPO DE AMBIENTE	SECTORES GEOTECNICAM CRÍTICOS
20	38+835		1000	-7	12.75	12.25	3408	47.8	Lime Stone	
	39+835		1000	52	12.75	12.25	3460	47.3	Lime Stone	
21	40+835		1000	20.2	12.75	12.25	3480.2	47.1	Sand Stone	
	41+835		1000	-53.2	12.75	12.25	3427	47.6	Sand Stone	
	42+835		1000	7.6	12.75	12.25	3434.6	47.6	Sand Stone	
	43+835		1000	-217.6	12.75	12.25	3217	49.8	Sand Stone	
	44+835		1000	-120	12.75	12.25	3097	51.1	Sand Stone	
	45+835		1000	-203	12.75	12.25	2894	53.2	Sand Stone	
	46+835		1000	-235	12.75	12.25	2659	55.6	Sand Stone	
	47+835		1000	-139	12.75	12.25	2520	57.0	Sand Stone	
	48+835		1000	-110	12.75	12.25	2410	58.2	Sand Stone	
	49+835		1000	-16	12.75	12.25	2394	58.3	Sand Stone	
	50+835		1000	-96	12.75	12.25	2298	59.3	Sand Stone	
	51+835		1000	-83	12.75	12.25	2215	60.2	Sand Stone	
	52+835		1000	135	12.75	12.25	2350	58.8	Sand Stone	
53+372			537	-12.192	12.75	12.25	2337.808	58.9	Sand Stone	
22	53+372	SECC CRISTALES	0	0			2337.808	58.9	Sand Stone	
23	53+441		69	-3.048	12.75	12.25	2334.76	58.9	Sand Stone	
24	53+465	RÍO DE ORO	24	-0.6096	12.75	11.75	2334.1504	58.9	Water	
25	53+835		370	-9.1504	12.75	12.25	2325	59.0	Sand Stone	
	54+835		1000	-67	12.75	12.25	2258	59.7	Sand Stone	
	55+835		1000	-64	12.75	12.25	2194	60.4	Sand Stone	
	56+835		1000	-72	12.75	12.25	2122	61.1	Sand Stone	
	57+835		1000	-101	12.75	12.25	2021	62.2	Sand Stone	
	58+835		1000	-101	12.75	12.25	1920	63.2	Sand Stone	
	59+835		1000	-59	12.75	12.25	1861	63.8	Sand Stone	
	60+835		1000	-78	12.75	12.25	1783	64.6	Sand Stone	
26	61+835		1000	-332	12.75	12.25	1451	68.1	Lime Stone	
	62+835		1000	-46	12.75	12.25	1405	68.5	Lime Stone	

Anexo B. Datos Geométricos y Ambientales Gasoducto Chitagá-Bmanga de 12” de diámetro (continuación).

No. SEGMENTO	CADENA PISADA PK	ESTACIÓN-CRUCES ESPECIALES	LONGITUD (m)	INCREMENTO DE ALTURA (m)	DIAM. EXT. (in)	DIAM. INT. (in)	ALTURA ABSOLUTA (m)	TEMPERATURA AMBIENTE (°F)	TIPO DE AMBIENTE	SECTORES GEOTECNICAM CRÍTICOS
26	63+049		214	-30.48	12.75	12.25	1374.52	68.9	Lime Stone	
27	63+049	SECCIONADORA GRANADILLO	0	0			1374.52	68.9	Lime Stone	
28	63+650		601	-79.248	12.75	12.25	1295.272	69.7	Lime Stone	
29	63+682	AÉREO ERMITANOS 1	32	-4.572	12.75	11.938	1290.7	69.7	Air	
30	63+835		153	-21.7	12.75	12.09	1269	69.9	Lime Stone	
	64+835		1000	-156	12.75	12.09	1113	71.6	Lime Stone	
	65+835		1000	-44	12.75	12.09	1069	72.0	Lime Stone	
	66+835		1000	-33.5	12.75	12.09	1035.5	72.4	Lime Stone	
	67+662		827	-9.144	12.75	12.09	1026.356	72.5	Lime Stone	
31	67+662	DERIVADORA ICP	0	0			1026.356	72.5	Air	
32	67+811		149	-3.356	12.75	12.09	1023	72.5	Lime Stone	
33	67+839	RÍO LATO	28	0	12.75	12.09	1023	72.5	Water	
34	68+835		996	154	12.75	12.09	1177	70.9	Lime Stone	
	69+835		1000	124	12.75	12.09	1301	69.6	Lime Stone	
	70+835		1000	-116	12.75	12.09	1185	70.8	Lime Stone	
	71+835		1000	106	12.75	11.938	1291	69.7	Lime Stone	
	72+835		1000	22	12.75	11.938	1313	69.5	Lime Stone	
	73+835		1000	-53	12.75	11.938	1260	70.0	Lime Stone	
35	74+835		1000	-193	12.75	11.938	1067	72.0	Lime Stone	
	75+835		1000	-182	12.75	11.938	885	73.9	Lime Stone	
	76+835		1000	17	12.75	11.938	902	73.7	Lime Stone	
	77+443		608	-36.576	12.75	11.938	865.424	74.1	Lime Stone	
36	77+464	QDA. RUITOQUE	21	-0.9144	12.75	11.938	864.5096	74.1	Water	
37	77+469		5	0	12.75	11.938	864.5096	74.1	Lime Stone	
38	77+469	SECC. LA HORMIGA	0	0		11.938	864.5096	74.1	Lime Stone	
39	77+835		366	-23.2096	12.75	11.938	841.3	74.4	Lime Stone	
	78+835		1000	18.7	12.75	11.938	860	74.2	Lime Stone	
	79+835		1000	-91	12.75	11.938	769	75.1	Lime Stone	
	80+835		1000	-18	12.75	11.938	751	75.3	Lime Stone	

Anexo B. Datos Geométricos y Ambientales Gasoducto Chitagá-Bmanga de 12” de diámetro (continuación).

No. SEGMENTO	CADENA PISADA PK	ESTACIÓN-CRUCES ESPECIALES	LONGITUD (m)	INCREMENTO DE ALTURA (m)	DIAM. EXT. (in)	DIAM. INT. (in)	ALTURA ABSOLUTA (m)	TEMPERATURA AMBIENTE (°F)	TIPO DE AMBIENTE	SECTORES GEOTECNICAM CRÍTICOS
39	81+835		1000	-13	12.75	11.938	738	75.4	Lime Stone	
	81+902		67	-0.3048	12.75	11.938	737.6952	75.4	Lime Stone	
40	81+938	RÍO FRÍO	36	-0.3048	12.75	11.938	737.3904	75.4	Water	
41	82+835		897	-1.3904	12.75	11.938	736	75.5	Lime Stone	
	83+835		1000	-11	12.75	11.938	725	75.6	Lime Stone	
	84+835		1000	-6	12.75	11.938	719	75.6	Lime Stone	
	85+835		1000	-11	12.75	11.938	708	75.7	Lime Stone	
	86+835		1000	9	12.75	11.938	717	75.6	Lime Stone	
	87+635		800.176832	-18.28	12.75	11.938	698.72	75.8	Lime Stone	
	87+754		118.823168	0	12.75	11.938	698.72	75.8	Lime Stone	
42	87+790	AÉREO QDA. LA IGLESIA	36	0	12.75	11.75	698.72	75.8	Air	
43	89+529		1739	0	12.75	11.938	698.72	75.8	Lime Stone	
44	89+589	AÉREO QDA. CHIMITÁ	60	0	12.75	11.75	698.72	75.8	Air	
45	89+987		398	0	12.75	11.938	698.72	75.8	Lime Stone	
46	89+987	ESTACIÓN PALENQUE		0	12.75		698.72	75.8	Air	

Anexo C. Datos Geométricos y Ambientales del Gasoducto Payoa-Bucaramanga de 6" de diámetro.

No. SEGMENTO	CADENA PISADA PK	ESTACIÓN-CRUCES ESPECIALES	LONGITUD (m)	INCREMENTO DE ALTURA (m)	ALTURA ABSOLUTA (m.s.n.m)	DIAM. EXT. (in)	DIAM. INT. (in)	TEMPERATURA AMBIENTE (°F)	SECTORES GEOTECNICAMENTE CRÍTICOS
0	0+	ESTACIÓN PAYOA							
1	0+11		10.600	-1.961	189.000	6.625	5.981	81.1	
	0+337		326.263	-13.644	175.356	6.625	6.125	81.2	
	0+356		19.050	-6.576	168.780	6.625	5.981	81.3	
	1+006		649.625	10.765	179.545	6.625	6.125	81.2	
	1+525		519.462	0.000	179.545	6.625	6.125	81.2	
2	1+575	CRUCE AÉREO ESTACIÓN UNO	50.000	0.000	179.545	6.625	6.249	81.2	
3	1+640		65.000	0.000	179.545	6.625	6.125	81.2	
4	1+640	ESTACIÓN UNO			179.545			81.2	
5	2+003		363.270	-0.494	179.050	6.625	6.125	81.2	
	2+997		993.428	13.922	192.973	6.625	6.125	81.1	
	3+993		996.022	6.952	199.925	6.625	6.125	81.0	
	4+995		1002.568	35.793	235.718	6.625	6.125	80.6	
	5+600		604.451	4.292	240.010	6.625	6.125	80.6	
	5+618		18.231	-5.259	234.750	6.625	5.981	80.6	
	5+993		375.181	-2.163	232.588	6.625	6.125	80.7	
	6+242		248.875	-23.432	209.155	6.625	6.125	80.9	
	6+263		21.286	-1.644	207.511	6.625	5.981	80.9	
	6+883		619.976	8.383	215.895	6.625	6.125	80.8	
	6+897		14.083	-0.375	215.519	6.625	5.981	80.8	
	6+983		86.088	2.531	218.050	6.625	6.125	80.8	
	6+994		10.780	-2.955	215.095	6.625	5.981	80.8	
	7+182		187.629	-0.560	214.535	6.625	6.125	80.8	
	7+197		15.341	-3.802	210.733	6.625	5.981	80.9	
	7+209		11.655	1.635	212.369	6.625	6.125	80.9	
	7+226		17.357	1.783	214.151	6.625	5.981	80.8	
	7+275		48.965	0.894	215.046	6.625	6.125	80.8	
	7+480		205.117	-4.973	210.072	6.625	6.125	80.9	
	7+507		26.720	-5.585	204.487	6.625	5.981	80.9	

Anexo C. Datos Geométricos y Ambientales Gasoducto Payoa-Bmanga de 6" de diámetro (continuación).

No. SEGMENTO	CADENA PISADA PK	ESTACIÓN-CRUCES ESPECIALES	LONGITUD (m)	INCREMENTO DE ALTURA (m)	ALTURA ABSOLUTA (m.s.n.m)	DIAM. EXT. (in)	DIAM. INT. (in)	TEMPERATURA AMBIENTE (°F)	SECTORES GEOTECNICAMENTE CRÍTICOS
	8+002		495.004	14.365	218.852	6.625	6.125	80.8	
	8+994		991.841	28.809	247.661	6.625	6.125	80.5	
	9+150		156.136	0.000	247.661	6.625	6.125	80.5	
6	9+186	CRUCE AÉREO QUEBRADA PAYOA 2 (MATECOCO)	36.000	0.000	247.661	6.625	6.249	80.5	
7	10+006		819.510	16.346	264.006	6.625	6.125	80.3	
	10+851		845.048	23.657	287.663	6.625	6.125	80.1	
	10+865		14.643	1.749	289.413	6.625	5.981	80.1	
	11+002		137.262	7.838	297.251	6.625	6.125	80.0	
	11+410		407.947	-49.422	247.829	6.625	6.125	80.5	
	11+417		6.823	-3.265	244.564	6.625	5.981	80.5	
	11+999		581.663	37.822	282.385	6.625	6.125	80.1	
	12+660		661.103	-21.336	261.049	6.625	6.125	80.4	
8	12+660	SECCIONADORA MIRAFLORES			261.049			80.4	
9	12+985		324.850	-8.953	252.096	6.625	6.125	80.5	
	13+998		1013.321	-40.306	211.790	6.625	6.125	80.9	
	14+043		45.102	-2.437	209.353	6.625	6.125	80.9	
	14+073		29.253	-3.361	205.992	6.625	5.981	80.9	
	15+004		931.386	38.398	244.390	6.625	6.125	80.5	
	15+709		705.088	2.605	246.995	6.625	6.125	80.5	
10	15+733	CRUCE AÉREO QUEBRADA LA CONDERA	24.000	2.605	249.600	6.625	6.249	80.5	
11	16+004		271.412	2.605	252.205	6.625	6.125	80.5	
	17+004		999.840	60.370	312.575	6.625	6.125	79.8	
	17+260		255.920	-52.936	259.639	6.625	6.125	80.4	
	17+295		34.677	-4.866	254.773	6.625	5.981	80.4	
	17+949		653.967	-18.892	235.881	6.625	6.125	80.6	
	18+002		52.979	-3.391	232.489	6.625	5.981	80.7	
	18+173		170.917	9.020	241.509	6.625	6.125	80.6	

Anexo C. Datos Geométricos y Ambientales Gasoducto Payoa-Bmanga de 6" de diámetro (continuación).

No. SEGMENTO	CADENA PISADA PK	ESTACIÓN-CRUCES ESPECIALES	LONGITUD (m)	INCREMENTO DE ALTURA (m)	ALTURA ABSOLUTA (m.s.n.m)	DIAM. EXT. (in)	DIAM. INT. (in)	TEMPERATURA AMBIENTE (°F)	SECTORES GEOTECNICAMENTE CRÍTICOS
11	18+203		30.277	-0.412	241.097	6.625	5.981	80.6	
	19+000		797.367	81.139	322.237	6.625	6.125	79.7	
	19+540		539.645	30.480	352.717	6.625	6.125	79.4	
12	19+580	CRUCE AÉREO RIO SUCIO 1	40.000	15.240	367.957	6.625	6.249	79.3	
13	19+600		19.571	45.720	413.677	6.625	6.125	78.8	
	19+645		45.126	28.505	442.182	6.625	5.981	78.5	
	19+913		268.181	69.974	512.156	6.625	6.125	77.8	
	20+080		167.122	60.960	573.116	6.625	5.981	77.1	
14	20+080	SECCIONADORA VEGADUQUE			573.116			77.1	
15	20+618		538.067	215.197	788.313	6.625	5.981	74.9	
	20+656		37.670	-5.753	782.561	6.625	6.125	75.0	
	20+720		63.878	23.081	805.642	6.625	5.981	74.7	
	20+997		277.824	55.273	860.914	6.625	6.125	74.2	
	21+165		167.591	43.842	904.757	6.625	6.125	73.7	
	21+180		15.044	-2.392	902.365	6.625	5.981	73.7	
	22+002		822.184	-178.545	723.820	6.625	6.125	75.6	
	22+580		577.953	-94.649	629.171	6.625	6.125	76.6	
16	22+625		44.529	5.571	634.742	6.625	5.981	76.5	
	22+998		373.570	-60.790	573.952	6.625	6.125	77.1	
	23+090		91.691	-12.192	561.760	6.625	6.125	77.3	
17	23+158	CRUCE AÉREO RIO SUCIO 2 (PUENTE ROJO)	68.000	-6.096	555.664	6.625	6.065	77.3	
18	23+856		698.079	-41.198	514.466	6.625	6.125	77.7	
	23+946		89.937	-5.638	508.829	6.625	5.981	77.8	
	24+940		993.984	152.400	661.229	6.625	6.125	76.2	
19	24+940	SECCIONADORA CENTENARIO			661.229			76.2	
20	25+003		63.372	6.526	667.755	6.625	6.125	76.2	
	25+100		96.628	3.658	671.412	6.625	6.125	76.1	

Anexo C. Datos Geométricos y Ambientales Gasoducto Payoa-Bmanga de 6" de diámetro (continuación).

No. SEGMENTO	CADENA PISADA PK	ESTACIÓN-CRUCES ESPECIALES	LONGITUD (m)	INCREMENTO DE ALTURA (m)	ALTURA ABSOLUTA (m.s.n.m)	DIAM. EXT. (in)	DIAM. INT. (in)	TEMPERATURA AMBIENTE (°F)	SECTORES GEOTECNICAMENTE CRÍTICOS
21	26+022		922.389	122.070	793.482	6.625	6.125	74.9	PALO COPOSO
	26+048		25.172	-1.056	792.426	6.625	5.981	74.9	
	26+124		76.278	7.610	800.037	6.625	6.125	74.8	
	26+151		27.315	-1.096	798.940	6.625	5.981	74.8	
	26+600		448.847	-54.864	744.076	6.625	6.125	75.4	
22	26+778		178.129	-20.653	723.423	6.625	6.125	75.6	
	26+798		20.364	-2.699	720.724	6.625	5.981	75.6	
	26+998		199.409	-20.088	700.636	6.625	6.125	75.8	
	27+146		147.642	-16.038	684.599	6.625	6.125	76.0	
	27+177		31.021	-6.546	678.053	6.625	5.981	76.1	
	28+000		823.440	44.629	722.682	6.625	6.125	75.6	
	28+500		499.994	50.292	772.974	6.625	6.125	75.1	
23	29+000		499.856	51.314	824.288	6.625	6.125	74.5	LA AZUFRA 1
	29+354		354.026	-13.602	810.686	6.625	6.125	74.7	
	29+387		32.741	2.623	813.309	6.625	5.875	74.7	
	29+527		140.378	-19.812	793.497	6.625	6.125	74.9	
24	29+557	CRUCE AÉREO QDA LA SORDA	30.000	-1.524	791.973	6.625	6.249	74.9	
25	29+845		288.482	-24.547	767.426	6.625	6.125	75.1	
	29+864		18.254	-7.626	759.801	6.625	5.981	75.2	
	29+999		134.776	40.365	800.165	6.625	6.125	74.8	
	30+614		615.333	100.808	900.974	6.625	6.125	73.7	
	30+651		37.169	-0.029	900.944	6.625	5.981	73.7	
	31+003		351.542	63.912	964.856	6.625	6.125	73.1	
	31+997		994.587	181.632	1146.488	6.625	6.125	71.2	
	32+260		262.856	-5.486	1141.002	6.625	6.125	71.3	
26	32+283	CRUCE AÉREO CAÑO LISBOA	23.000	-0.610	1140.392	6.625	6.249	71.3	
27	32+729		445.631	-9.745	1130.647	6.625	6.125	71.4	
	32+763		33.979	-0.736	1129.912	6.625	5.875	71.4	

Anexo C. Datos Geométricos y Ambientales Gasoducto Payoa-Bmanga de 6" de diámetro (continuación).

No. SEGMENTO	CADENA PISADA PK	ESTACIÓN-CRUCES ESPECIALES	LONGITUD (m)	INCREMENTO DE ALTURA (m)	ALTURA ABSOLUTA (m.s.n.m)	DIAM. EXT. (in)	DIAM. INT. (in)	TEMPERATURA AMBIENTE (°F)	SECTORES GEOTECNICAMENTE CRÍTICOS
27	32+928		165.389	24.384	1154.296	6.625	6.125	71.1	
28	32+952	CRUCE LISBOA VIA PRINCIPAL (BOX COULVERT)	24.000	1.524	1155.820	6.625	6.125	71.1	
29	32+995		43.259	7.775	1163.594	6.625	6.125	71.0	
	34+004		1008.737	61.080	1224.674	6.625	6.125	70.4	
	34+215		210.909	-31.820	1192.855	6.625	6.125	70.7	
	34+246		30.598	-0.469	1192.386	6.625	5.981	70.7	
	35+005		759.594	24.935	1217.321	6.625	6.125	70.5	
	35+100		94.903	-3.048	1214.273	6.625	6.125	70.5	
30	35+160	CRUCE LAGO PARAGUAY	60.000	-1.524	1212.749	6.625	6.249	70.5	
31	35+540		380.000	-6.096	1206.653	6.625	6.125	70.6	
32	35+540	SECCIONADORA PARAGUAY			1206.653			70.6	
33	35+793		252.656	-4.245	1202.408	6.625	6.125	70.6	
	35+831		38.045	-0.482	1201.926	6.625	5.981	70.6	
	36+003		172.566	4.855	1206.781	6.625	6.125	70.6	
	36+999		995.739	-18.176	1188.605	6.625	6.125	70.8	
	37+618		618.982	-62.866	1125.739	6.625	6.125	71.4	
	37+657		39.157	-0.829	1124.910	6.625	5.981	71.4	
	37+865		208.322	-32.836	1092.074	6.625	6.125	71.8	
	37+891		25.751	-0.034	1092.040	6.625	5.981	71.8	
	38+051		159.960	16.626	1108.665	6.625	6.125	71.6	
	38+081		29.862	-5.482	1103.183	6.625	5.981	71.7	
	38+279		198.177	7.902	1111.085	6.625	6.125	71.6	
	38+304		25.174	4.153	1115.238	6.625	5.981	71.5	
	39+005		700.893	78.715	1193.953	6.625	6.125	70.7	
	39+666		660.907	-96.884	1097.069	6.625	6.125	71.7	
	39+682		15.954	-2.787	1094.282	6.625	5.981	71.8	
40+003		320.854	-21.336	1072.946	6.625	6.125	72.0		

Anexo C. Datos Geométricos y Ambientales Gasoducto Payoa-Bmanga de 6” de diámetro (continuación).

No. SEGMENTO	CADENA PISADA PK	ESTACIÓN-CRUCES ESPECIALES	LONGITUD (m)	INCREMENTO DE ALTURA (m)	ALTURA ABSOLUTA (m.s.n.m)	DIAM. EXT. (in)	DIAM. INT. (in)	TEMPERATURA AMBIENTE (°F)	SECTORES GEOTECNICAMENTE CRÍTICOS
34	40+025	CRUCE AÉREO CAÑO GUAMITO 1 (LAVADEROS 1)	22.000	-0.914	1072.032	6.625	6.249	72.0	
35	40+514		488.681	-27.779	1044.252	6.625	6.125	72.3	
	40+538		24.302	0.127	1044.379	6.625	5.981	72.3	
	40+699		161.150	2.107	1046.487	6.625	6.125	72.2	
	40+727		27.493	-2.405	1044.081	6.625	5.981	72.3	
	41+041		314.211	6.503	1050.584	6.625	6.125	72.2	
	41+084		43.189	1.911	1052.496	6.625	5.981	72.2	
	41+680		595.974	15.240	1067.736	6.625	6.125	72.0	
36	41+680	SECCIONADORA MINIFALDA			1067.736			72.0	
37	42+118		437.892	14.123	1081.859	6.625	6.125	71.9	
	42+132		14.313	-5.915	1075.943	6.625	5.981	71.9	
	42+986		853.417	28.923	1104.866	6.625	6.125	71.6	
	43+013		27.403	2.231	1107.097	6.625	5.981	71.6	
	43+400		386.976	7.620	1114.717	6.625	6.125	71.5	
38	43+435	CRUCE AÉREO QUEBRADA LA ANGULA 3	35.000	1.524	1116.241	6.625	6.249	71.5	
39	43+746		311.454	12.608	1128.849	6.625	6.125	71.4	
	45+004		1258.013	21.790	1150.639	6.625	5.981	71.2	
	46+000		995.689	-22.655	1127.984	6.625	5.981	71.4	
	47+002		1002.183	-214.421	913.563	6.625	5.981	73.6	
	47+451		448.661	-91.440	822.123	6.625	5.981	74.6	
40	47+481	CRUCE AÉREO CAÑO SAN PABLO	30.000	-1.524	820.599	6.625	6.249	74.6	
41	47+997		515.566	-110.551	710.048	6.625	5.981	75.7	
	49+000		1003.432	0.000	710.048	6.625	5.981	75.7	
42	49+000	ESTACION AGUILAS			710.048				

Anexo D. Datos Geométricos y Ambientales del Gasoducto Payoa-Bmanga de 8" de diámetro.

No. SEGMENTO	CADENA PISADA PK	ESTACIÓN-CRUCES ESPECIALES	LONGITUD (m)	INCREMENTO DE ALTURA (m)	ALTURA ABSOLUTA (m.s.n.m)	DIAM. EXT. (in)	DIAM. INT. (in)	TEMPERATURA AMBIENTE (°F)	SECTORES GEOTECNICAMENTE CRÍTICOS
0		ESTACION UNO							
1	0+3		2.51	-0.01	178.39	8.625	7.981	81.2	
	0+11		8.09	-1.95	176.44	8.625	7.981	81.2	
	0+337		326.26	-13.64	162.79	8.625	8.125	81.4	
	0+340		3.14	-0.91	161.88	8.625	7.981	81.4	
2	0+364	CRUCE QUEBRADA LEBRIJA	24.00	-5.66	156.22	8.625	7.981	81.4	
3	1+006		641.54	10.76	166.98	8.625	8.125	81.3	
	2+003		997.73	-0.49	166.49	8.625	8.125	81.3	
	2+997		993.43	13.92	180.41	8.625	8.125	81.2	
	4+004		1007.29	7.86	188.27	8.625	8.125	81.1	
	5+001		996.72	32.45	220.72	8.625	8.125	80.8	
	5+600		599.03	6.73	227.45	8.625	8.125	80.7	
	5+618		18.23	-5.26	222.19	8.625	7.981	80.8	
	6+006		387.88	-2.62	219.57	8.625	8.125	80.8	
	6+242		236.18	-22.97	196.59	8.625	8.125	81.0	
6+247		4.98	-0.30	196.29	8.625	7.981	81.0		
4	6+272	CRUCE QUEBRADA PAYOA 1	25.00	-1.34	194.95	8.625	7.981	81.0	
5	6+883		611.29	8.38	203.33	8.625	8.125	81.0	
	6+897		14.08	-0.38	202.96	8.625	7.981	81.0	
	6+983		86.09	2.53	205.49	8.625	8.125	80.9	
	6+994		10.78	-2.95	202.53	8.625	7.981	81.0	
	7+182		187.63	-0.56	201.97	8.625	8.125	81.0	
	7+197		15.34	-3.80	198.17	8.625	7.981	81.0	
	7+480		283.09	-0.66	197.51	8.625	8.125	81.0	
	7+483		2.70	-0.61	196.90	8.625	7.981	81.0	
6	7+514	CRUCE QUEBRADA PAYOA 2	31.00	-4.98	191.93	8.625	7.981	81.1	
7	7+994		480.40	11.79	203.72	8.625	8.125	81.0	
	8+473		478.60	15.11	218.83	8.625	8.125	80.8	

Anexo D. Datos Geométricos y Ambientales Gasoducto Payoa-Bmanga de 8" de diámetro (continuación).

No. SEGMENTO	CADENA PISADA PK	ESTACIÓN-CRUCES ESPECIALES	LONGITUD (m)	INCREMENTO DE ALTURA (m)	ALTURA ABSOLUTA (m.s.n.m)	DIAM. EXT. (in)	DIAM. INT. (in)	TEMPERATURA AMBIENTE (°F)	SECTORES GEOTECNICAMENTE CRÍTICOS
8	8+494	CRUCE CAÑO MONAS	21.00	0.00	218.83	8.625	8.125	80.8	
9	9+007		512.59	15.11	233.94	8.625	8.125	80.6	
	10+006		998.92	17.51	251.45	8.625	8.125	80.5	
	10+851		845.05	23.66	275.10	8.625	8.125	80.2	
	10+865		14.64	1.75	276.85	8.625	7.981	80.2	
	11+002		137.26	7.84	284.69	8.625	8.125	80.1	
	11+999		996.43	-14.87	269.82	8.625	8.125	80.3	
	12+998		998.61	-27.81	242.01	8.625	8.125	80.6	
	14+004		1006.44	-44.29	197.72	8.625	8.125	81.0	
	14+043		39.32	-0.93	196.79	8.625	8.125	81.0	
14+047		3.73	0.00	196.79	8.625	7.981	81.0		
10	14+081	CRUCE QDA LA CONDERA	34.00	-3.36	193.43	8.625	7.981	81.1	
11	15+004		922.91	38.40	231.83	8.625	8.125	80.7	
	16+004		1000.50	7.82	239.64	8.625	8.125	80.6	
	17+004		999.84	60.37	300.01	8.625	8.125	80.0	
	17+260		255.92	-52.94	247.08	8.625	8.125	80.5	
	17+265		4.83	-0.61	246.47	8.625	7.981	80.5	
12	17+297	CRUCE QDA AGUA BLANCA	32.00	-4.26	242.21	8.625	7.981	80.6	
13	17+949		651.82	-18.89	223.32	8.625	8.125	80.7	
	17+952		3.18	0.00	223.32	8.625	7.981	80.7	
14	18+008	CRUCE RIO SUCIO 1	56.00	-3.39	219.93	8.625	7.981	80.8	
15	18+173		164.71	9.02	228.95	8.625	8.125	80.7	
	18+177		4.29	0.00	228.95	8.625	7.981	80.7	
16	18+206	CRUCE QUEBRADA LA VEGA	29.00	-0.41	228.54	8.625	7.981	80.7	
17	19+000		794.36	81.14	309.68	8.625	8.125	79.9	
	19+559		558.64	69.69	379.36	8.625	8.125	79.1	

Anexo D. Datos Geométricos y Ambientales Gasoducto Payoa-Bmanga de 8" de diámetro (continuación).

No. SEGMENTO	CADENA PISADA PK	ESTACIÓN-CRUCES ESPECIALES	LONGITUD (m)	INCREMENTO DE ALTURA (m)	ALTURA ABSOLUTA (m.s.n.m)	DIAM. EXT. (in)	DIAM. INT. (in)	TEMPERATURA AMBIENTE (°F)	SECTORES GEOTECNICAMENTE CRÍTICOS
18	19+651	ASCENSO LA PEÑA	92.00	5.65	385.02	8.625	7.981	79.1	
19	19+736		85.13	50.28	435.30	8.625	7.981	78.6	
	19+913		176.75	64.32	499.62	8.625	8.125	77.9	
	19+920		7.12	1.52	501.14	8.625	7.981	77.9	
	20+307	LAJA LA PEÑA	387.00	128.02	629.16	8.625	7.981	76.6	
21	20+618		311.07	146.62	775.78	8.625	7.981	75.0	
	20+656		37.67	-5.75	770.03	8.625	8.125	75.1	
	20+720		63.88	23.08	793.11	8.625	7.981	74.9	
	20+997		277.82	55.27	848.38	8.625	8.125	74.3	
	21+165		167.59	43.84	892.22	8.625	8.125	73.8	
	21+180		15.04	-2.39	889.83	8.625	7.981	73.9	
	21+621		440.93	-91.44	798.39	8.625	8.125	74.8	
22	21+780	DESCENSO LA PEÑA	159.00	-36.58	761.81	8.625	8.125	75.2	
23	22+002		222.26	-50.53	711.28	8.625	8.125	75.7	
	22+434		431.74	-67.06	644.23	8.625	8.125	76.4	
24	22+467	PASO AÉREO SECTOR CANOAS	33.00	-5.18	639.05	8.625	8.125	76.5	
25	22+580		113.21	-22.41	616.64	8.625	8.125	76.7	
	22+589		8.79	1.22	617.85	8.625	7.981	76.7	
26	22+625	CRUCE CANOAS	35.74	4.35	622.21	8.625	7.981	76.6	CANOAS
27	22+630		5.26	-0.91	621.29	8.625	8.125	76.6	
28	22+702	ASCENSO CANOAS	72.00	-12.19	609.10	8.625	8.125	76.8	
29	22+998		296.31	-47.68	561.42	8.625	8.125	77.3	
	23+856		857.77	-59.49	501.93	8.625	8.125	77.9	
	23+866		9.92	-0.91	501.02	8.625	7.981	77.9	
30	23+946	CRUCE RIO SUCIO 2	80.02	-4.72	496.29	8.625	7.981	77.9	
31	25+003		1057.36	158.93	655.22	8.625	8.125	76.3	
	25+997		994.00	127.11	782.33	8.625	8.125	75.0	

Anexo D. Datos Geométricos y Ambientales Gasoducto Payoa-Bmanga de 8" de diámetro (continuación).

No. SEGMENTO	CADENA PISADA PK	ESTACIÓN-CRUCES ESPECIALES	LONGITUD (m)	INCREMENTO DE ALTURA (m)	ALTURA ABSOLUTA (m.s.n.m)	DIAM. EXT. (in)	DIAM. INT. (in)	TEMPERATURA AMBIENTE (°F)	SECTORES GEOTECNICAMENTE CRÍTICOS
31	26+124		126.47	5.17	787.50	8.625	8.125	74.9	LA AZUFRADA
	26+151		27.31	-1.10	786.40	8.625	7.981	74.9	
	26+500		348.85	-42.67	743.73	8.625	8.125	75.4	
32	26+500	SECCIONADO RA LIBANO	0.00	0.00	743.73			75.4	
33	26+778		278.13	-32.85	710.89	8.625	8.125	75.7	
	26+798		20.36	-2.70	708.19	8.625	7.981	75.7	
	26+998		199.41	-20.09	688.10	8.625	8.125	75.9	
	27+146		147.64	-16.04	672.06	8.625	8.125	76.1	
	27+151		5.46	-1.07	671.00	8.625	7.981	76.1	
34	27+181	CRUCE QUEBRADA LA SORDA	30.00	-5.48	665.52	8.625	7.981	76.2	
35	28+000		819.01	44.63	710.15	8.625	8.125	75.7	
	28+651		650.99	64.01	774.15	8.625	8.125	75.1	
36	28+851	PASO AÉREO SECTOR GUAYABALES	200.00	20.12	794.27	8.625	8.125	74.9	
37	29+000		148.86	17.48	811.75	8.625	8.125	74.7	
	29+354		354.03	-13.60	798.15	8.625	8.125	74.8	
	29+387		32.74	2.62	800.77	8.625	7.875	74.8	
	29+845		458.86	-45.88	754.89	8.625	8.125	75.3	
	29+864		18.25	-7.63	747.27	8.625	7.981	75.3	
	30+614		750.11	141.17	888.44	8.625	8.125	73.9	
	30+651		37.17	-0.03	888.41	8.625	7.981	73.9	
38	31+003		351.54	63.91	952.32	8.625	8.125	73.2	
39	32+010		1007.10	178.39	1130.71	8.625	8.125	71.4	
	32+729		718.97	-12.60	1118.11	8.625	8.125	71.5	
	32+763		33.98	-0.74	1117.38	8.625	7.875	71.5	
	34+004		1241.39	94.76	1212.14	8.625	8.125	70.5	
	35+005		1001.10	-7.35	1204.79	8.625	8.125	70.6	
	36+003		998.17	-10.54	1194.25	8.625	8.125	70.7	

Anexo D. Datos Geométricos y Ambientales Gasoducto Payoa-Bmanga de 8” de diámetro (continuación).

No. SEGMENTO	CADENA PISADA PK	ESTACIÓN-CRUCES ESPECIALES	LONGITUD (m)	INCREMENTO DE ALTURA (m)	ALTURA ABSOLUTA (m.s.n.m)	DIAM. EXT. (in)	DIAM. INT. (in)	TEMPERATURA AMBIENTE (°F)	SECTORES GEOTECNICAMENTE CRÍTICOS
39	37+002		998.30	-18.27	1175.97	8.625	8.125	70.9	
	37+618		616.42	-62.77	1113.20	8.625	8.125	71.6	
40	37+657	CRUCE LAVADEROS 1 (Caño Guamito 1)	39.16	-0.83	1112.37	8.625	7.981	71.6	
41	37+865		208.32	-32.84	1079.54	8.625	8.125	71.9	
	37+868		2.53	0.00	1079.54	8.625	7.981	71.9	
42	37+895	CRUCE GUAMITO 2	27.00	-0.03	1079.50	8.625	7.981	71.9	
43	38+001		106.49	27.86	1107.36	8.625	8.125	71.6	
	38+051		49.69	-11.23	1096.13	8.625	8.125	71.7	
44	38+081	CRUCE LAVADEROS 2 (Caño Guamito 3)	29.86	-5.48	1090.65	8.625	7.981	71.8	
45	38+279		198.18	7.90	1098.55	8.625	8.125	71.7	
	38+304		25.17	4.15	1102.70	8.625	7.981	71.7	
46	39+005		700.89	78.71	1181.42	8.625	8.125	70.9	
47	39+666		660.91	-96.88	1084.53	8.625	8.125	71.9	
	39+670		3.81	-0.61	1083.92	8.625	7.981	71.9	
48	39+695	CRUCE MI CABAÑA	25.00	-2.18	1081.75	8.625	7.981	71.9	
49	40+514		818.68	-50.03	1031.72	8.625	8.125	72.4	
50	40+538	CRUCE QUEBRADA LA ANGULA 1	24.30	0.13	1031.84	8.625	7.981	72.4	
51	40+699		161.15	2.11	1033.95	8.625	8.125	72.4	
	40+701		1.87	0.00	1033.95	8.625	7.981	72.4	
52	40+729	CRUCE QUEBRADA LA ANGULA 2	28.00	-2.41	1031.55	8.625	7.981	72.4	
53	41+041		311.84	6.50	1038.05	8.625	8.125	72.3	
	41+043		2.16	0.00	1038.05	8.625	7.981	72.3	
54	41+098	CRUCE QUEBRADA LA ANGULA 3	55.00	1.91	1039.96	8.625	7.981	72.3	

Anexo D. Datos Geométricos y Ambientales Gasoducto Payoa-Bmanga de 8" de diámetro (continuación).

No. SEGMENTO	CADENA PISADA PK	ESTACIÓN-CRUCES ESPECIALES	LONGITUD (m)	INCREMENTO DE ALTURA (m)	ALTURA ABSOLUTA (m.s.n.m)	DIAM. EXT. (in)	DIAM. INT. (in)	TEMPERATURA AMBIENTE (°F)	SECTORES GEOTECNICAMENTE CRÍTICOS
55	42+005		907.48	38.63	1078.59	8.625	8.125	71.9	
	42+118		112.41	-9.27	1069.32	8.625	8.125	72.0	
	42+121		3.11	-0.61	1068.71	8.625	7.981	72.0	
56	42+144	CRUCE CAÑO CONCRETO	23.00	-5.31	1063.41	8.625	7.981	72.1	
57	42+986		841.62	28.92	1092.33	8.625	8.125	71.8	
	42+987		1.38	0.00	1092.33	8.625	7.981	71.8	
58	43+024	CRUCE CAÑO LA REPRESA	37.00	2.23	1094.56	8.625	7.981	71.7	
59	43+746		722.45	21.75	1116.31	8.625	8.125	71.5	
	44+006		259.65	18.57	1134.88	8.625	7.981	71.3	
	45+004		998.36	3.22	1138.10	8.625	7.981	71.3	
	45+300		295.53	16.76	1154.87	8.625	7.981	71.1	
60	45+300	DERIVADORA GASMOVIL	0.00	0.00	1154.87			71.1	
61	45+573		272.74	14.52	1169.39	8.625	7.981	71.0	
	46+000		427.41	-53.94	1115.45	8.625	7.981	71.5	
	46+600		599.84	-121.92	993.53	8.625	7.981	72.8	
62	46+600	SECCIONADO RA AEROPUERTO	0.00	0.00	993.53			72.8	
63	47+002		402.34	-92.50	901.03	8.625	7.981	73.7	
	47+910		907.66	-188.28	712.75	8.625	7.981	75.7	
64	48+105	CRUCE RÍO DE ORO + QUEBRADA LA ROSITA	195.00	-15.24	697.51	8.625	7.981	75.9	
65	48+500		395.00	19.99	717.50	8.625	7.981	75.6	
66	48+500	DERIVADORA METROGAS - DERIVADORA GAZEL	0.00	0.00	717.50			75.6	
67	49+700		1200.00	0.00	717.50	8.625	7.981	75.6	
68	49+700	DERIVADORA GASORIENTE-ESSA-PALENQUE						75.6	

Anexo E. Datos Geométricos y Ambientales del Gasoducto B/bermeja-Payoa de 8" de diámetro.

No. SEGMENTO	CADENA PISADA PK	ESTACIÓN-CRUCES ESPECIALES	LONGITUD (m)	INCREMENTO DE ALTURA (m)	DIAM. EXT. (in)	DIAM. INT. (in)	ALTURA ABSOLUTA (m)	TEMPERATURA AMBIENTE (°F)	SECTORES GEOTECNICAMENTE CRÍTICOS
0	0+	ESTACION COGB							
1	0+360		359.980	-0.029	8.625	7.981	103.471	82.0	
2	0+474	ZONA PANTANOSA	113.854	0.914	8.625	8.125	104.385	82.0	
3	1+005		531.183	-5.834	8.625	8.125	98.552	82.0	
	1+803		798.302	4.320	8.625	8.125	102.871	82.0	
4	3+695	ZONA PANTANOSA y Q. SAN SILVESTRE	1891.545	4.572	8.625	8.125	107.443	81.9	
5	4+005		310.470	-0.314	8.625	8.125	107.129	82.0	
	4+996		990.200	7.677	8.625	8.125	114.807	81.9	
	5+402		406.803	-0.450	8.625	8.125	114.357	81.9	
	5+606		203.849	-2.925	8.625	7.981	111.432	81.9	
	5+979		372.715	7.855	8.625	7.981	119.287	81.8	
	7+000		1021.335	11.128	8.625	8.125	130.415	81.7	
	7+260		259.740	-1.621	8.625	8.125	128.794	81.7	
	7+715		455.024	-18.909	8.625	8.125	109.885	81.9	
6	8+039	ZONA PANTANOSA LA CUEVA	324.000	-1.256	8.625	8.125	108.629	81.9	
7	9+004		965.063	18.678	8.625	8.125	127.307	81.7	
	9+447		442.465	8.698	8.625	8.125	136.005	81.7	
	10+009		562.129	2.942	8.625	8.125	138.947	81.6	
	10+998		989.724	-3.541	8.625	8.125	135.406	81.7	
	11+661		662.619	-34.057	8.625	8.125	101.348	82.0	
8	12+033	ZONA PANTANOSA VILLA ARGELIA Y CAÑO LLANITO	372.000	0.000	8.625	8.125	101.348	82.0	
9	12+631		597.706	19.609	8.625	8.125	120.957	81.8	
	12+677		46.598	-14.926	8.625	7.981	106.031	82.0	
	12+980		302.696	0.428	8.625	8.125	106.459	82.0	
10	13+113	ZONA PANTANOSA PK13	133.000	0.000	8.625	8.125	106.459	82.0	
11	13+210		96.952	9.604	8.625	8.125	116.063	81.9	
	13+250		40.022	-1.981	8.625	7.981	114.082	81.9	
	14+010		760.356	20.674	8.625	8.125	134.756	81.7	

Anexo E. Datos Geométricos y Ambientales Gasoducto B/bermeja-Payoa de 8" de diámetro (continuación).

No. SEGMENTO	CADENA PISADA PK	ESTACIÓN-CRUCES ESPECIALES	LONGITUD (m)	INCREMENTO DE ALTURA (m)	DIAM. EXT. (in)	DIAM. INT. (in)	ALTURA ABSOLUTA (m)	TEMPERATURA AMBIENTE (°F)	SECTORES GEOTECNICAMENTE CRÍTICOS
11	15+004		994.132	-4.075	8.625	8.125	130.682	81.7	
	15+067		62.303	-8.160	8.625	8.125	122.522	81.8	
	15+078		11.254	-0.805	8.625	7.981	121.717	81.8	
	15+500		421.982	0.001	8.625	8.125	121.718	81.8	
12	15+500	SECCIONADORA RODEO	0.000	0.000			121.718	81.8	
13	16+008		508.262	0.000	8.625	8.125	121.718	81.8	
14	17+001	CRUCE CAÑO JERINGA (primeros 345 m) y ZONA PANTANOSA FINCA ASTILLEROS	992.945	-20.965	8.625	8.125	100.753	82.0	
	18+001		999.879	0.046	8.625	8.125	100.799	82.0	
	19+009		1007.937	0.588	8.625	8.125	101.387	82.0	
	20+000		990.978	0.236	8.625	8.125	101.623	82.0	
	21+006		1005.897	4.739	8.625	8.625	106.362	82.0	
	21+610		604.365	4.199	8.625	8.625	110.561	81.9	
15	22+009		398.593	4.199	8.625	8.125	114.759	81.9	
	22+688		679.545	6.219	8.625	8.125	120.978	81.8	
	22+704		15.600	0.000	8.625	7.981	120.978	81.8	
16	22+964	CRUCE RIO SOGAMOSO	260.193	1.669	8.625	7.625	122.647	81.8	
17	23+388		423.427	7.987	8.625	7.981	130.634	81.7	
	25+009		1620.892	-2.593	8.625	8.125	128.041	81.7	
	26+011		1002.069	-1.571	8.625	8.125	126.470	81.8	
	27+004		993.700	3.079	8.625	8.125	129.549	81.7	
	27+996		991.465	-2.409	8.625	8.125	127.140	81.7	
	29+003		1007.337	2.875	8.625	8.125	130.015	81.7	
	30+004		1001.100	29.215	8.625	8.125	159.230	81.4	
	30+999		994.666	3.945	8.625	8.125	163.175	81.4	
	32+006		1006.883	-10.020	8.625	8.125	153.156	81.5	
	32+998		992.690	-3.781	8.625	8.125	149.375	81.5	
	33+999		1000.750	-10.029	8.625	8.125	139.346	81.6	
	35+005		1005.799	15.199	8.625	8.125	154.546	81.5	

Anexo E. Datos Geométricos y Ambientales Gasoducto B/bermeja-Payoa de 8” de diámetro (continuación).

No. SEGMENTO	CADENA PISADA PK	ESTACIÓN-CRUCES ESPECIALES	LONGITUD (m)	INCREMENTO DE ALTURA (m)	DIAM. EXT. (in)	DIAM. INT. (in)	ALTURA ABSOLUTA (m)	TEMPERATURA AMBIENTE (°F)	SECTORES GEOTECNICAMENTE CRÍTICOS
17	35+500		495.029	2.802	8.625	8.125	157.348	81.4	
18	35+500	SECC PENJAMO	0.000	0.000			157.348	81.4	
19	36+102		602.187	2.802	8.625	8.125	160.150	81.4	
	36+999		887.743	2.582	8.625	8.125	162.568	81.4	
	38+005		1006.054	-0.034	8.625	8.125	162.534	81.4	
	38+998		992.553	2.766	8.625	8.125	165.301	81.3	
	40+006		1007.658	-2.972	8.625	8.125	162.328	81.4	
	40+998		992.322	0.309	8.625	8.125	162.637	81.4	
	42+003		1004.881	1.003	8.625	8.125	163.640	81.4	
	42+997		994.341	9.423	8.625	8.125	173.063	81.3	
	43+998		1001.055	-2.419	8.625	8.125	170.643	81.3	
	44+998		999.440	-3.431	8.625	8.125	167.212	81.3	
	46+003		1005.473	2.552	8.625	8.125	169.764	81.3	
	46+994		990.860	4.903	8.625	8.125	174.667	81.3	
48+000		1006.156	17.181	8.625	8.125	191.848	81.1		
20	49+002		1001.551	6.712	8.625	8.125	198.560	81.0	
	49+998		996.228	24.308	8.625	8.125	222.868	80.8	
	51+003		1005.455	-41.894	8.625	8.125	180.974	81.2	
	52+007		1004.069	-12.701	8.625	8.125	168.273	81.3	
	53+008		1000.093	21.075	8.625	8.125	189.347	81.1	
	53+997		989.693	17.493	8.625	8.125	206.841	80.9	
	55+002		1004.346	-4.019	8.625	8.125	202.821	81.0	
	55+997		995.618	-9.741	8.625	8.125	193.080	81.1	
	57+007		1009.452	0.444	8.625	8.125	193.524	81.1	
	57+834		827.315	-7.001	8.625	8.125	186.523	81.1	
58+005	MARCOS H	170.717	-1.202	8.625	8.125	185.320	81.1		
21	58+999	MARCOS H ESTACION UNO	994.382	-12.570	8.625	8.125	172.750	81.3	
	59+391		392.132	5.640	8.625	7.981	178.390	81.2	
	59+391								

Anexo F. Información de los puntos de entrada y salida de los gasoductos de PROMIORIENTE

GASODUCTO	UBICACIÓN	ESTACION	DESCRIPCION	REMITENTE	MERCADO	PRESION ENTREGA CONTRACTUAL/PRESION REGUL REMITENTE
Gibraltar-Chitagá 12"	PK 0+000	Estación Gibraltar	Punto de Entrada			
	PK 11+710	Derivación Samoré	Punto de Salida	GASES DEL ORIENTE S.A. E.S.P.	Res y Peq Ind.	250 / 60 psig
	PK 25+311	Seccionadora Alto de la Virgen	Seccionadora Automática			
	PK 47+430	Derivadora San Bernardo	Punto de Salida	GASES DEL ORIENTE S.A. E.S.P.	Res y Peq Ind.	250 / 60 psig
	PK 58+787	Seccionadora Labateca	Seccionadora Automática			
	PK 59+725	Derivadora Labateca	Punto de Salida	GASES DEL ORIENTE S.A. E.S.P.	Res y Peq Ind.	250 / 60 psig
	PK 71+527	Derivadora Tane	Punto de Salida	GASES DEL ORIENTE S.A. E.S.P.	Res y Peq Ind.	250 / 200 psig
	PK 85+022	Derivadora Chitagá	Punto de Salida	GASES DEL ORIENTE S.A. E.S.P.	Res y Peq Ind.	250 / 60 psig
Chitagá-Bucaramanga 12"	PK 87+165	Estación Chitagá	Seccionadora Automática			
	PK 0+000	Estación Chitagá	Seccionadora Automática			
	PK 19+879	Derivadora Silos	Punto de Salida	GASES DEL ORIENTE S.A. E.S.P.	Res y Peq Ind.	250 / 60 psig
	PK 30+849	Seccionadora Berlín	Seccionadora Automática			
	PK 31+097	Derivadora Berlín ⁴	Punto de Salida			
	PK 53+372	Seccionadora Cristales	Seccionadora Automática			
	PK 63+049	Seccionadora Granadillo	Seccionadora Automática			
	PK 67+662	Derivadora ICP	Punto de Salida	GAS NATURAL S.A. E.S.P.	GNCV	500 / 500 psig
Payoa-Bucaramanga 8"	PK 77+469	Seccionadora La Hormiga	Seccionadora Automática			
	PK 89+987	Estación Palenque	Punto de Salida	GASES DEL ORIENTE S.A. E.S.P.		
	PK 0+000	Estación Uno	Seccionadora Automática			
	PK 26+500	Seccionadora Líbano	Seccionadora Automática			
	PK 45+300	Derivadora GasMovil	Punto de Salida	COGASEN S.A. E.S.P.	GNCV	250/250 psig
	PK 46+600	Seccionadora Aeropuerto	Seccionadora Automática			
	PK 48+500	Deriv Metrogas-Gazel	Punto de Salida	GASES DEL ORIENTE S.A. E.S.P.	Res y GNCV.	250/250 psig
Payoa-Bucaramanga 6"	PK 49+700	Derivadora Gasoriente	Punto de Salida	GASES DEL ORIENTE S.A. E.S.P.	Res y Peq Ind.	250/250 psig
	PK 49+700	Estación Palenque	Punto de Salida			
	PK 0+000	Estación Payoa ⁵	Punto de Entrada			
	PK 1+640	Estación Uno	Seccionadora Automática			
	PK 12+660	Seccionadora Miraflores	Seccionadora Manual			
	PK 20+080	Seccionadora Vegaduque	Seccionadora Manual			

⁴ No ha entrado en operación a la fecha.

⁵ El punto de entrada Payoa no opera hace más de cinco años.

**Anexo F. Información de los puntos de entrada y salida de los gasoductos de PROMIORIENTE
(continuación)**

GASODUCTO	UBICACIÓN	ESTACION	DESCRIPCION	REMITENTE	MERCADO	PRESION ENTREGA CONTRACTUAL/PRESION REGUL REMITENTE
	PK 24+940	Seccionadora Centenario	Seccionadora Automática			
	PK 35+540	Seccionadora Paraguay	Seccionadora Manual			
	PK 41+680	Seccionadora Minifalda	Seccionadora Manual			
		Derivadora Lebrija	Punto de Salida	GASES DEL ORIENTE S.A. E.S.P.	Res y GNCV.	250/250 psig
	PK 49+550	Estación Águilas	Seccionadora Automática			
Barranca-Payoa 8"	PK 0+000	Estación COGB	Punto de Entrada			
	PK 0+050	Estación Galán	Punto de Salida	GAS NATURAL S.A. E.S.P.	Industrial	350/350 psig
	PK 15+500	Seccionadora Rodeo	Seccionadora Automática			
	PK 35+500	Seccionadora Pénjamo	Seccionadora Automática			
	PK 59+500	Estación Uno	Seccionadora Automática			
Uniones entre el Loop Gasoducto Payoa-Bmanga 6" y 8"	1.000 m	Estación Águilas (6") con Estación Aeropuerto (8")				
		Estación Centenario (6") con Estación Líbano (8")				
		Estación Uno (6") con Estación Uno (8")				

Anexo G. Cruces Especiales (Aéreos y Subfluviales) del Gasoducto Gibraltar-Chitagá de 12" de diámetro.

Item	Nombre	Clasificación Cruce		Cadena Pisada PK		Long (m)	Espes (in)	Tipo de estructura de soporte	Sist. Recub	Veloc. Medio Circund.
				Inicial	Final					
1	Sector del Deslizamiento	Cruce Aéreo	Falla geotécnica/geológica	0+657	0+764	107	0.250" 0.500"	Torres y Pendolones	TPE+Sigma Cover 280+Sigma Dure	-
2	Sector del Botadero	Cruce Aéreo		2+148	2+302	154	0.500"	Marco H y micropilotes	TPE+Sigma Cover 280+Sigma Dure	
3	Sector de Marcos H predio Carlos Vera	Cruce Aéreo		3+929	4+088	159.2	0.330"	Marco H	TPE+Sigma Cover 280+Sigma Dure 550	
4	Aéreo R. Cubugón	Cruce Aéreo		4+609	4+723	114.4	0.500"	Torres y Pendolones	TPE+Sigma Cover 280+Sigma Dure 550	
5	Quebrada la Carbonera	Cuerpo Agua Relevante	Subfluvial	5+200	5+224	24.59	0.250"	NA	TPE (FBE + Adhesivo + Polietileno)	0,4 m/s
6	H's Carbonera y Q. Piedras Largas	Cruce Aéreo		5+239	5+492	253	0.250" 0.406"	Marco H	TPE+Sigma Cover 280+Sigma Dure 550	
7	Quebrada Acevedo	Cuerpo Agua Relevante	Subfluvial	11+243	11+273	30	0.500"	NA	TPE (FBE + Adhesivo + Polietileno)	0,4 m/s
8	Quebrada la China	Cuerpo Agua Relevante	Subfluvial	11+390	11+465	75	0.500"	NA	TPE (FBE + Adhesivo + Polietileno)	0,4 m/s
9	Quebrada Santa María	Cuerpo Agua Relevante	Subfluvial	16+805	16+840	35	0.500"	NA	TPE (FBE + Adhesivo + Polietileno)	0,4 m/s
10	Aéreo Río Negro	Cruce Aéreo		18+695	18+776	81	0.406" 0.500"	Torres y Pendolones	TPE+Sigma Cover 280+Sigma Dure 550	
11	Quebrada las Palmas	Cuerpo Agua Relevante	Subfluvial	21+139	21+175	36	0.500"	NA	TPE (FBE + Adhesivo + Polietileno)	0,4m/s
12	Quebrada la Piazoza	Cuerpo Agua Relevante	Subfluvial	23+660	23+695	35	0.500"	NA	TPE (FBE + Adhesivo + Polietileno)	0,4 m/s
13	Marcos H la Piazoza	Cruce Aéreo		23+973	24+079	106	0.250"	Marco H	TPE+Sigma Cover 280+Sigma Dure 550	
14	Marcos H la Piazoza (p. Mec.)	Cruce Aéreo		24+275	24+465	190	0.250"	Marco H	FBE+TPE+Sigma Cover + Sigma Dure (Hay tub FBE y TPE)	
15	Quebrada la Petra	Cuerpo Agua Relevante	Subfluvial	29+754	29+778	24	0.500"	NA	TPE (FBE + Adhesivo + Polietileno)	0,4m/s
16	Río Sararito	Cuerpo Agua Revela	Subfluvial	31+828	31+863	35	0.500"	NA	TPE (FBE + Adhesivo + Polietileno)	1,02 m/s
17	Río colorado	Cuerpo Agua Relevante	Subfluvial	37+917	37+945	28	0.250"	NA	TPE (FBE + Adhesivo + Polietileno)	1 m/s
18	Quebrada el oro	Cuerpo Agua Relevante	Subfluvial	42+567	42+592	25	0.500"	NA	TPE (FBE + Adhesivo + Polietileno)	0,5m/s
19	Río valegrá	Cuerpo Agua Relevante	Subfluvial	48+558	48+617	59	0.500"	NA	TPE (FBE + Adhesivo + Polietileno)	1,02 m/s
20	Tubo destapado	Cruce Aéreo	Falla geotécnica/geológica	52+377	52+478	101	0.250"	Sobre el suelo	TPE+Sigma Cover 280+Sigma Dure 550	
21	Aéreo Q. Cherela	Cruce Aéreo		70+602	70+679	77	0.330"	Torres y Pendolones	TPE+Sigma Cover 280+Sigma Dure 550	
22	Quebrada tane	Cuerpo Agua Relevante	Subfluvial	71+580	71+617	37	0.500"	NA	TPE (FBE + Adhesivo + Polietileno)	0,45 m/s
23	Marcos H y Cruce Aéreo Peluco	Cruce Aéreo		76+619	76+714	95	0.250" 0.330"	Marco H y Torre+pendolones	TPE+Sigma Cover 280+Sigma Dure 550	

Anexo G. Cruces Especiales (Aéreos y Subfluviales) del Gasoducto Gibraltar-Chitagá de 12" de diámetro (continuación).

Item	Nombre	Clasificación Cruce	Cadena Pisada PK		Long	Espes	Tipo de estructura de soporte	Sist. Recub	Veloc. Medio Circund.	
24	Quebrada acora	Cuerpo Relevante Agua	Subfluvial	83+271	83+299	28	0.250"	NA	TPE (FBE + Adhesivo + Polietileno)	0,3 m/s
25	Río chitagá	Cuerpo Relevante Agua	Subfluvial	85+248	85+278	30	0.250" 0.500"	NA	TPE (FBE + Adhesivo + Polietileno)	0,82 m/s

Anexo H. Cruces Especiales (Aéreos y Subfluviales) del Gasoducto Chitagá-Bucaramanga de 12" de diámetro

Item	Nombre	Clasificación Cruce	Cadena Pisada PK		Long (m)	Espes (in)	Tipo de estructura de soporte	Sist. Recub	Veloc. Medio Circund.	
			Inicial	Final						
1	Río Angosturas	Cuerpo Relevante Agua	Subfluvial	10+368	10+404	36	0.406" 0.500"	NA	TPE (FBE + Adhesivo + Polietileno)	0,8 m/s (seco) y de 1,0 m/s (temporada de lluvia)
2	Tubo Destapado El Enterradero	Cruce Aéreo	Falla geotécnica/geológica	16+483	16+703	220	0.250"	Polines y sacosuelo	TPE+Sigma Cover 280+Sigma Dure 550	-
3	Aéreo R. Mataperros	Cruce Aéreo		24+654	24+734	80	0.406"	Torres y Pendolones	TPE+Sigma Cover 280+Sigma Dure 500	
4	Río Aguaclara	Cuerpo Relevante Agua	Subfluvial	27+229	27+259	30	0.406" 0.500"	NA	TPE (FBE + Adhesivo + Polietileno)	0,9 m/s
5	Río Jordán	Cuerpo Relevante Agua	Subfluvial	32+500	32+522	22	0.312" 0.500"	NA	TPE (FBE + Adhesivo + Polietileno)	1,2 m/s (seco) y de 1,5 m/s (temporada de lluvia)
6	Río de Oro	Cuerpo Relevante Agua	Subfluvial	53+441	53+465	24	0.250" 0.500"	NA	FBE + TPE (Hay tub FBE y TPE)	1 m/s
7	Aéreo Ermitaños 1	Cruce Aéreo		63+650	63+682	32	0.406" 0.500"	Torres y Pendolones	TPE+Sigma Cover 280+Sigma Dure 550	
8	Río Lato	Cuerpo Relevante Agua	Subfluvial	67+811	67+839	28	0.330" 0.500"	NA	TPE (FBE + Adhesivo + Polietileno)	0,55 m/s
9	Quebrada Ruitoque	Cuerpo Relevante Agua	Subfluvial	77+443	77+464	21	0.406" 0.500"	NA	TPE (FBE + Adhesivo + Polietileno)	0,2 m/s
10	Río Frío	Cuerpo Relevante Agua	Subfluvial	81+902	81+938	36	0.500"	NA	TPE (FBE + Adhesivo + Polietileno)	0,6 m/s
11	Aéreo Q. La Iglesia	Cruce Aéreo		87+754	87+790	36	0.500"	Cercha	FBE+Sigma Cover 280+Sigma Dure 550	
12	Aéreo Q. Chimitá	Cruce Aéreo		89+529	89+589	60	0.406" 0.500"	Torres y Pendolones	Sigma Cover 280+Sigma Dure 550 + TPE	

Anexo I. Cruces Especiales (Aéreos y Subfluviales) del Gasoducto Payoa-Bucaramanga de 6” de diámetro.

Item	Nombre	Clasificación Cruce	Cadena Pisada PK		Long (m)	Espes (in)	Tipo de estructura de soporte	Sist. Recub	Veloc. Medio Circund.
			Inicial	Final					
1	Cruce aéreo Estación Uno	Cruce Aéreo	1+525	1+575	50	0.188"	Marco H	Pintuco Anticorrosivo Verde Oliva + EPC-100	
2	Cruce aéreo Quebrada Payoa 2 (Matecoco)	Cruce Aéreo	9+150	9+186	36	0.188"	Torres y Pendolones	Pintuco Anticorrosivo Verde Oliva + EPC-100	
3	Cruce aéreo Quebrada la Condera	Cruce Aéreo	15+709	15+733	24	0.188"	Anclaje a puente	Pintuco Anticorrosivo Verde Oliva + EPC-100	
4	Cruce aéreo Río Sucio 1	Cruce Aéreo	19+540	19+580	40	0.188"	Anclaje a puente	Pintuco Anticorrosivo Verde Oliva + EPC-100	
5	Cruce aéreo Río Sucio 2 (Puente Rojo)	Cruce Aéreo	23+090	23+158	68	0.280"	Torres y Pendolones	Pintuco Anticorrosivo Verde Oliva + EPC-100	
6	Cruce aéreo Quebrada la Sorda	Cruce Aéreo	29+527	29+557	30	0.188"	Torres y Pendolones	Pintuco Anticorrosivo Verde Oliva + EPC-100	
7	Cruce aéreo Caño Lisboa	Cruce Aéreo	32+260	32+283	23	0.188"	Marco H	Pintuco Anticorrosivo Verde Oliva + EPC-100	
8	Cruce Lisboa via principal (box coulvert)	Cruce Aéreo	32+928	32+952	24	0.250"	Anclaje a box coulvert	Pintuco Anticorrosivo Verde Oliva + EPC-100	
9	Cruce lago Paraguay (lecho perdido)	Cuerpo Relevante Agua	35+100	35+160	60	0.188"	NA	Pintuco Anticorrosivo Verde Oliva + EPC-100	0,02 m/s
10	Cruce aéreo Caño Guamito 1 (Lavaderos 1)	Cruce Aéreo	40+003	40+025	22	0.188"	Marco H	Pintuco Anticorrosivo Verde Oliva + EPC-100	
11	Cruce aéreo Quebrada la Angula 3	Cruce Aéreo	43+400	43+435	35	0.188"	Marco H	Pintuco Anticorrosivo Verde Oliva + EPC-100	
12	Cruce aéreo Caño San Pablo	Cruce Aéreo	47+451	47+481	30	0.188"	Marco H	Pintuco Anticorrosivo Verde Oliva + EPC-100	

Anexo J. Cruces Especiales (Aéreos y Subfluviales) del Gasoducto Payoa-Bucaramanga de 8" de diámetro.

Item	Nombre	Clasificación Cruce		Cadena PK		Long (m)	Espes (in)	Tipo de estructura de soporte	Sist. Recub	Veloc. Circund.	Medio
				Inicial	Final						
1	Cruce Quebrada Lebrija	Cuerpo Agua NO Relevante	Subfluvial	+340	+364	24	0.322"	NA	FBE	0,2 m/s	
2	Cruce Qda Payoa 1	Cuerpo Agua NO Relevante	Subfluvial	6+247	6+272	25	0.322"	NA	FBE	0,2 m/s	
3	Cruce Qda Payoa 2	Cuerpo Agua Relevante	Subfluvial	7+483	7+514	31	0.322"	NA	FBE	0,2 m/s	
4	Cruce Caño Monas	Cruce Aéreo		8+473	8+494	21	0.250"	Marco H	FBE+Esmalte poliuretano		
5	cruce Quebrada la Condera	Cuerpo Agua NO Relevante	Subfluvial	14+047	14+081	34	0.322"	NA	FBE	0,2 m/s	
6	Cruce Quebrada Agua Blanca	Cuerpo Agua NO Relevante	Subfluvial	17+265	17+297	32	0.322"	NA	FBE	0,1 m/s	
7	Cruce Rio Sucio 1	Cuerpo Agua Relevante	Subfluvial	17+952	18+008	56	0.322"	NA	FBE		
8	Cruce Quebrada la Vega	Cuerpo Agua NO Relevante	Subfluvial	18+177	18+206	29	0.322"	NA	FBE	0,2 m/s	
9	Ascenso la Peña	Cruce Aéreo		19+559	19+651	92	0.322"	Marco H	FBE+Esmalte pintuco poliuretano blanco		
10	Laja la Peña	Cruce Aéreo		19+920	20+307	387	0.322"	Marco H	FBE+Esmalte pintuco poliuretano blanco		
11	Descenso la peña	Cruce Aéreo		21+621	21+780	159	0.250"	Marco H	FBE+Esmalte pintuco poliuretano blanco		
12	Paso aéreo sector Canoas	Cruce Aéreo	Falla geotécnica/geológica	22+434	22+467	33	0.250"	Sobre el suelo	FBE+Esmalte pintuco poliuretano blanco		
13	Cruce Canoas	Cruce Aéreo		22+589	22+627	38	0.322"	Torres y Pendolones	FBE+Esmalte pintuco poliuretano blanco		
14	Ascenso Laja Canoas	Cruce Aéreo		22+630	22+702	72	0.250"	Marco H	FBE+Esmalte pintuco poliuretano blanco		
15	Cruce Rio Sucio 2	Cuerpo Agua Relevante	Subfluvial	23+866	23+946	80	0.322"	NA	FBE	1,2 m/s	
16	Cruce Quebrada la Sorda	Cuerpo Agua NO Relevante	Subfluvial	27+151	27+181	30	0.322"	NA	FBE	0,3 m/s	
17	Paso aéreo Sector Guayabales	Cruce Aéreo		28+651	28+851	200	0.250"	Sobre el suelo	FBE		
18	Cruce Lavaderos 1 (Caño Guamito 1)	Cruce Aéreo		37+618	37+661	43	0.322"	Torres y Pendolones	FBE+Esmalt pintuco poliuret blanco		
19	Cruce Guamito 2	Cuerpo Agua NO Relevante	Subfluvial	37+868	37+895	27	0.322"	NA	FBE	0,2 m/s	
20	Cruce Lavaderos 2 (Caño Guamito 3)	Cruce Aéreo		38+051	38+083	32	0.322"	Torres y Pendolones	FBE+Esmalte pintuco poliuretano blanco		
21	Cruce mi Cabaña	Cuerpo Agua NO Relevante	Subfluvial	39+670	39+695	25	0.322"	NA	FBE	0,2 m/s	

Anexo J. Cruces Especiales (Aéreos y Subfluviales) del Gasoducto Payoa-Bucaramanga de 8" de diámetro (continuación)

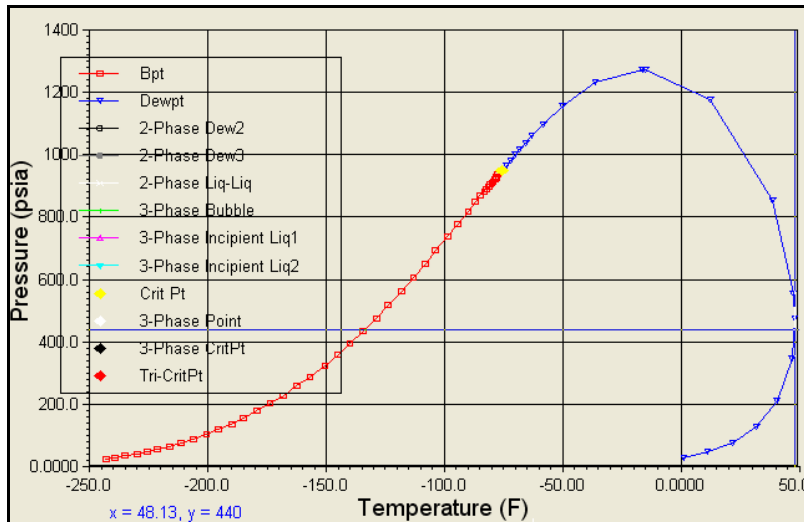
Item	Nombre	Clasificación Cruce	Cadena PK	Pisada	Long	Espes	Tipo de estructura de soporte	Sist. Recub	Veloc. Medio Circund.
22	Cruce Qda la Angula 1	Cuerpo Relevante Agua Subfluvial	40+513	40+537	24	0.322"	NA	FBE	0,05 m/s
23	Cruce Qda la Angula 2	Cuerpo Relevante Agua Subfluvial	40+701	40+729	28	0.322"	NA	FBE	0,05 m/s
24	Cruce Qda la Angula 3	Cruce Aéreo	41+043	41+098	55	0.322"	Torres y Pendolones	FBE+Esmalte pintuco poliuretano blanco	
25	Cruce Caño la Concreto	Cuerpo Agua NO Relevante Subfluvial	42+121	42+144	23	0.322"	NA	FBE	0,05 m/s
26	Cruce Caño la Represa	Cuerpo Agua NO Relevante Subfluvial	42+987	43+024	37	0.322"	NA	FBE	0,05 m/s
27	Cruce Río de Oro + Quebrada la Rosita	Cuerpo Agua Relevante Subfluvial	47+910	48+105	195	0.322"	NA	FBE	

Anexo K. Cruces Especiales (Aéreos y Subfluviales) del Gasoducto B/bermeja-Payoa de 8" de diámetro.

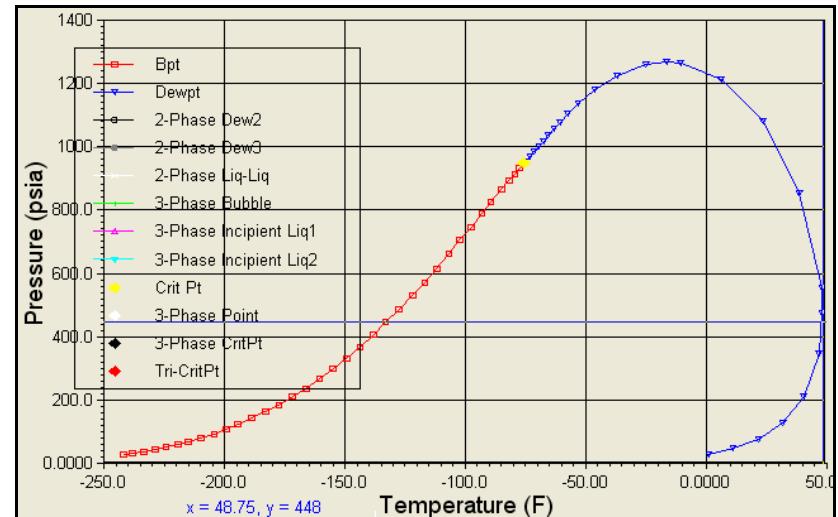
Item	Nombre	Clasificación Cruce	Zona	Cadena PK		Long (m)	Espes (in)	Tipo estructura soporte	Sist. Recub	Veloc. Medio Circund.
				Inicial	Final					
1	Zona Pantanosa PK0+350	Cuerpo Relevante Agua	Zona Pantano	0+360	0+474	114	0.250"	NA	FBE	0,02m/s
2	Zona pantanosa y Q. San Silvestre (últimos 170 m)	Cuerpo Relevante Agua	Zona Pantano	1+803	3+695	1892	0.250"	NA	FBE	0,02m/s
3	Zona Pantanosa La Cueva	Cuerpo Relevante Agua	Zona Pantano	7+715	8+039	324	0.322" 0.250"	NA	FBE	0,02m/s
4	Zona pantanosa Villa Argelia y Caño Llanito (últimos 32 m)	Cuerpo Relevante Agua	Zona Pantano	11+661	12+033	372	0.250"	NA	FBE	0,02m/s
5	Zona pantanosa PK13	Cuerpo Relevante Agua	Zona Pantano	12+980	13+113	133	0.250"	NA	FBE	0,02m/s
6	Cruce Caño Jeringa (primeros 345 m) y Zona Pantanosa Finca Astilleros	Cuerpo Relevante Agua	Zona Pantano	16+576	22+178	5602	0.250"	NA	FBE	0,02m/s
7	Cruce Río Sogamoso	Cuerpo Relevante Agua	Subfluvial	22+704	22+964	260	0.500"	NA	FBE	1 m/s
8	Marco H	Cruce Aéreo		57+834	59+390	1556	0.250" 0.322"	Marco H	FBE	

Anexo L. Simulación sin ajuste Envolvente de fases del Gas Gibraltar

EOS Kabadi-Danner



EOS SRK



Critical Values	
Two-Phase Critical Temperature	-75.54 F
Two-Phase Critical Pressure	948.7 psia
Three-Phase Critical Temperature	<empty>
Three-Phase Critical Pressure	<empty>

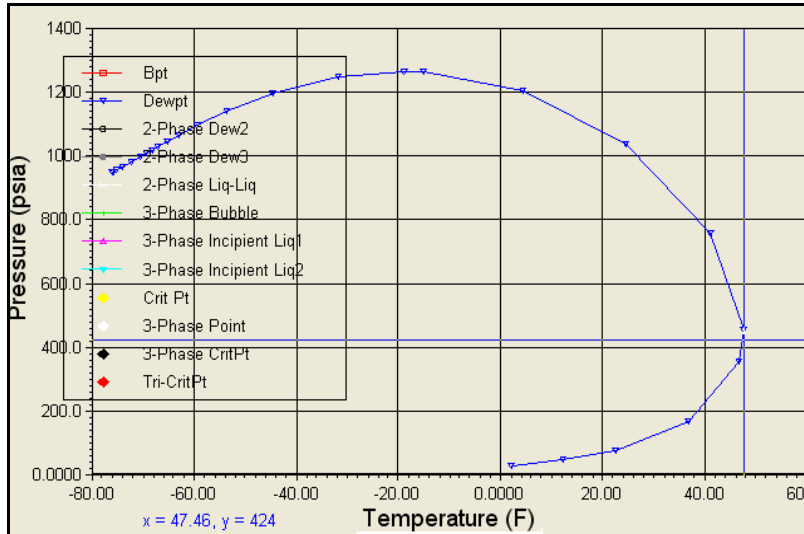
Maxima	
Cricondentherm	48.60 F
Cricondenbar	1272 psia

Critical Values	
Two-Phase Critical Temperature	-75.23 F
Two-Phase Critical Pressure	950.2 psia
Three-Phase Critical Temperature	<empty>
Three-Phase Critical Pressure	<empty>

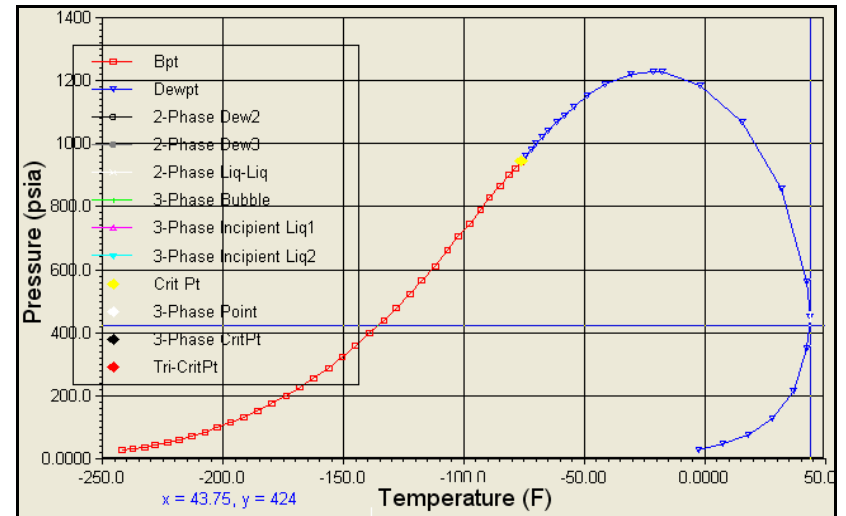
Maxima	
Cricondentherm	48.69 F
Cricondenbar	1271 psia

Anexo L. Simulación sin ajuste Envolvente de fases del Gas Gibraltar (continuación)

EOS PRSV



EOS PENG ROBINSON



Critical Values	
Two-Phase Critical Temperature	<empty>
Two-Phase Critical Pressure	<empty>
Three-Phase Critical Temperature	<empty>
Three-Phase Critical Pressure	<empty>

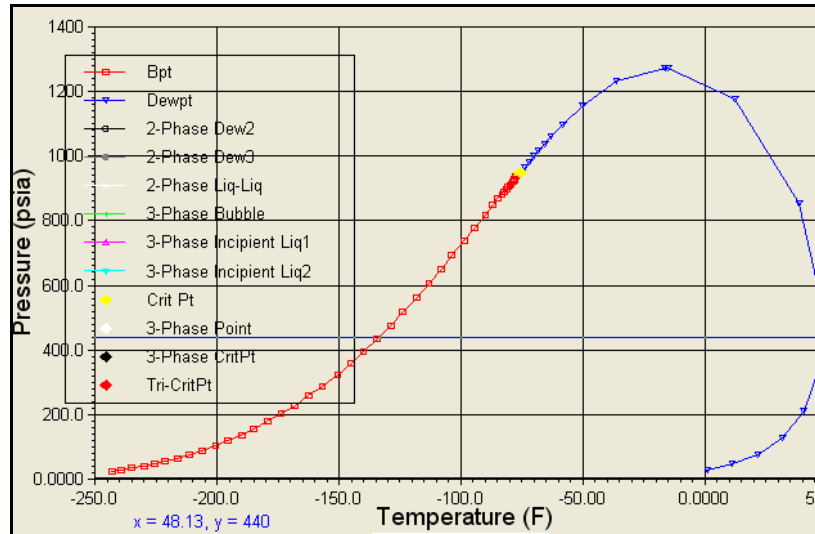
Maxima	
Cricondenbar	47.70 F
Cricondenbar	1266 psia

Critical Values	
Two-Phase Critical Temperature	-75.79 F
Two-Phase Critical Pressure	947.1 psia
Three-Phase Critical Temperature	<empty>
Three-Phase Critical Pressure	<empty>

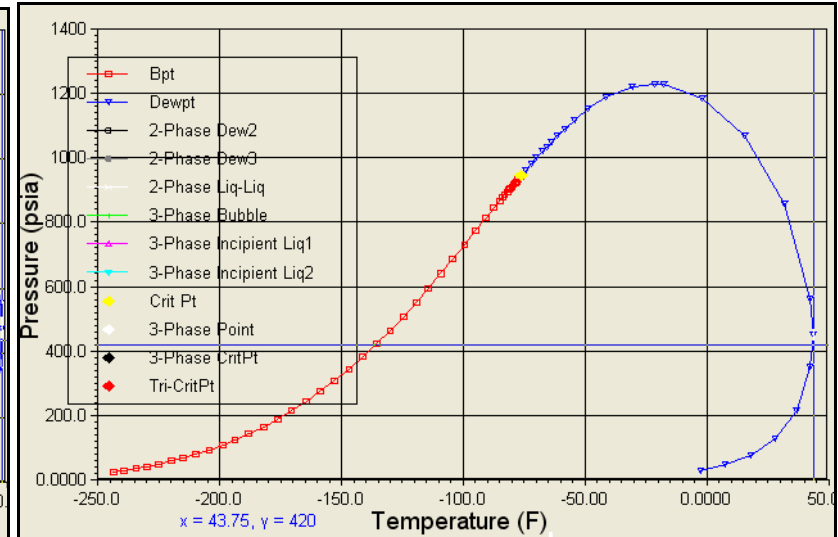
Maxima	
Cricondenbar	43.85 F
Cricondenbar	1231 psia

Anexo L. Simulación sin ajuste Envolvente de fases del Gas Gibraltar (continuación)

EOS Sour SRK



EOS Sour PR



Critical Values	
Two-Phase Critical Temperature	-75.54 F
Two-Phase Critical Pressure	948.7 psia
Three-Phase Critical Temperature	<empty>
Three-Phase Critical Pressure	<empty>

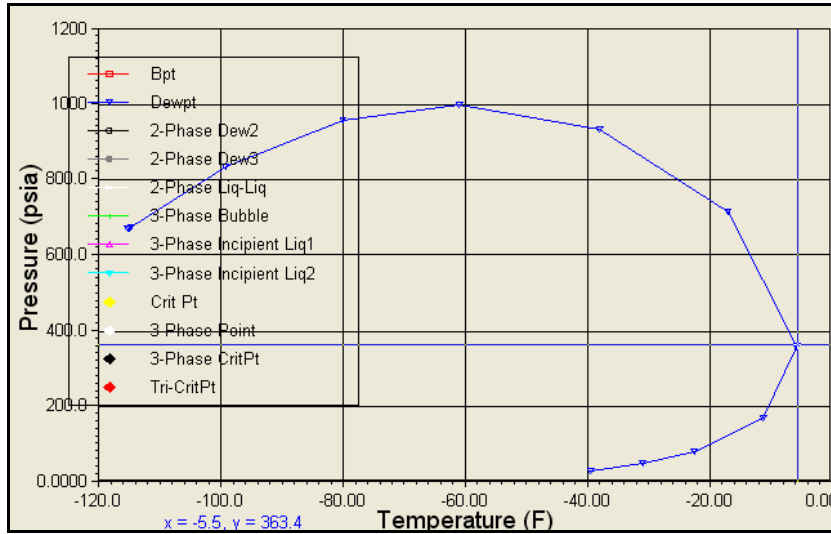
Maxima	
Cricondentherm	48.60 F
Cricondenbar	1272 psia

Critical Values	
Two-Phase Critical Temperature	-75.96 F
Two-Phase Critical Pressure	945.6 psia
Three-Phase Critical Temperature	<empty>
Three-Phase Critical Pressure	<empty>

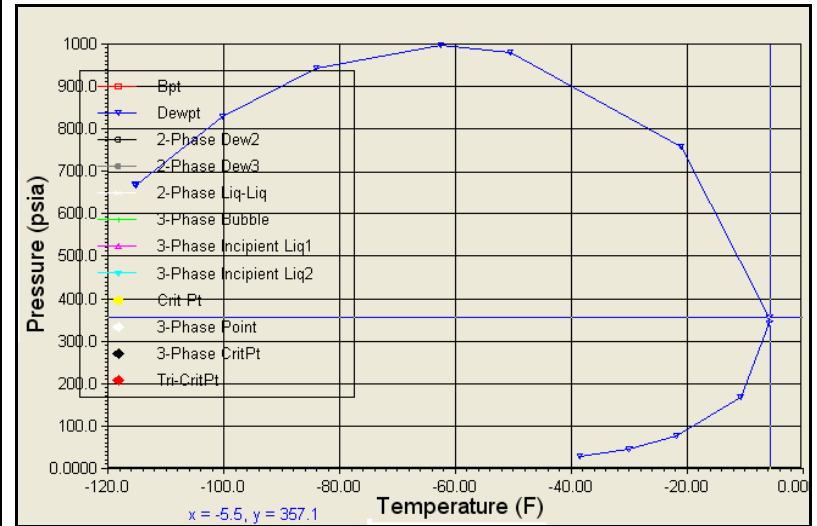
Maxima	
Cricondentherm	43.85 F
Cricondenbar	1231 psia

Anexo M. Simulación sin ajuste Envolvente de fases del Gas Ballenas

EOS Kabadi-Danner



EOS PRSV



Critical Values	
Two-Phase Critical Temperature	<empty>
Two-Phase Critical Pressure	<empty>
Three-Phase Critical Temperature	<empty>
Three-Phase Critical Pressure	<empty>

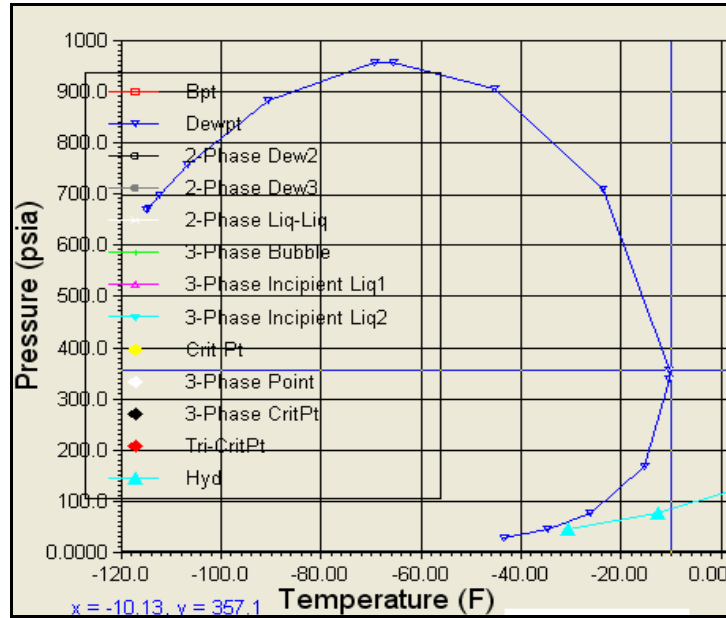
Maxima	
Cricondetherm	-5.502 F
Cricondenbar	1001 psia

Critical Values	
Two-Phase Critical Temperature	<empty>
Two-Phase Critical Pressure	<empty>
Three-Phase Critical Temperature	<empty>
Three-Phase Critical Pressure	<empty>

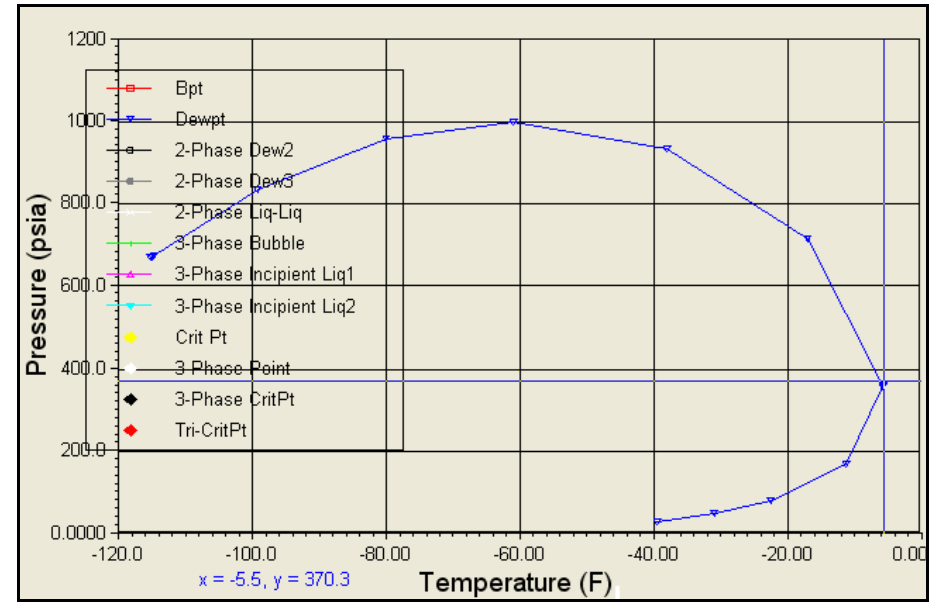
Maxima	
Cricondetherm	-5.585 F
Cricondenbar	998.3 psia

Anexo M. Simulación sin ajuste Envolvente de fases del Gas Ballenas (Continuación)

EOS Peng Robinson



EOS Sour SRK



Critical Values	
Two-Phase Critical Temperature	<empty>
Two-Phase Critical Pressure	<empty>
Three-Phase Critical Temperature	<empty>
Three-Phase Critical Pressure	<empty>

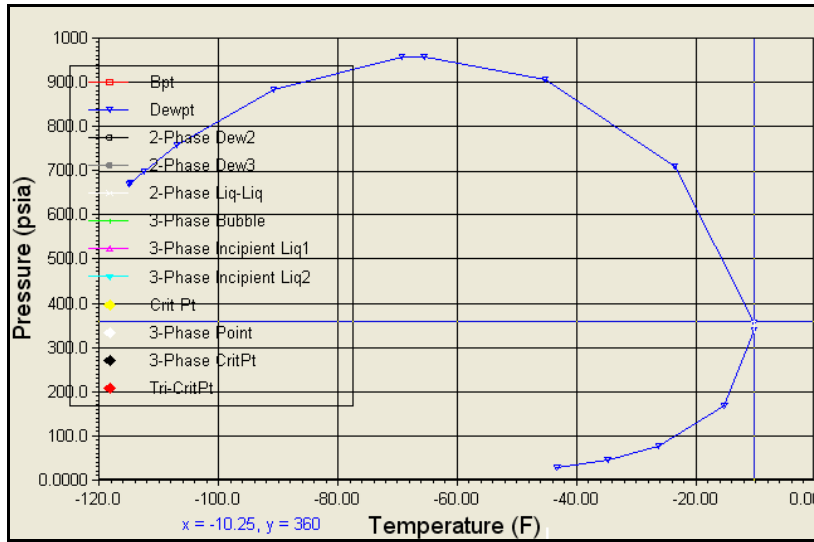
Maxima	
Cricondentherm	-10.20 F
Cricondenbar	959.9 psia

Critical Values	
Two-Phase Critical Temperature	<empty>
Two-Phase Critical Pressure	<empty>
Three-Phase Critical Temperature	<empty>
Three-Phase Critical Pressure	<empty>

Maxima	
Cricondentherm	-5.502 F
Cricondenbar	1001 psia

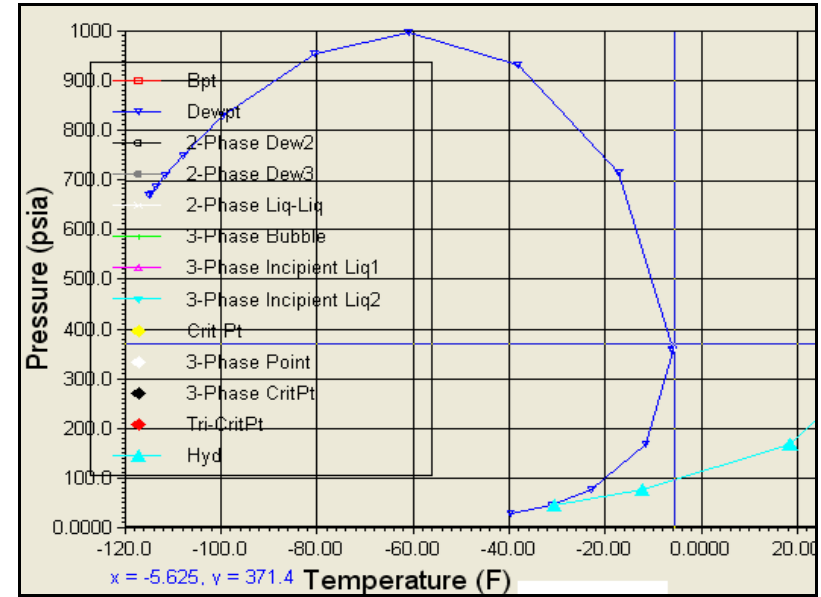
Anexo M. Simulación sin ajuste Envolvente de fases del Gas Ballenas (Continuación)

EOS Sour PR



Critical Values	
Two-Phase Critical Temperature	<empty>
Two-Phase Critical Pressure	<empty>
Three-Phase Critical Temperature	<empty>
Three-Phase Critical Pressure	<empty>
Maxima	
Cricondentherm	-10.20 F
Cricondenbar	959.9 psia

EOS SRK



Critical Values	
Two-Phase Critical Temperature	<empty>
Two-Phase Critical Pressure	<empty>
Three-Phase Critical Temperature	<empty>
Three-Phase Critical Pressure	<empty>
Maxima	
Cricondentherm	-5.696 F
Cricondenbar	999.1 psia

Anexo N. Comparativo datos reales vs simulación HYSYS para el Escenario 1

Propiedad / Estación	Estac. Gibralt	Deriv. Samoré	Secc. Alto Virgen	Deriv. San Bdo	Secc. Labatec	Deriv. Labatec	Deriv. Tane	Deriv. Chitagá	Estac. Chitagá	Deriv. Silos	Secc. Berlín	Secc. Cristal	Secc. Granad	Deriv ICP	Secc. La Hormiga
Volumen (MPCSD)		0.001160		0.0027		0.025	0.0350	0.015		0.0043				0.112	
P1 = Presión real (psia)	957.0	74.0	825.0	74.0	847.0	74.0	74.0	74.0	755.0	74.0	685.0	725.0	750.0	519.7	803.0
P2 = Presión HYSYS (psia)	957.0	74.0	819.0	74.0	830.0	74.0	74.0	74.0	721.0	74.0	654.0	692.0	739.0	519.7	773.0
P2 - P1	0.0	0.0	-6.0	0.0	-17.0	0.0	0.0	0.0	-34.0	0.0	-31.0	-33.0	-11.0	0.1	-30.0
Error presión (%)	0.00%	0.00%	-0.73%	0.00%	-2.01%	0.00%	0.00%	0.00%	-4.50%	0.00%	-4.53%	-4.55%	-1.47%	0.01%	-3.74%
T0 = Temper real (°F)	102.0		58.7		68.2				57		51.5		71		
T1 = Temper HYSYS (°F)	102.0	76.4	60.2	65.0	66.0	67.4	60.0	57.0	52.2	45.6	47.6	58.6	69.2	72.4	75.2
T1 - T2	0.0		1.5		-2.2				-4.8		-3.9		-1.8		
Error Temp (%)	0.00%		2.56%		-3.23%				-8.42%		-7.57%		-2.54%		

Propiedad / Estación	Estac. Palenq	Metrogas-Gazel	Secc. Aguilas	Secc. Aeropuerto	Deriv. Gasmovil	Deriv. Lebrija	Secc. Libano	Secc. Centenario	Secc. E1	Secc. Penjamo	Secc. Rodeo	Estac. Galán
Volumen (MPCSD)	18.10	2.1			0.0082	0.14						23.20
P1 = Presión real (psia)	790.0		780.0	760.0			754.0	770.0	756.0	668.0	619.0	557.0
P2 = Presión HYSYS (psia)	771.0		761.0	746.0			753.0	762.0	746.0	668.0	621.0	570.0
P2 - P1	-19.0	0.0	-19.0	-14.0	0.0	0.0	-1.0	-8.0	-10.0	0.0	2.0	13.0
Error presión (%)	-2.41%		-2.44%	-1.84%			-0.13%	-1.04%	-1.32%	0.00%	0.32%	2.33%
T0 = Temper real (°F)	80.1								84			84.3
T1 = Temper HYSYS (°F)	76.1		76.1	73.0	72.0	74.3	75.2	74.0	81.0	82.0	81.6	82.6
T1 - T2	-4.0								-3.0			-1.7
Error (%)	-4.99%								-3.57%			-2.02%

Anexo O. Comparativo datos reales vs simulación HYSYS para el Escenario 2

Propied / Estación	Estac. Gibralt	Deriv. Samoré	Secc. Alto Virgen	Deriv. San Bdo	Secc. Labate	Deriv. Labate	Deriv. Tane	Deriv. Chitagá	Estac. Chitagá	Deriv. Silos	Secc. Berlín	Secc. Cristal	Secc. Granadil	Deriv_ ICP	Secc. La Hormiga
Volumen (MPCSD)		0.001160		0.0027		0.025	0.0350	0.015		0.0043				0.112	
P1 = Presión real (psia)	957.0	74.0	820.0	74.0	839.0	74.0	74.0	74.0	760.0	74.0	682.0	727.0	757.0	519.7	805.0
P2 = Presión HYSYS (psia)	957.0	74.0	821.0	74.0	837.0	74.0	74.0	74.0	731.0	74.0	669.0	714.0	765.0	519.7	805.0
P2 - P1	0.0	0.0	1.0	0.0	-2.0	0.0	0.0	0.0	-29.0	0.0	-13.0	-13.0	8.0	0.1	0.0
Error presión (%)	0.00%	0.00%	0.12%	0.00%	-0.24%	0.00%	0.00%	0.00%	-3.82%	0.00%	-1.91%	-1.79%	1.06%	0.01%	0.00%
T0 = Temper real (°F)	101.0		58.6		68.1				58		54	55.8	71		
T1 = Temper HYSYS (°F)	101.0	75.9	60.2	65.0	66.2	67.7	60.3	57.5	53.0	46.0	48.0	59.0	69.3	73.0	75.3
T1 - T2	0.0		1.6		-1.9				-5.0		-6.0	3.2	-1.7		
Error (%)	0.00%		2.73%		-2.79%				-8.62%		-11.11%	5.73%	-2.39%		

Propied / Estación	Estac. Palenq	Metrogas-Gazel	Secc. Aguilas	Secc. Aeropuerto	Deriv. Gasmovil	Deriv. Lebrija	Secc. Libano	Secc. Centenario	Secc. E1	Secc. Penjamo	Secc. Rodeo	Estac. Galán
Volumen (MPCSD)	14	2.1			0.0082	0.14						25.00
P1 = Presión real (psia)	795.0		784.0	763.0			760.0	775.0	766.0	679.7	590.0	545.0
P2 = Presión HYSYS (psia)	805.0		794.0	778.0			784.0	794.0	775.0	684.0	627.0	565.6
P2 - P1	10.0		10.0	15.0			24.0	19.0	9.0	4.4	37.0	20.6
Error presión (%)	1.26%		1.28%	1.97%			3.16%	2.45%	1.17%	0.64%	6.27%	3.78%
T0 = Temper real (°F)	81								85			84
T1 = Temper HYSYS (°F)	76.0		76.1	73.0	71.8	74.2	75.2	73.8	81.0	82.0	81.6	82.2
T1 - T2	-5.0								-4.0			-1.8
Error (%)	-6.17%								-4.71%			-2.14%

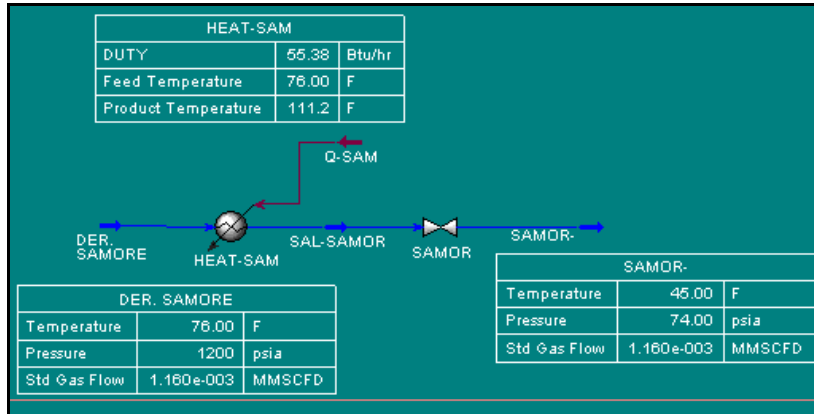
Anexo P. Comparativo datos reales vs simulación HYSYS para el Escenario 3

Propied / Estación	Estac. Gibralt	Deriv. Samoré	Secc. Alto Virgen	Deriv. San Bdo	Secc. Labate	Deriv. Labate	Deriv. Tane	Deriv. Chitagá	Estac. Chitagá	Deriv. Silos	Secc. Berlín	Secc. Cristal	Secc. Granadil	Deriv_ ICP	Secc. La Hormiga
Volumen (MPCSD)		0.001160		0.0027		0.025	0.0350	0.015		0.0043				0.112	
P1 = Presión real (psia)	953.0	74.0	810.0	74.0	823.0	74.0	74.0	74.0	746.0	74.0	670.0	712.0	740.0	519.7	790.0
P2 = Presión HYSYS (psia)	953.0	74.0	819.0	74.0	838.0	74.0	74.0	74.0	734.0	74.0	676.0	724.0	777.0	519.7	820.0
P2 - P1	0.0	0.0	9.0	0.0	15.0	0.0	0.0	0.0	-12.0	0.0	6.0	12.0	37.0	0.1	30.0
Error presión (%)	0.00%	0.00%	1.11%	0.00%	1.82%	0.00%	0.00%	0.00%	-1.61%	0.00%	0.90%	1.69%	5.00%	0.01%	3.80%
T0 = Temper real (°F)	101.0		58.5		68.0				59		53		70		
T1 = Temper HYSYS (°F)	101.0	75.9	60.0	65.0	66.2	67.7	60.3	57.5	52.4	46.0	48.0	59.0	69.3	73.0	75.3
T1 - T2	0.0		1.5		-1.8				-6.6		-5.0		-0.7		
Error (%)	0.00%		2.56%		-2.65%				-11.19%		-9.43%		-1.00%		

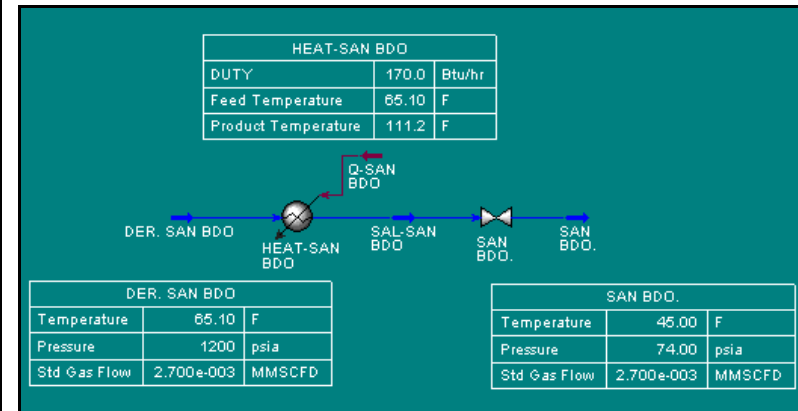
Propied / Estación	Estac. Palenq	Metrogas-Gazel	Secc. Aguilas	Secc. Aeropuerto	Deriv. Gasmovil	Deriv. Lebrija	Secc. Libano	Secc. Centenario	Secc. E1	Secc. Penjamo	Secc. Rodeo	Estac. Galán
Volumen (MPCSD)	8.6	2.1			0.0082	0.14						28.70
P1 = Presión real (psia)	795.0		780.0	758.0			740.0	754.0	735.0	679.7	512.0	428.0
P2 = Presión HYSYS (psia)	822.0		807.0	790.0			788.0	793.0	759.0	640.0	532.0	413.0
P2 - P1	27.0		27.0	32.0	0.0	0.0	48.0	39.0	24.0	-39.7	20.0	-15.0
Error presión (%)	3.40%		3.46%	4.22%			6.49%	5.17%	3.27%	-5.83%	3.91%	-3.50%
T0 = Temper real (°F)	82								85			83.7
T1 = Temper HYSYS (°F)	75.0		75.9	73.0	71.8	74.2	75.0	73.2	81.0	81.0	81.3	80.0
T1 - T2	-7.0								-4.0			-3.7
Error (%)	-8.54%								-4.71%			-4.42%

Anexo Q. Cálculo Sistema de calentamiento puntos de salida

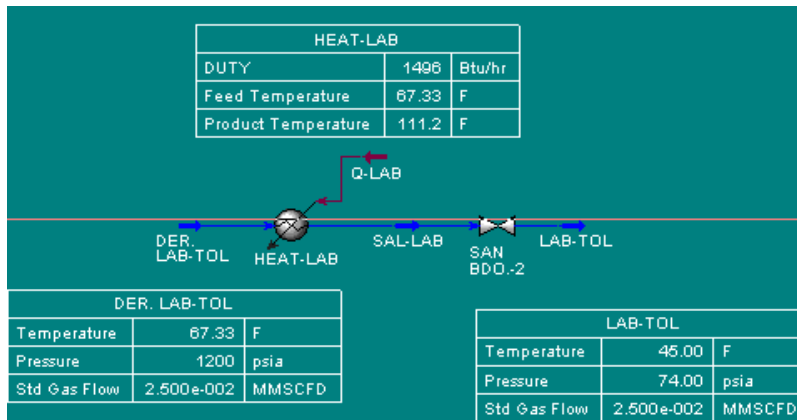
DERIVACION DE SAMORE:



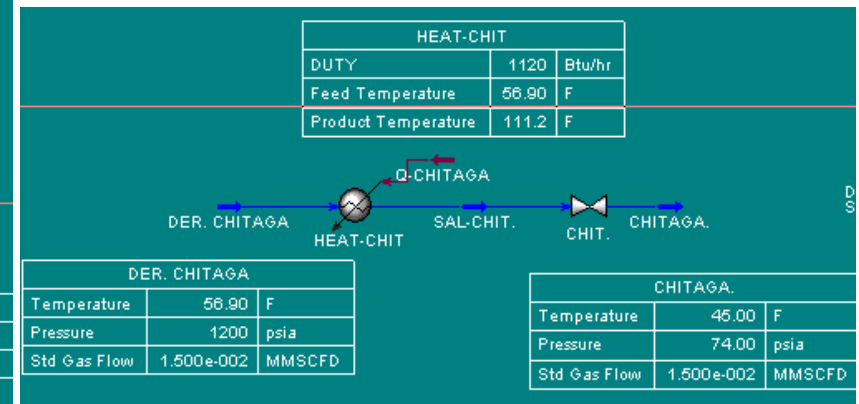
DERIVACION DE SAN BERNARDO DE BATA:



DERIVACION LABATECA-TOLEDO:

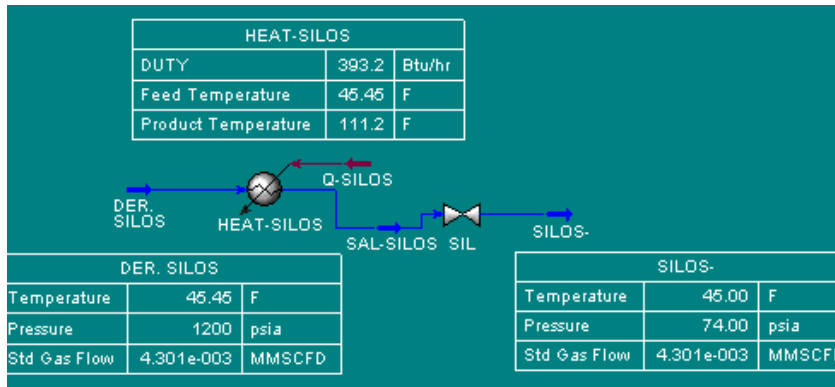


DERIVACION DE CHITAGA:

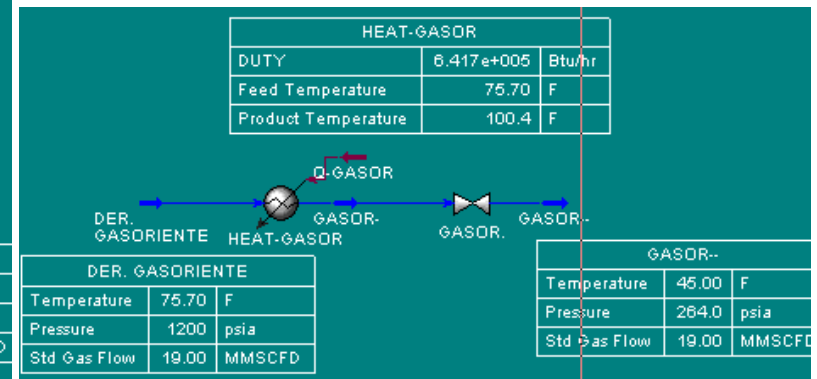


Anexo Q. Cálculo Sistema de calentamiento puntos de salida (continuación)

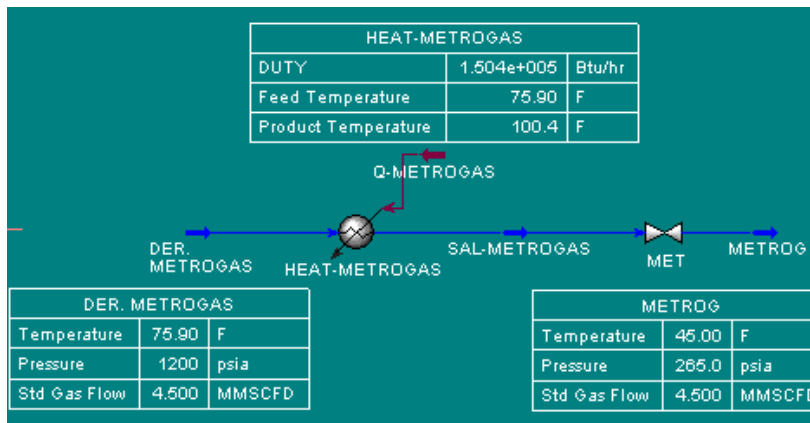
DERIVACION DE SILOS:



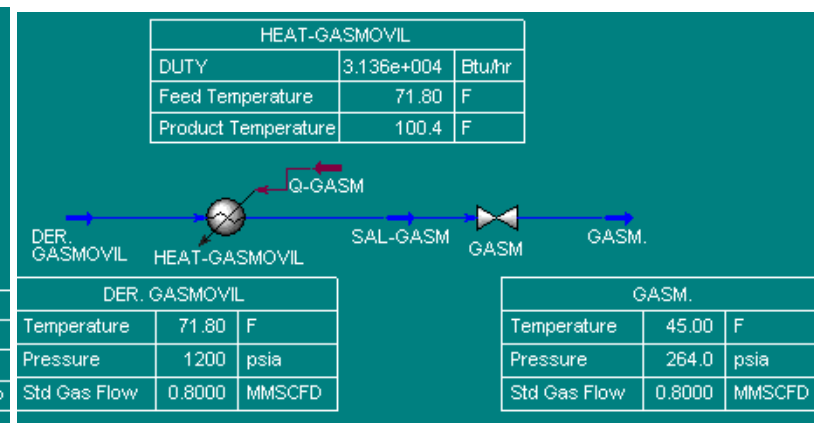
DERIVACION DE GASORIENTE-ESSA:



DERIVACION DE METROGAS-GAZEL:

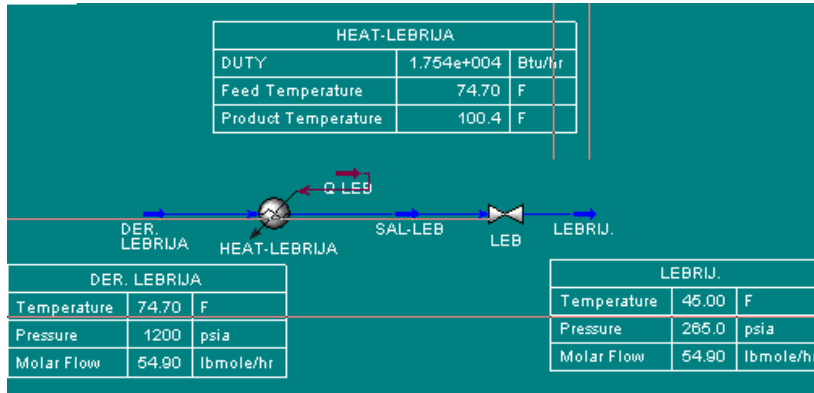


DERIVACION DE GASMOVIL:



Anexo Q. Cálculo Sistema de calentamiento puntos de salida (continuación)

DERIVACION DE LEBRIJA:



DERIVACION DE GALAN-BARRANCABERMEJA:

