

**DISEÑO DEL SISTEMA VIRTUAL Y LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS
NATURAL EN EL MUNICIPIO DE BUCARASICA DESDE EL
CAMPO CERRO GORDO**

**DANIEL SEBASTIÁN ALBARRACÍN BONILLA
MARÍA CAMILA ARANGO TORRES**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BOGOTÁ D.C
2019**

**DISEÑO DEL SISTEMA VIRTUAL Y LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS
NATURAL EN EL MUNICIPIO DE BUCARASICA DESDE EL
CAMPO CERRO GORDO**

**Proyecto integral de grado para optar por el título de:
INGENIERO DE PETRÓLEOS**

**Director
Benjamín Alexis Garavito Linares
Ingeniero de Petróleos**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BOGOTÁ D.C
2019**

Nota de aceptación

Ing. Jorge Mario Palma Bustamante

Ing. Edinson Enrique Jiménez Bracho

Bogotá D.C., octubre de 2019

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Decano de la Facultad de Ingenierías

Ing. JULIO CÉSAR FUENTES ARISMENDI

Director del Programa de Ingeniería de Petróleos

Ing. JUAN CARLOS RODRÍGUEZ ESPARZA

Las Directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente al autor.

A Dios por permitirme cumplir con este objetivo en mi vida, por regalarme salud, amor, conocimiento y poder seguir creciendo como persona.

A mis padres Jimmy Albarracín y Alexandra Bonilla, por su amor, por su apoyo incondicional, por su dedicación, por inculcarme siempre los mejores valores para formarme como persona y como profesional, por creer en mí y por su esfuerzo por que gracias a eso puedo cumplir mis sueños, todos mis logros son gracias a ustedes.

A mis hermanas Jeimy y María Paula por todo el apoyo durante estos años y por ser un motivo más para lograr mis sueños y metas.

A mis abuelos por apoyarme siempre y motivarme a cumplir mis objetivos a pesar de las dificultades que se presenten.

A mi compañera María Camila Arango Torres, por su dedicación, esfuerzo para culminar con éxito este proyecto y por su amor durante esta etapa de mi vida.

A mis amigos quienes estuvieron presentes durante toda mi carrera, por todos los momentos que disfrutamos y por estar siempre ahí con su apoyo incondicional.

Daniel Sebastián Albarracín Bonilla

A Dios por guiarme en mi camino, por darme sabiduría, fortaleza y llenar mi vida de bendiciones.

A mis padres Mauricio y Alexandra quienes siempre me apoyaron, me impulsaron a cumplir mis sueños y me permitieron formarme profesionalmente bajo su cariño y amor.

A mi hermano Felipe por permitirme crecer a su lado y compartir infinidad de risas juntos.

A mis abuelos Jorge y Sonia por creer en mí y sentirse orgullosos de cada paso que doy en mi camino.

*A mi abuelo Alberto, que desde el cielo celebra conmigo.
Seguiré cumpliendo sueños, y tu estarás en algún sitio, asistiendo.*

A mi compañero Daniel Albarracín B. con quien comparto este triunfo, por llenar de amor esta etapa de mi vida.

A mis amigas y mis compañeros de universidad, quienes siempre estuvieron conmigo, apoyándome y disfrutando esta etapa juntos.

María Camila Arango Torres

AGRADECIMIENTOS

A Dios por guiarnos por el mejor camino para la culminación de este proyecto, darnos fuerzas para superar las dificultades, protegernos en cada paso que damos y por bendecir nuestras vidas día a día.

A la Fundación Universidad de América por habernos permitido formarnos y ser parte de ella, al cuerpo de docentes por sus aportes y conocimientos en este proyecto, así como sus conocimientos impartidos en diferentes asignaturas durante nuestro paso por la Universidad.

A la empresa WATTLE PETROLEUM COMPANY S.A.S por habernos permitido realizar este proyecto, por la confianza puesta en nosotros y por toda la información suministrada durante este tiempo.

A nuestro director de tesis, el Ingeniero Benjamín Alexis Garavito Linares por brindarnos esta oportunidad, por su entusiasmo, carisma y disposición para guiarnos a una culminación exitosa.

A nuestros padres por habernos forjado como las personas que somos, por apoyarnos en cumplir nuestros sueños, por confiar en nosotros en cada una de las decisiones tomadas y amarnos incondicionalmente todos los días de nuestras vidas.

A nuestros abuelos por todo su amor, por habernos permitido compartir y disfrutar la vida a su lado, por todos los consejos dados y por creer en nuestro potencial.

A nuestros hermanos por complementar nuestras familias y por todos los momentos de felicidad que hemos pasado.

A nuestros amigos y compañeros por haber compartido todo este tiempo a nuestro lado, por estar presentes durante toda la carrera y por todos los momentos que disfrutamos juntos.

ÍNDICE

	pág.
INTRODUCCIÓN	20
SINOPSIS	22
1. MARCO TEÓRICO	23
1.1 GENERALIDADES DEL MUNICIPIO DE BUCARASICA	23
1.2 GENERALIDADES DEL GAS NATURAL	25
1.3 CARACTERÍSTICAS DE PRODUCCIÓN DEL CAMPO CERRO GORDO	26
1.3.1 Ubicación del campo	26
1.3.2 Historial de producción	28
1.3.3 Cromatografía del gas	29
1.3.4 Facilidades de superficie	30
1.4 GASODUCTO VIRTUAL	31
1.4.1 Generalidades del gasoducto virtual	32
1.4.2 Etapas del sistema virtual	32
2. METODOLOGÍA Y DATOS	34
2.1 ESTUDIO DE MERCADO	34
2.2 ESTIMACIÓN DEL CAUDAL DE GAS	35
2.3 CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA VIRTUAL	36
2.3.1 Estandarización de tipos de vehículos para el transporte de GNC	36
2.3.2 Estación descompresora	37
2.4 DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN	37
2.4.1 Parámetros de diseño	37
2.4.2 Simulación de la red de distribución en Aspen HYSYS	37
2.5 ESTUDIO FINANCIERO	41
3. RESULTADOS	43
3.1 ESTUDIO DE MERCADO	43
3.2 RANGO DE CAUDAL DE GAS	47
3.3 DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA VIRTUAL	48
3.4 DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN	50
3.4.1 Parámetros de diseño	50
3.4.1.1 Caudal de gas	50
3.4.1.2 Características de tubería	50
3.4.1.3 Trazado de tubería	51
3.4.1.4 Válvulas y accesorios	51
3.4.1.5 Parámetros de tendido de la red	52
3.4.2 Simulación de la red de distribución en Aspen HYSYS	53
3.5 ESTUDIO FINANCIERO	66

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	70
4.1 ESTUDIO DE MERCADO Y RANGO DE CAUDAL DE GAS	70
4.2 DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA VIRTUAL	71
4.2.1 Compresión	71
4.2.2 Cargue de módulos	71
4.2.3 Transporte	72
4.2.4 Descompresión	72
4.3 DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN	72
4.4 ESTUDIO FINANCIERO	76
5. CONCLUSIONES	79
6. RECOMENDACIONES	80
BIBLIOGRAFÍA	81
ANEXOS	83

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Especificaciones de calidad del gas natural para transporte	25
Tabla 2. Cromatografía del gas producido en el Campo Cerro Gordo	30
Tabla 3. Propiedades del gas	30
Tabla 4. Ficha técnica estudio de mercado	34
Tabla 5. Formato de encuesta	35
Tabla 6. Resultado de la encuesta	43
Tabla 7. Caudal de gas natural	48
Tabla 8. Diseño del sistema virtual	49
Tabla 9. Tipo y diámetro de tubería	51
Tabla 10. Longitud de tubería	51
Tabla 11. Válvulas y accesorios	52
Tabla 12. Resultados simulación estación descompresión	54
Tabla 13. Resultados simulación red de distribución	55
Tabla 14. Presión y temperatura según la línea	56
Tabla 15. Equipos y materiales	67
Tabla 16. Instalación y mano de obra	67
Tabla 17. Ingresos por venta según estrato de la vivienda	68
Tabla 18. Ingresos por venta según periodo	68
Tabla 19. Costos de compra GNC	68
Tabla 20. Costos de transporte GNC	68
Tabla 21. Horizonte de proyección flujo de caja	69
Tabla 22. Variación de presión y temperatura	74
Tabla 23. Mayores pérdidas de presión y temperatura	75
Tabla 24. Comparativa de presión y temperatura según la línea	75

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Perfil de producción mensual del Campo Cerro Gordo	28
Gráfica 2. Perfil de producción total del Campo Cerro Gordo	29
Gráfica 3. Estrato de la vivienda en el municipio de Bucarasica	44
Gráfica 4. Número de habitantes por vivienda	44
Gráfica 5. Tipo de combustible de uso doméstico	45
Gráfica 6. Frecuencia de uso de combustible	45
Gráfica 7. Costo mensual de combustible doméstico	46
Gráfica 8. Conocimiento sobre el gas natural	46
Gráfica 9. Combustible de preferencia	47
Gráfica 10. Adquisición y uso de gas natural	47
Gráfica 11. Resultados simulación Troncal	58
Gráfica 12. Resultados simulación Anillo 1	58
Gráfica 13. Resultados simulación Acometida 1	59
Gráfica 14. Resultados simulación Anillo 2	59
Gráfica 15. Resultados simulación Acometida 2	60
Gráfica 16. Resultados simulación Anillo 3	60
Gráfica 17. Resultados simulación Acometida 3	61
Gráfica 18. Resultados simulación Anillo 4	61
Gráfica 19. Resultados simulación Acometida 4	62
Gráfica 20. Resultados simulación Anillo 5	62
Gráfica 21. Resultados simulación Acometida 5	63
Gráfica 22. Resultados simulación Anillo 6	63
Gráfica 23. Resultados simulación Acometida 6	64
Gráfica 24. Resultados simulación Anillo 7	64
Gráfica 25. Resultados simulación Acometida 7	65
Gráfica 26. Resultados simulación Anillo 8	65
Gráfica 27. Resultados simulación Acometida 8	66

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Localización geográfica del municipio de Bucarasica	24
Figura 2. Localización geográfica del Campo Cerro Gordo	27
Figura 3. Diagrama de tuberías e instrumentación -P&ID- de la facilidad de superficie del Campo Cerro Gordo y planta de gas La Florida	31
Figura 4. Diagrama de proceso y etapas del sistema virtual	33
Figura 5. Diagrama de flujo proceso software Aspen Hysys	38
Figura 6. Diagrama del sistema virtual	48
Figura 7. Ruta desde el Campo Cerro Gordo hacia el municipio de Bucarasica	49
Figura 8. Parámetros de tendido de tubería	52
Figura 9. Simulación estación de descompresión	53
Figura 10. Simulación red de distribución de gas natural	57
Figura 11. Flujo de caja	69

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Ecuación de Estado PR (Peng-Robinson)	39
Ecuación 2. Modelo de Müller	40
Ecuación 3. Cálculo Valor Presente Neto	42
Ecuación 4. Cálculo Tasa Interna de Retorno	42

ABREVIATURAS

COP.	Peso Colombiano
CREG.	Comisión de Regulación de Energía y Gas
GLP.	Gas Licuado del Petróleo
GNC.	Gas Natural Comprimido
GGR.	Grupos Generadores de Riesgo
IPC.	Índice de Precios al Consumidor
MSCF.	Millón de Pies Cúbicos Estándar
MSCFD.	Millón de Pies Cúbicos Estándar Día
MMBTU.	Millón de Unidades Térmicas Británicas
PEMD.	Polietileno de Media Densidad
PSI.	Libra por Pulgada Cuadrada
RDE.	Relación Dimensional Estándar
TIO.	Tasa Interna de Oportunidad
TIR.	Tasa Interna de Retorno
TRM.	Tasa Representativa del Mercado
VPN.	Valor Presente Neto

GLOSARIO

ACCESORIO: elemento de empalme de tuberías, utilizados para cambios de nivel, ramificaciones, reducciones o acoples.¹

ANILLO: sistema de tuberías y accesorios de polietileno de mediana densidad derivadas de troncales que forman circuitos cerrados y mallas.²

CENTRO DE MEDICIÓN: equipos y elementos necesarios para la regulación, control y medición del suministro del servicio de gas.³

CLASE DE LOCALIDAD: clasificación del área geográfica a lo largo del sistema de tuberías, de acuerdo al número y proximidad a edificaciones. Se aplica para la prescripción de factores de diseño de construcción, operación y ensayo de tuberías localizadas en un área.⁴

ESTACIÓN REGULADORA: Instalación destinada a reducir la presión del gas.⁵

GASODUCTO VIRTUAL: técnica de transporte de gas natural comprimido que replica el flujo continuo de un ducto físico estático en aquellos lugares donde los ductos físicos no pueden monetizar el gas, donde se mueven y cambian los centros de demanda y oferta.⁶

LÍNEA DE ACOMETIDA: sistema de tuberías para el suministro de gas, desde las líneas primarias o secundarias hasta la válvula de corte individual de consumo.⁷

¹ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Instalaciones para Suministro de Gas Combustible Destinadas a usos Residenciales y Comerciales. ICONTEC. 2006. (NTC 2505). p. 1

² *Ibíd.* p. 1

³ *Ibíd.* p. 2

⁴ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Gasoductos. Presiones de Operación Permisibles para el Transporte, Distribución y Suministros de Gases Combustibles. ICONTEC. 2004. (NTC 3838). p.3

⁵ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Gasoductos. Líneas de Transporte y Redes de Distribución de Gas. ICONTEC. 2001. (NTC 3728). p.3

⁶ COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS. Compresión y transporte de gas natural comprimido –GNC- 2004. (CREG-048). p.63

⁷ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Gasoductos. Presiones de Operación Permisibles para el Transporte, Distribución y Suministros de Gases Combustibles. ICONTEC. 2004. (NTC 3838). p.4

LÍNEA SECUNDARIA: sistema de tuberías derivadas de las líneas primarias que se extienden hacia la línea de acometida en un sector de la red de distribución. Tuberías de materiales plásticos especiales de presión media.⁸

LOCALIDAD CLASE 3: sección de 1.600 metros de longitud que tiene 46 o más destinadas a la ocupación humana, excepto cuando prevalece una Localidad Clase 4. Propone reflejar las áreas con desarrollos suburbanos, centros comerciales, áreas residenciales, áreas industriales y otras áreas pobladas no incluidas en los requisitos de Localidad Clase 4.⁹

MÁXIMA PRESIÓN DE OPERACIÓN PERMISIBLE (MPOP): máxima presión a la cual puede ser operado un sistema de tuberías para conformar redes de suministro de gas.¹⁰

RED DE DISTRIBUCIÓN: sistema de líneas y tuberías localizado entre la salida del City Gate o la estación receptora local, hasta la válvula de corte de la acometida.¹¹

TERMOFUSIÓN: método de soldadura para unir tubería plástica y sus accesorios. El proceso consiste en calentar las partes que se van a unir a temperatura de fusión y aplicar presión sobre ellas, con acción mecánica o hidráulica, de acuerdo al tamaño de la tubería y sin usar elementos adicionales de unión.¹²

TRONCAL: sistema de tuberías y accesorios de polietileno de media densidad localizada entre la estación de almacenamiento, regulación y poliválvulas. Diámetro de una a cuatro pulgadas.¹³

TUBERÍA: en la construcción de las redes de distribución de gas natural domiciliario se utilizan tuberías plásticas en las redes externas y metálicas (cobre y/o acero galvanizado o cualquier material que cumpla con los estándares de la norma).¹⁴

⁸ *Ibíd.* p. 4

⁹ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Gasoductos. Líneas de Transporte y Redes de Distribución de Gas. ICONTEC. 2001. (NTC 3728). p.4

¹⁰ *Ibíd.* p. 5

¹¹ *Ibíd.* p. 6

¹² *Ibíd.* p. 7

¹³ CABRERA, Melissa. MARTÍNEZ, Angie. Diseño de la ampliación de la red de distribución de gas natural en el centro poblado de San Antonio de Anapoima. Bogotá D.C., 2017 Tesis de Ingeniería de Petróleos. Fundación Universidad de América. Facultad de Ingenierías. p. 44

¹⁴ *Ibíd.* p. 47

RESUMEN

El municipio de Bucarasica, Norte de Santander, no cuenta con una red de distribución de gas natural, debido a su ubicación geográfica distante a líneas de gasoductos convencionales que limita su acceso a este servicio.

Este trabajo de grado explora el uso de la tecnología de gasoducto virtual para el transporte de gas natural comprimido -GNC-. Donde se diseñó el sistema virtual desde el Campo Cerro Gordo, hacia el municipio de Bucarasica, acompañado del diseño de la red de distribución de gas natural domiciliario en la cabecera municipal.

Desarrollado a partir de las generalidades del campo productor como estación madre y el municipio como centro de consumo, donde se estableció su demanda para estimar el rango de caudal de gas requerido de 4.200 m^3 mensuales.

Para el diseño de la ruta virtual se utilizó el software ArcGIS, el diseño de la red de distribución de gas se realizó en el software Aspen HYSYS y la herramienta AutoCad, donde se determinaron diámetros de tubería de 1", $\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ ", así como una presión de descompresión de 60 psi, presión que se manejara a lo largo de la red.

Lo anterior basado en la Norma Técnica Colombiana de Gasoductos Líneas de Transporte y Redes de Distribución (NTC 3728), Plásticos. Tubos y Accesorios Termoplásticos Para Conducción de Gases a Presión (NTC 1746) y Presiones de Operación Permisibles para el Transporte, Distribución y Suministro de Gases Combustibles (NTC 3838).

Los resultados presentados ilustran el potencial de rentabilidad que puede lograrse mediante el uso de la simulación, integrándose a un modelo económico de Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna de Retorno (TIR) con el cual se determinó la inversión del proyecto en 135'324.244 COP (Ciento treinta cinco millones treientos veinticuatro mil doscientos cuarenta y cuatro pesos).

PALABRAS CLAVE: Gas natural, sistema virtual, red distribución, Bucarasica, Aspen HYSYS, Cerro Gordo.

ABSTRACT

The municipality of Bucarasica, Norte de Santander, does not have a natural gas distribution network, due to its geographical location distant from conventional gas pipeline, which limits its access to this service.

This degree work explores the use of virtual gas pipeline technology for the transport of compressed natural gas (CNG). Where the virtual system was designed from the Cerro Gordo Field, towards the municipality of Bucarasica, accompanied by the design of the home natural gas distribution network in the municipal seat.

Developed from the generalities of the producing field as a mother station and the municipality as a consumption center, where its demand was established to estimate the required monthly gas flow rate of 4200 m^3 .

The ArcGIS software was used to design the virtual route, the design of the gas distribution network was carried out in the Aspen HYSYS software and the AutoCad tool, where pipe diameters of 1", $\frac{3}{4}$ " and $\frac{1}{2}$ " were determined, as well as a decompression pressure of 60 psi, pressure that will be handled along the network.

The foregoing is based on the Colombian Technical Standard of Gas Lines, Transportation Lines and Distribution Networks (NTC 3728), Plastics. Thermoplastic Tubes and Accessories for Pressure Gas Conduction (NTC 1746) and Permissible Operating Pressures for the Transportation, Distribution and Supply of Combustible Gases (NTC 3838).

The results presented illustrate the profitability potential that can be achieved through the use of simulation, integrating into an economic model of Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR) with which the project investment was determined in 135'324.244 COP (One hundred thirty-five million three hundred twenty-four thousand two hundred forty-four pesos).

KEYWORDS: Natural gas, virtual pipeline, distribution network, Bucarasica, Aspen HYSYS, Cerro Gordo.

INTRODUCCIÓN

Colombia cuenta con veintitrés cuencas sedimentarias de las cuales en ocho se encuentran las reservas probadas de gas, estas son Llanos Orientales, Guajira Offshore, Valle Inferior del Magdalena, Valle Medio del Magdalena, Valle Superior del Magdalena, Cordillera Oriental, Catatumbo y Cesar Ranchería.

La Cuenca del Catatumbo está localizada al Noreste de Colombia en el departamento de Norte de Santander en límites con Venezuela. Limita al Norte con la Serranía de Perijá, al Sureste con los Andes de Mérida, al Este con la Cuenca de Maracaibo y al Occidente con el Macizo de Santander. Comprende los campos de Sardinata, Tibú, Cerrito, Cerro Gordo, Oripaya, entre otros, los cuales hacen parte de esta cuenca sedimentaria que aportan gas natural.

El gas natural es una fuente de energía de gran importancia a nivel doméstico, necesario para mejorar la calidad de vida de las poblaciones, facilitando actividades como la cocción de alimentos, y en aquellas zonas que lo requieren, generando ambientes cálidos mediante calefacción, beneficiando la salud de las personas ya que evita que estas estén expuestas directamente a las emisiones generadas a partir de la combustión de biomasa al interior de las viviendas.

Para su transporte, existe una red extensa de gasoductos en el territorio nacional de aproximadamente 4.500 kilómetros, la cual abarca gran cantidad de zonas para la distribución y comercialización de gas natural a partir de estos campos productores que facilita el acceso al uso de este, sin embargo, se presentan zonas las cuales carecen de este servicio debido a su ubicación geográfica distante de líneas de gasoductos convencionales, lo anterior a causa de su alto costo de construcción y acceso a lugares cuyos terrenos presentan complejidad topográfica, ocasionando la falta de redes de distribución de gas natural domiciliario en determinados municipios de Colombia.

Norte de Santander es uno de los departamentos de Colombia que presenta esta situación, por la cual varios de sus municipios no tienen acceso a este servicio, como es el caso del municipio de Bucarasica. En el cual el gasoducto existente más cercano es el que comprende la ruta Sardinata-Cúcuta, este se encuentra aproximadamente a noventa kilómetros de distancia. Como opción está la compra de cilindros de gas licuado de propano, sin embargo, estos tienen un mayor costo respecto al gas natural domiciliario, considerando el nivel socio-económico de su población que comprenden los estratos uno y dos.

La búsqueda de alternativas para brindar al municipio acceso a gas natural domiciliario surge de la necesidad de mejorar la calidad de vida de la población, disminuyendo de esta manera los efectos nocivos para la salud y el medio ambiente, logrando que los habitantes tengan la posibilidad de hacer uso de este servicio, así

como el pago de menores precios por este, contribuyendo al desarrollo social y económico de la zona.

A raíz de esto el objetivo general del proyecto es diseñar el sistema virtual para el transporte de gas natural y la red de distribución local, desde el Campo Cerro Gordo hasta el municipio de Bucarasica, logrando la facilidad de llevar el gas natural hasta sus consumidores por medio de tráileres en los cuales se transporta el gas natural en módulos de alta compresión.

Este método de transporte fue implementado en Colombia en el municipio de Arboletes, Antioquia, con el cual cerca de 2.400 familias de estratos uno y dos se beneficiaron mejorando su calidad de vida tras obtener un servicio seguro. Santander de Quilichao, Villarrica y Puerto Tejada en el Valle del Cauca y La Ceja en Antioquia son otros municipios en Colombia donde también se implementó el sistema de gasoducto virtual.¹⁵

Con base a los proyectos que se han ejecutado con éxito los autores consideran que el gasoducto virtual es la mejor opción de transporte de gas natural comprimido desde el Campo Cerro Gordo hasta el municipio, proyecto que va seguido de la simulación del diseño de la red de distribución en su cabecera municipal y mediante el análisis financiero se determinará viable el proyecto, obteniendo así el prospecto adecuado para la implementación del gas natural en el municipio.

Así pues, este proyecto abarca el desarrollo y cumplimiento de los seis objetivos específicos mencionados a continuación:

- Describir las generalidades del municipio de Bucarasica.
- Describir las generalidades del gas natural y características propias del gas del Campo Cerro Gordo.
- Estimar la demanda de gas natural del municipio de Bucarasica y establecer el sistema virtual desde el Campo Cerro Gordo.
- Definir los parámetros de diseño necesarios para la simulación de la red con el software Aspen HYSYS.
- Simular la red de distribución de gas natural usando el software Aspen HYSYS.
- Determinar la viabilidad financiera del proyecto a partir de los resultados obtenidos mediante el método Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna de Retorno (TIR).

¹⁵ PORTAFOLIO. Gasoductos virtuales llevan el combustible a zonas apartadas de Colombia. En: Portafolio. (Sep. 2010).

SINOPSIS

En primer lugar, en el marco teórico se presentan las generalidades del gas natural como su denominación, descripción, composición, características y usos, adicionalmente se describe el Campo Cerro Gordo operado por la empresa WATTLE PRETOLEUM COMPANY S.A.S dando a conocer su ubicación, historial de producción, cromatografía del gas y facilidades de producción.

A continuación, las generalidades del municipio en estudio se dan a conocer, incluyendo su localización, límites, extensión, división política, demografía y topografía.

Para estimar la demanda de gas natural del municipio, se enfoca el estudio en la cabecera municipal del mismo, donde se realizó un estudio de mercado por medio de una encuesta dirigida a los habitantes de cien viviendas, resultados que se presentan en la sección resultados estudio de mercado, lo anterior siendo correlacionado con datos de la demanda actual según la compra de cilindros de gas licuado de propano y asimismo con la disponibilidad de gas que existe en el campo de interés; datos que permiten establecer el caudal de gas requerido en el municipio según la sección resultados rango de caudal de gas.

Posteriormente se establece el sistema virtual y sus características en la sección resultados descripción y características del sistema virtual, conteniendo capacidad de los módulos, capacidad del tráiler, presión de compresión y se determina la ruta desde el Campo Cerro Gordo hasta el municipio de Bucarasica por medio de un mapa de rutas que indica la vía de transporte que recorre el gasoducto virtual.

Por otra parte, se definen los parámetros necesarios en la simulación de la red usando el software Aspen HYSYS, como lo es el tipo de tubería, diámetros respectivos, línea secundaria, troncal, anillos, válvulas, accesorios y presión de entrada, de modo que se simula la red de distribución en el software ya mencionado, en la sección resultados diseño de la red de distribución.

Finalmente, en la sección resultados estudio financiero, se determina la viabilidad financiera del proyecto mediante el método de Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna de Retorno (TIR) donde se evaluó la inversión del mismo.

A partir de los resultados obtenidos se presenta la sección análisis y discusión de resultados, además se dan a conocer las conclusiones a las que llegan los autores y las recomendaciones de los mismos respecto a la investigación.

1. MARCO TEÓRICO

En esta sección se presentan los aspectos generales del municipio de Bucarasica, así como del gas natural y características propias del Campo Cerro Gordo, a su vez se incluyen los aspectos más importantes de los gasoductos virtuales.

1.1 GENERALIDADES DEL MUNICIPIO DE BUCARASICA

Bucarasica es uno de los cuarenta municipios que conforman el departamento de Norte de Santander. Ubicado en la subregión norte dentro de la Cuenca del Río Catatumbo, con coordenadas 8°02'28"N 72°52'03"O. Su extensión territorial de 267 Km^2 limita al Noroccidente con Ábrego, al Nororiente con Sardinata, al Suroriente con Lourdes y al Suroccidente con Villa Caro.

Se encuentra localizado en una zona montañosa de topografía escarpada con cambios brusco de pendiente, cuya altitud varía entre los 1.000 y 2.500 metros sobre el nivel del mar y una temperatura promedio de 21°C.

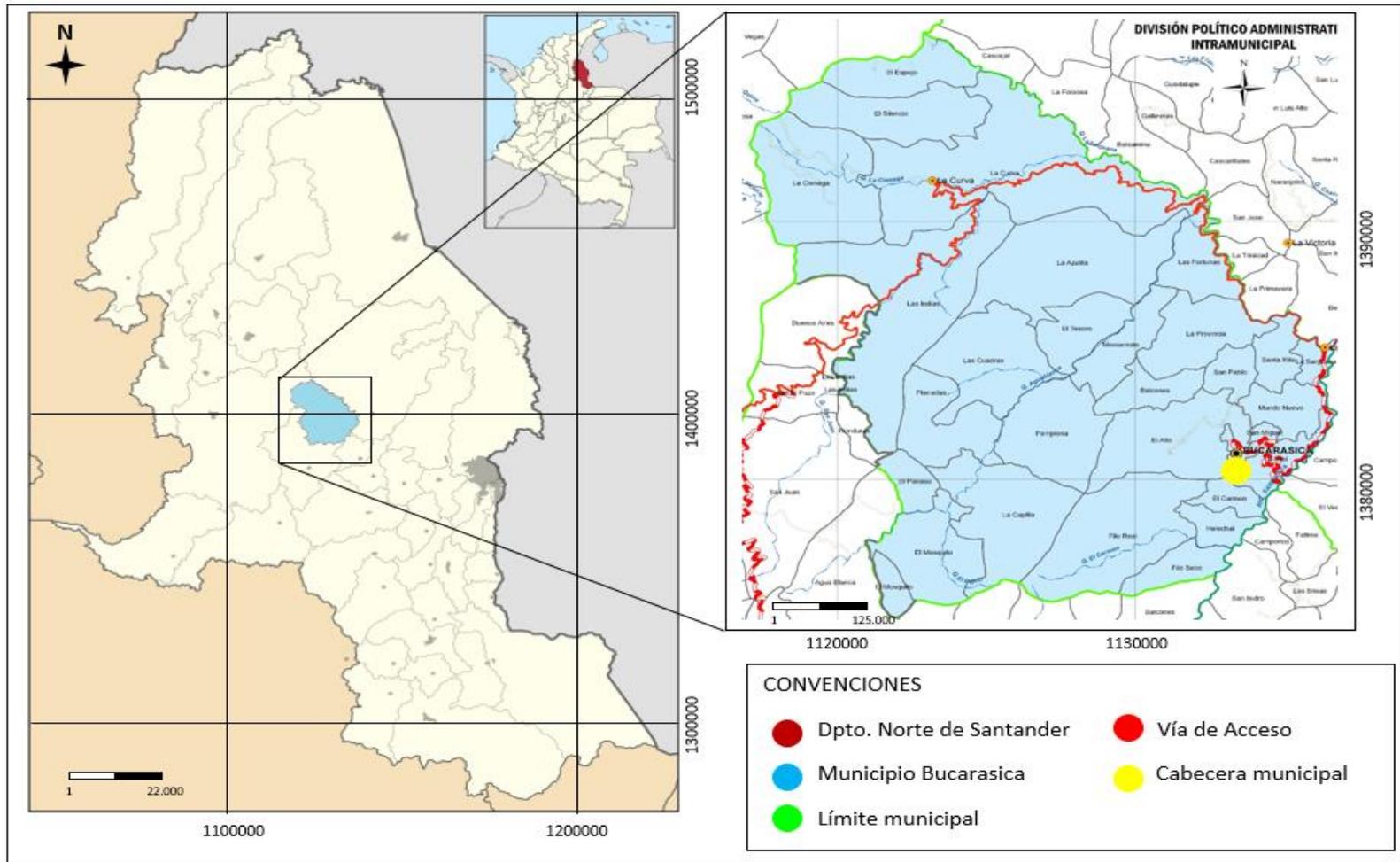
El municipio está conformado por dos centros poblados: La San Juana y La Curva, y treinta veredas: Balcones, Cotelamus, El Alto, El Carmen, El Espejo, El Helechal, El Mosquito, El Paraíso, El Silencio, El Tesoro, Filo Real, Filo Seco, La Azulita, La Capilla, La Ciénega, La Gamuza, La Miel, La Provincia, Las Fortunas, Las Cuadras, Las Indias, Monserrate, Mundo Nuevo, Pamplona, Planadas, San Antonio, San Miguel, San Pablo y Santa Rita.

Cuenta con una población total de 4.710 habitantes, de los cuales 462 están ubicados en el área urbana y 4.248 en el área rural.

Las vías principales de acceso al municipio son desde las ciudades de Cúcuta y Ocaña. Desde Cúcuta un recorrido de 138 kilómetros con duración de 3 horas 20 minutos y desde la Ocaña un recorrido de 102 kilómetros con duración de 2 horas 17 minutos.

En la **Figura 1** se presenta el mapa de localización geográfica el municipio de Bucarasica, Norte de Santander.

Figura 1. Localización geográfica del municipio de Bucarasica



Fuente: GOBERNACIÓN DE NORTE DE SANTANDER. Secretaría de Planeación y Desarrollo Territorial. División política administrativa intramunicipal. Modificado por los autores.

1.2 GENERALIDADES DEL GAS NATURAL

El gas natural es un combustible de origen fósil compuesto por hidrocarburos livianos en estado gaseoso, su composición típica es 81,66% metano, 11,61% etano, 1,92% propano, 0,23% i-butano, 0,22% n-pentano, además contiene impurezas de 0,9% y 3,18% de nitrógeno y dióxido de carbono, respectivamente. También, dependiendo del contenido de hidrocarburos de orden superior al metano el gas puede considerarse rico y en el caso contrario se considera un gas seco.

Este es extraído de yacimientos al igual que el petróleo y puede encontrarse asociado cuando el gas esta disuelto con este, también se puede encontrar gas libre cuando se tiene yacimientos característicos de gas natural.

Cuando se desea transportar el gas natural, este debe tener ciertas especificaciones de calidad, controlando así la formación de líquidos hidrocarburos con el fin de no perder eficiencia en el sistema de transporte. Lo nombrado anteriormente se establece con el fin de cumplir dos objetivos, el primero de ellos es proteger el sistema de transporte y de las instalaciones evitando la corrosión de tuberías y el segundo objetivo consiste en permitir el intercambio de gases y que así no afecte la combustión en quemadores.

La **Tabla 1** da a conocer las especificaciones de calidad en el punto de entrada del sistema de transporte, según el documento CREG-017 de la Comisión de Regulación de Energía y Gas.¹⁶

Tabla 1. Especificaciones de calidad del gas natural para transporte

Parámetros de calidad	Sistema inglés
Máximo poder calorífico bruto	1.150 BTU/SCF
Mínimo poder calorífico bruto	950 BTU/SCF
Contenido de líquido	Libre de líquidos
Contenido total de H_2S máximo	0,25 grano/100SCF
Contenido total de azufre máximo	1 grano/100SCF
Contenido CO_2 máximo en % volumen	2%
Contenido N_2 máximo en % volumen	3%
Contenido de inertes máximo en % volumen	5%
Contenido de O_2 máximo en % volumen	0,1%
Contenido de agua máximo	6 lb/MSCF
Temperatura de entrega máximo	120°F
Temperatura de entrega mínima	40°F
Contenido máximo polvos y material en suspensión	0,7 grano/100SCF

Fuente: COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS. Especificaciones de calidad del gas natural en el punto de entrada del sistema de transporte. 2007. (CREG-017).

¹⁶ COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS. Especificaciones de calidad del gas natural en el punto de entrada del sistema de transporte. 2007. (CREG-017).

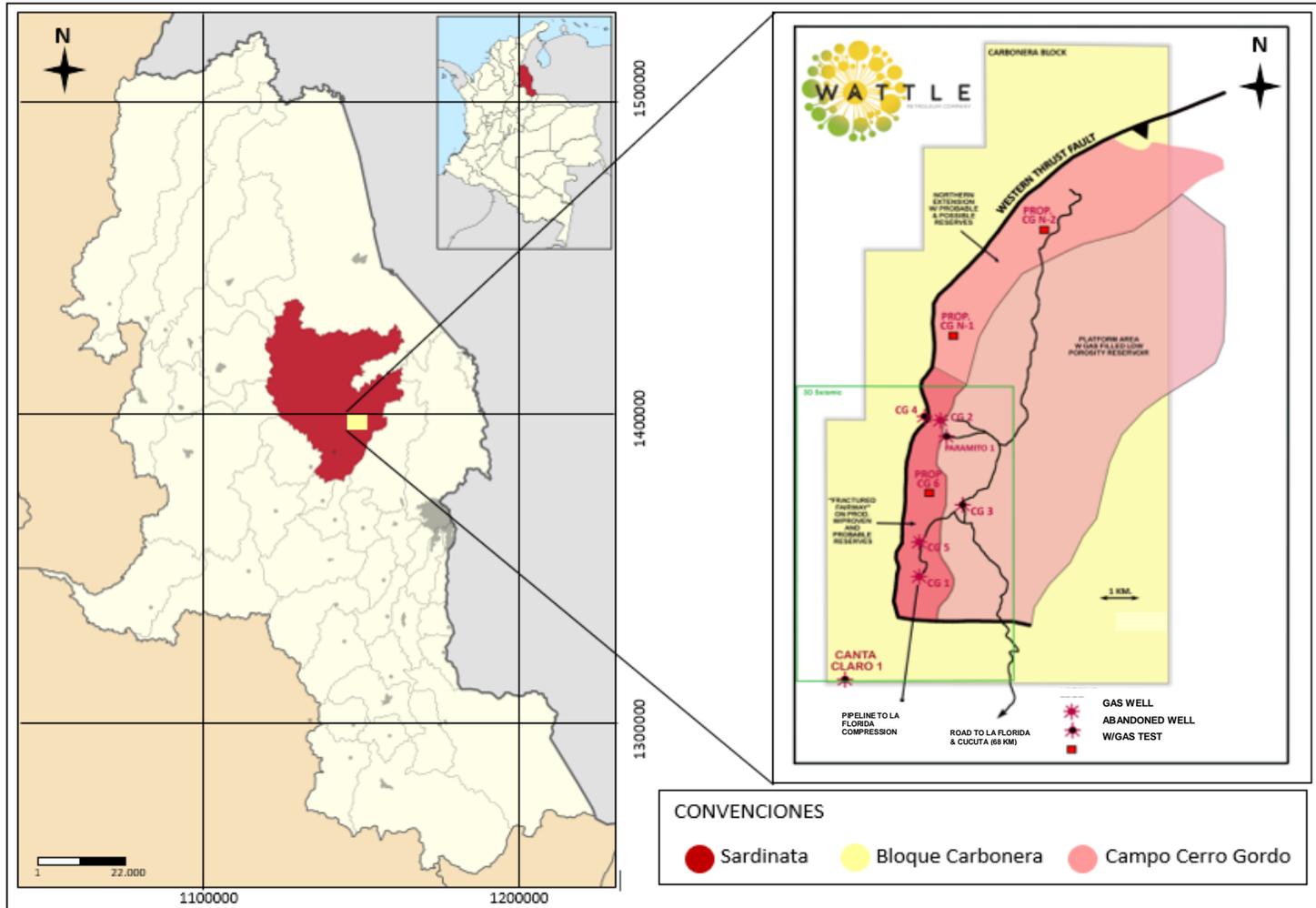
1.3 CARACTERISTICAS DE PRODUCCIÓN DEL CAMPO CERRO GORDO

Para las generalidades del campo de interés, se dan a conocer aspectos importantes como lo es la localización geográfica del mismo, el historial de producción de sus dos pozos activos, la cromatografía del gas la cual es muy importante debido a que será este el gas que se transportará hacia el municipio de Bucarasica, así como las propiedades más importantes que son vitales conocer. Por último, se habla acerca de las facilidades de producción y la planta de tratamiento de gas con la que cuenta el campo.

1.3.1 Ubicación del campo. El Bloque Carbonera cuya extensión es de 14.639,8351 hectáreas, se encuentra ubicado en el departamento de Norte de Santander a 40 kilómetros al Noroeste de la cabecera municipal de Cúcuta, limitando al Norte y Noreste con el Campo Tibú, al Este con el Bloque González y al Oeste y Noroeste con el Bloque Catguas. Se encuentra localizado en la Cuenca del Catatumbo la cual en Colombia es una extensión al Suroeste de la Cuenca de Maracaibo.

El Campo Cerro Gordo se encuentra en la Vereda San Roque en el municipio de Sardinata, Norte de Santander. La **Figura 2** presenta a continuación el mapa de localización geográfica del Campo Cerro Gordo.

Figura 2. Localización geográfica del Campo Cerro Gordo



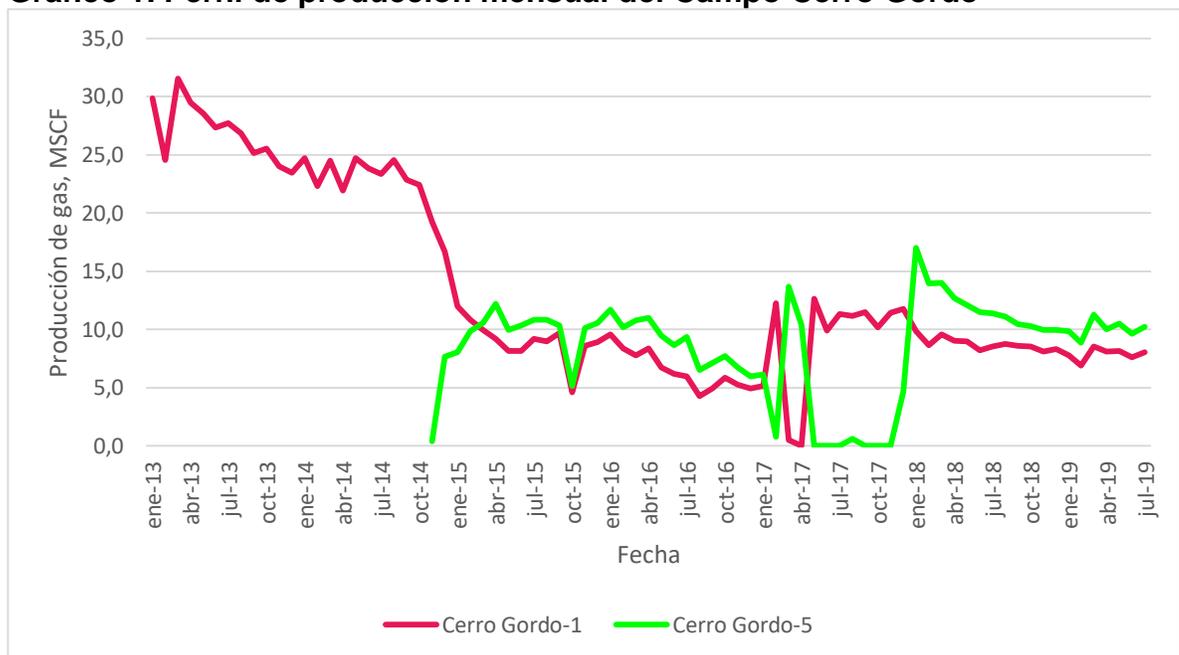
Fuente: WATTLE PETROLEUM COMPANY S.A.S. Operaciones. Bloque Carbonera. Modificado por los autores.

1.3.2 Historial de producción. La Formación La Luna fue perforada en los pozos Cerro Gordo. La capacidad generadora de esta secuencia marina profunda y sus equivalentes regionales es reconocida como una de las más importantes del mundo, y se interpreta como generadora de las principales acumulaciones de hidrocarburos de la cuenca.

La Luna está compuesta principalmente por calizas y en menor proporción por lutitas calcáreas y algunos niveles de caliza silíceas con nódulos de chert. La caliza es gris medio oscuro o gris oscuro, micro fosilífera, ocasionalmente silíceas, localmente con venas de calcita. La lutita calcárea es gris oscuro. El chert es de color negro, en bloque, muy duro, ligeramente calcáreo, con ocasionales venas de calcita.

El **Gráfico 1** presenta el perfil de producción histórica de los Pozos Cerro Gordo-1 y Cerro Gordo-5 desde enero del año 2013 hasta julio del 2019, mostrándose en esta la producción mensual respectiva para cada año.

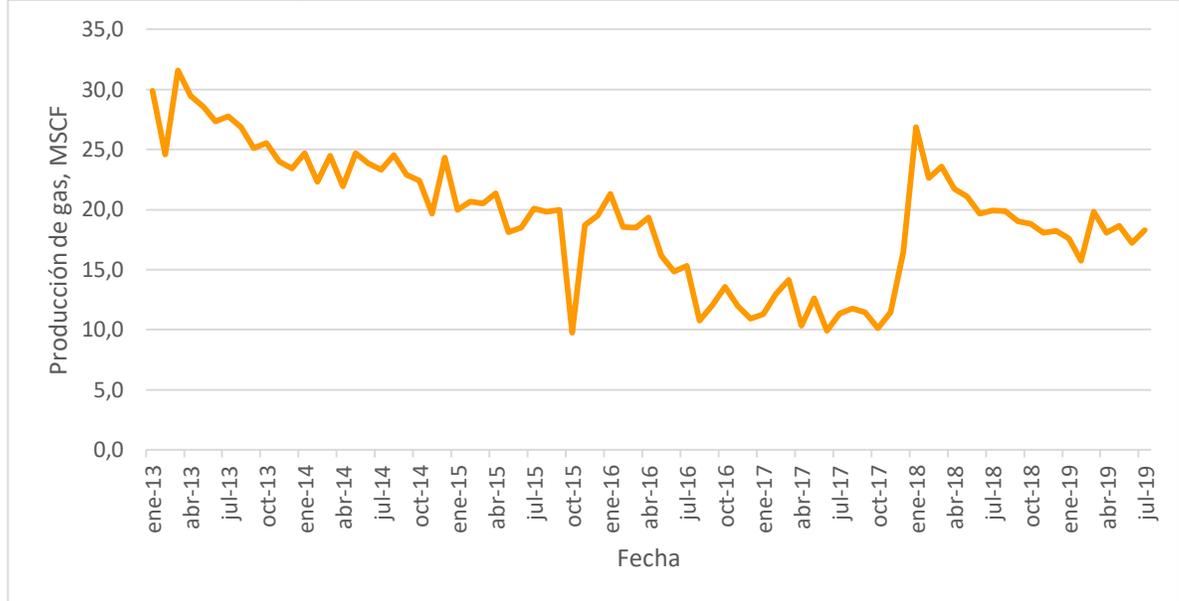
Gráfico 1. Perfil de producción mensual del Campo Cerro Gordo



Fuente: elaboración propia. Con base en: WATTLE PETROLEUM COMPANY S.A.S

El **Gráfico 2** muestra el perfil de producción total del campo que incluye la producción del Pozo Cerro Gordo-1 y Cerro Gordo-5, perforado en noviembre del año 2014, donde se puede observar el comportamiento de la producción total del campo del gas proveniente de dos pozos, alcanzando una producción diaria de 1.1 MSCF.

Gráfico 2. Perfil de producción mensual total del Campo Cerro Gordo



Fuente: elaboración propia. Con base en: WATTLE PETROLEUM COMPANY S.A.S

1.3.3 Cromatografía del gas. El análisis composicional de gas del Campo Cerro Gordo se realizó usando un cromatógrafo Varian 3800 mediante el método GPA 2286. Este utiliza tres columnas para identificar los componentes eludidos desde el N_2 , CO_2 , C_1 hasta el C_{12+} .

Adicionalmente, se llevó acabo la medición de sulfuro de hidrógeno en el flujo de gas por medio de tubos colorimétricos -Tubos Dräger- los cuales contienen una serie de compuestos que reaccionan con las moléculas de sulfuro de hidrogeno presentes en el gas; la cantidad de este se determina en función de la cantidad de gas succionado y el cambio de coloración de los compuestos dentro del tubo, haciendo uso de una escala.

La muestra fue tomada en el Pozo Cerro Gordo-1 a la salida del separador, a una presión de 250 psig y una temperatura de 94 °F. La **Tabla 2** presenta los resultados obtenidos de los análisis realizados al gas producido.

Así mismo, se determinaron valores de propiedades del gas tales como la gravedad específica, poder calorífico neto, factor de compresibilidad, entre otras. La **Tabla 3** muestra los valores determinados para dichas propiedades.

Tabla 2. Cromatografía del gas producido en el Campo Cerro Gordo

Componente		Porcentaje Molar	Porcentaje en Peso
Metano	C_1	72,71	49,72
Etano	C_2	9,6	12,3
Propano	C_3	3,45	6,47
i-Butano	iC_4	0,56	1,39
n-Butano	nC_4	0,93	2,31
i-Pentano	iC_5	0,34	1,04
n-Pentano	nC_5	0,31	0,95
Hexano	C_6	0,36	1,34
Heptano	C_7	0,33	1,3
Octano	C_8	0,33	1,5
Nonano	C_9	0,28	1,41
Decano	C_{10}	0,07	0,38
Undecano	C_{11}	0,02	0,1
Dióxido de carbono	CO_2	10,28	19,27
Nitrógeno	N_2	0,43	0,52

Fuente: WATTLE PETROLEUM COMPANY S.A.S. Core Lab Reservoir Optimization. Análisis composicional del gas. Cerro Gordo – La Florida. 2017.

Se puede identificar que principalmente el gas producido en el Campo Cerro Gordo está compuesto en su mayor proporción (72,71%) por metano C_1 , en una menor porción de 9,6% por etano C_2 e hidrocarburos de orden superior hasta C_{11} en bajas proporciones.

Tabla 3. Propiedades del gas

Propiedad	Valor	Unidad
Gravedad específica	0,8134	@14,73 psia, 60°F
Peso molecular	23,470	g/mol
Densidad ideal	0,9913	Kg/m^3 @14,65 psia, 60°F
Poder calorífico bruto ideal	1.144,5	BTU/SCF @14,65 psia, 60°F
Poder calorífico neto ideal	1.038,3	BTU/SCF @14,65 psia, 60°F
Presión pseudo crítica	702,8	psia
Temperatura pseudo crítica	412,8	Rankine
Factor de Compresibilidad	0,996335	@14,65 psia, 60°F
Poder calorífico bruto real	1.148,7	BTU/SCF @14,65 psia, 60°F
Poder calorífico neto real	1.042,1	BTU/SCF @14,65 psia, 60°F

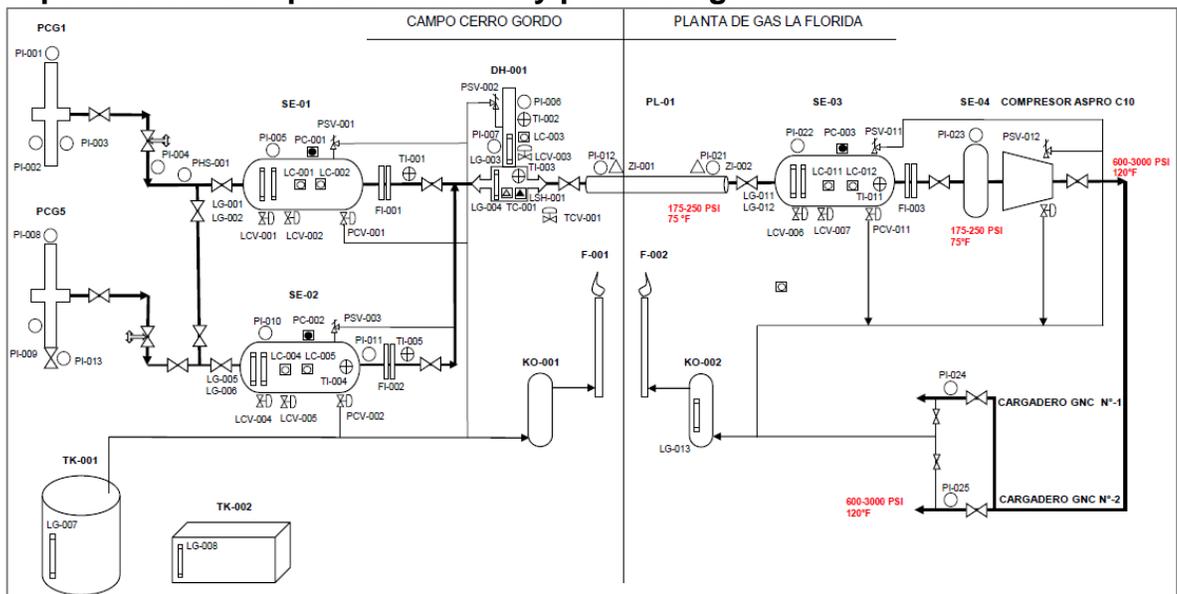
Fuente: WATTLE PETROLEUM COMPANY S.A.S. Core Lab Reservoir Optimization. Análisis composicional del gas. Cerro Gordo – La Florida. 2017.

1.3.4 Facilidades de superficie. El Campo Cerro Gordo cuenta con su facilidad de superficie y una planta de gas ubicada a ocho kilómetros, la **Figura 3** muestra el diagrama de tuberías e instrumentación, presentando el flujo del proceso en las tuberías, donde se observan dos líneas principales correspondientes a los pozos

Cerro Gordo-1 y Cerro Gordo-5, estas líneas conducen los fluidos hacia un separador, pero antes de su ingreso se logra observar una línea secundaria con conexión a las dos líneas principales, la cual funciona para casos de emergencia según se requiera.

Al salir los fluidos del separador se encuentra solo una línea principal la cual lleva a un distribuidor que cuenta con indicadores y controladores de presión y temperatura. Seguido de una tubería que corresponde a la intercomunicación entre la facilidad del Campo Cerro Gordo y la planta La Florida, dicha tubería cuenta con indicadores de posición el cual cumple la función de indicar en que parte se encuentra el flujo de gas. En la planta de gas se puede observar que hay otro separador y a la salida de este un compresor que será el encargado de comprimir el gas a 3000 psi para dar paso al flujo hacia dos cargadores de gas natural comprimido –GNC-.

Figura 3. Diagrama de tuberías e instrumentación -P&ID- de la facilidad de superficie del Campo Cerro Gordo y planta de gas La Florida



Fuente: WATTLE PETROLEUM COMPANY S.A.S

1.4 GASODUCTO VIRTUAL

Según Comercial y Transporte GNC¹⁷ un gasoducto virtual consiste en el uso de módulos de alta capacidad de compresión con el fin de transportar gas natural comprimido a diferentes zonas aisladas, beneficiándolas con esta alternativa.

¹⁷ COMERCIAL Y TRANSPORTE GNC. Gasoducto virtual. [En línea]. 2017. [Consultado: 30 de julio de 2019]. Disponible en Internet: <http://www.gasnaturalcomprimido.com/gasoductos-virtuales.php>

1.4.1 Generalidades del gasoducto virtual. Según la Comisión de Regulación de Energía y Gas -CREG-¹⁸ cuando la demanda a atender es pequeña y la distancia es larga, los gasoductos convencionales pueden no ser la mejor opción de transporte desde el punto de vista económico, en tal caso puede ser viable la técnica de gas natural comprimido –GNC-, para transportar el gas hasta el centro de consumo y distribuirlo a los usuarios a través de un tendido de redes.

El gasoducto de gas natural virtual replica el flujo continuo de un ducto físico estático en aquellos lugares donde la red de tubería física es incompleta o inexistente, donde se mueven y cambian los centros de demanda y oferta.¹⁹

Mediante esta técnica se aumenta la presión del gas en módulos transportados por vehículos, manteniéndolo en su estado gaseoso, de tal forma que se incrementa la energía por unidad de volumen reduciendo los costos unitarios de transporte.²⁰

Estos módulos son de gran resistencia mecánica a alta presión, lo que imposibilita el ingreso de aire que pueda dar origen a una mezcla explosiva, a diferencia de los combustibles líquidos como el GLP, que son almacenados en tanques a presión atmosférica cuyo sistema de venteo puede permitir el ingreso de aire que junto con vapores de combustible constituyen una mezcla peligrosa.

Adicional, el gas natural es menos contaminante que otros combustibles conteniendo la menor relación entre hidrogeno y carbón en su composición química lo que lleva al gas natural a ser más amable con el medio ambiente. A raíz de esto, muchas empresas utilizan el gas natural para cumplir con normal ambientales y ser calificadas como empresas limpias.²¹

1.4.2 Etapas del sistema virtual. La primera etapa hace referencia a la compresión donde se toma el gas natural desde una red principal, generalmente desde un ducto de 36 pulgadas, para ser comprimido mediante compresores hasta una presión de aproximadamente 3.620 psi.

La segunda etapa es el transporte, en el cual el gas se inyecta en módulos de transporte constituidos en fibra de carbono con polietileno de alta densidad con características herméticas, adiabáticas e isotérmicas, estos módulos soportan presiones aproximadamente de 4.830 psi.

¹⁸ COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS. Compresión y transporte de gas natural comprimido –GNC- 2004. (CREG-048). p. 63

¹⁹ BAKER HUGHES A GE COMPANY. Virtual natural gas pipeline. [En línea]. S.f. [Consultado: 30 de julio de 2019]. Disponible en Internet: <https://www.bhge.com/midstream/pipeline-storage/virtual-natural-gas-pipeline>

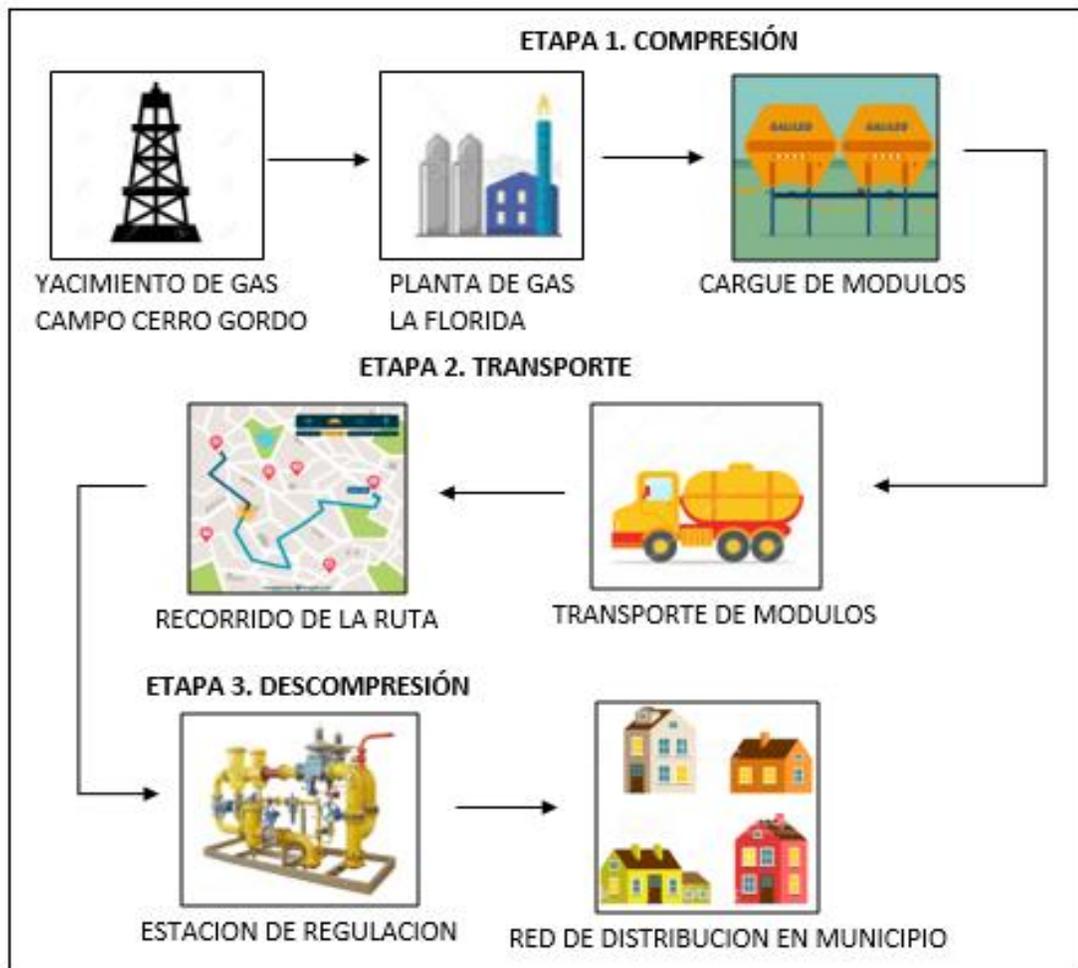
²⁰ *Ibíd.* p. 63

²¹ COMERCIAL Y TRANSPORTE GNC. Gas natural comprimido. [En línea]. 2017. [Consultado: 1 de agosto de 2019]. Disponible en Internet: <http://www.gasnaturalcomprimido.com/gas-natural.php>

La etapa final es la descompresión, haciendo uso de una estación de reducción de presión se reduce desde 3.620 psi hasta 60 psi, la presión requerida por el usuario.²²

La **Figura 4** presenta a continuación el proceso en el cual se ve implementado el uso del gasoducto virtual desde la fuente hasta el centro de consumo, así mismo se evidencian las tres etapas que componen el sistema virtual.

Figura 4. Diagrama de proceso y etapas del sistema virtual



Fuente: elaboración propia.

²² COMERCIAL Y TRANSPORTE GNC. Gasoducto virtual. [En línea]. 2017. [Consultado: 30 de julio de 2019]. Disponible en Internet: <http://www.gasnaturalcomprimido.com/gasoductos-virtuales.php>

2. METODOLOGÍA Y DATOS

Este apartado tiene en cuenta la metodología que se usara para realizar el proyecto, referencias de los datos seleccionados, los diferentes programas utilizados y adicional aquellas normas de las cuales se apoyan los autores para la elaboración del documento.

2.1 ESTUDIO DE MERCADO

La estimación de la demanda de gas natural del municipio de Bucarasica se enfocó en la cabecera municipal, para ello se realizó un estudio de mercado por medio de una encuesta dirigida a los habitantes de 100 viviendas, de tipo personal domiciliaria.

El número de viviendas encuestadas se determinó tomando como muestra representativa 2/3 del número total de viviendas establecidas en la cabecera municipal de Bucarasica, estas fueron seleccionadas aleatoriamente entre las que se encuentran viviendas y locales comerciales. La ficha técnica del estudio de mercado se presenta en la **Tabla 4**.

Tabla 4. Ficha técnica estudio de mercado

Nombre del proyecto	Diseño del sistema virtual y la red de distribución de gas natural en el municipio de Bucarasica desde el Campo Cerro Gordo
Técnica de recolección	Encuesta personal de tipo domiciliaria
Metodología de investigación	Cuantitativa
Ámbito geográfico	Municipio de Bucarasica, Norte de Santander
Universo	Habitantes de la cabecera municipal
Diseño muestral	Aleatorio simple
Muestra	100 encuestas
Grupo objetivo	Propietario de la vivienda o arrendatario
Fecha de campo	17 de abril de 2019

Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente la **Tabla 5** presenta el cuerpo de la encuesta, compuesta por ocho preguntas de única respuesta.

Tabla 5. Formato de encuesta

Pregunta	Opción de respuesta
1. ¿Qué estrato es la vivienda?	1 2 3 4
2. ¿Número de habitantes en la vivienda?	1-3 4-6 7-9 Más de 10
3. ¿Qué tipo de combustible tienen para uso doméstico?	Cilindro de gas Leña Carbón
4. ¿Con que frecuencia hace uso del combustible doméstico?	Poco frecuente Frecuente Muy frecuente
5. ¿Cuánto paga mensualmente por la compra del combustible?	\$0-\$15.000 \$16.000-\$30.000 \$31.000-\$45.000 \$46.000-\$60.000 Más de \$60.000
6. ¿Tiene conocimiento sobre el gas natural domiciliario?	Sí No
7. ¿Cuál considera usted que es la mejor opción para uso doméstico?	Cilindro de gas Leña Carbón Gas natural
8. ¿Estaría usted interesado en adquirir y hacer uso del gas natural domiciliario?	Sí No

Fuente: elaboración propia.

Una vez se obtienen las respuestas para cada pregunta, se tabulan y se presentan en gráficos y tablas.

2.2 ESTIMACIÓN DEL CAUDAL DE GAS

Una vez obtenidos los resultados del estudio de mercado es necesario correlacionarlos con datos de la demanda actual según la compra de cilindros de GLP. Actualmente en la cabecera municipal de Bucarasica los habitantes que hacen

uso de cilindros de GLP consumen mensualmente cerca de 90 cilindros de 100 libras cada uno, estos cilindros tienen la capacidad de almacenar $9,2 m^3$; determinando así el consumo actual de los habitantes de la cabecera municipal en $828 m^3$ mensuales de gas.

En consideración de que el estudio de mercado hace referencia únicamente al 2/3 del número de viviendas de la cabecera municipal y teniendo en cuenta que no en todas las viviendas se consume actualmente cilindros GLP, se requiere de información adicional que permita estimar el caudal de gas requerido. Por esta razón se establece el rango de caudal basado en el consumo promedio de gas natural por vivienda de $20 m^3$, dicho valor se implanta en el informe ejecutivo de gestión de Gases del Oriente S.A²³ de septiembre de 2013, empresa que presta su servicio en Norte de Santander.

2.3 CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA VIRTUAL

Para la caracterización del sistema virtual se establece la ruta desde el Campo Cerro Gordo hasta el municipio de Bucarasica por medio de un mapa de rutas que indica la vía de transporte que recorrerá el gasoducto virtual, diseñado en la versión on-line del software ArcGIS.

Además, la descripción de la capacidad de los módulos, capacidad del tráiler, presión de compresión, número de tráileres o viajes por tráiler mensual requerido, se determina basándose en el documento CREG-048 “Compresión y transporte de gas natural comprimido –GNC-”²⁴, en el cual se establece lo siguiente:

2.3.1 Estandarización de tipos de vehículos para el transporte de GNC por carretera. Se hará uso de camiones unitarios o rígidos de dos, tres o cuatro ejes, de hasta doce toneladas de capacidad, para transportar hasta cinco módulos de $300 m^3$ cada uno, para un total de $1.500 m^3$. Si la capacidad de transporte debe ser mayor se requerirá un camión articulado de cinco o más ejes, de hasta cuarenta toneladas de capacidad, para transportar dieciocho módulos de $300 m^3$ cada uno, para un total de $5.400 m^3$.

Con el fin de determinar el tipo de camión óptimo para abastecer la demanda de cada municipio, basado en una simulación donde se consideró la demanda diaria de cada municipio y el costo total de transportar y almacenar el GNC. Es decir, donde se busca determinar el menor costo combinado entre el costo total de

²³ GASES DEL ORIENTE S.A. Informe ejecutivo de gestión de Gases del Oriente empresa de servicios públicos domiciliarios. [En línea]. 2013. [Consultado: 1 de septiembre de 2019]. Disponible en internet: <https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Energia%20y%20gas%20combustible/Gas%20natural/2018/Oct/2013informeejecutivodegestiongasesdelorientesaesp.pdf>

²⁴ COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS. Compresión y transporte de gas natural comprimido –GNC- 2004. (CREG-048). p. 69

transportar un camión con carga completa y los días de almacenamiento de dicha carga hasta el consumo total del gas y la siguiente llegada del camión.

2.3.2 Estación descompresora. Para determinar el lugar de ubicación de la estación descompresora se toma como referencia la NTC 3949 “Gasoductos. Estaciones de Regulación de Presión Para Líneas de Transporte y Redes de Distribución de Gas Combustible” la cual establece que el lugar donde se ubique la estación debe garantizar la seguridad y operatividad de esta.

2.4 DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

El diseño de la red de distribución de gas natural se divide en dos fases, la primera de ellas consiste en obtener los siguientes parámetros iniciales: caudal de gas, características de tubería, válvulas y accesorios, trazado de tubería, y parámetros de tendido, información que se requiere para la simulación en Aspen Hysys proceso que corresponde a la segunda fase.

2.4.1 Parámetros de diseño. Los parámetros requeridos serán determinados basados en las normas NTC 3838 “Gasoductos. Presiones de Operación Permisibles Para el Transporte, para establecer las características de la tubería”, NTC 1746 “Plásticos. Tubos y Accesorios Termoplásticos Para Conducción de Gases a Presión” de donde se determinará el tipo de tubería a usar en cada una de las secciones de la red, así como el grado y diámetros respectivos y NTC 3728 “Gasoductos. Líneas de Transporte y Redes de Distribución de Gas” a partir de la cual se define la clase de localidad, las válvulas y accesorios que deben instalarse de acuerdo a esta y los parámetros de tendido de la red.

En el trazado de tubería se tendrá en cuenta el mapa de la cabecera municipal de Bucarasica el cual se puede observar en el **Anexo A**, este mapa es llevado a la herramienta AutoCAD con el fin de obtener la longitud total, la distribución de tuberías que se requieren en la cabecera municipal y accesorios respectivos.

Para el trazado y distribución de la tubería se tienen aspectos importantes en consideración:

- El trazado de las líneas se hace por la vía pública del municipio. Debido a las dimensiones de las vías las tuberías se trazan por el centro de estas.
- Simplicidad en los trazados de las líneas de distribución.
- Identificación de la ausencia de ríos, propiedad privada y terrenos inestables.
- Menor número de interferencias con redes de otros servicios públicos.
- Facilidad de acceso para la rápida y segura atención de emergencias.

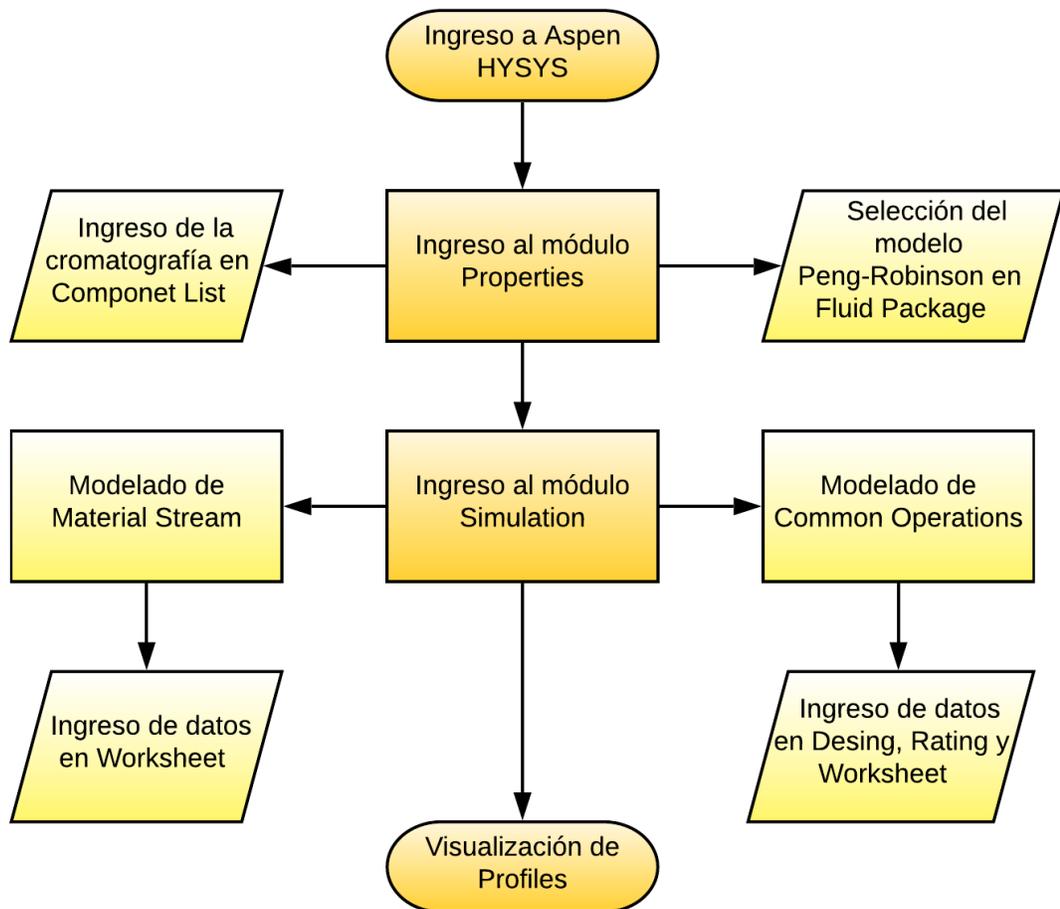
2.4.2 Simulación Aspen HYSYS. Se hará uso de Aspen HYSYS una herramienta orientada a la industria petroquímica utilizada para simular procesos de hidrocarburos, técnicas de evaluación de ensayo y evaluación dinámica de

modelados de procesos. La cual posee una integración grafica que permite modelar más de 40 operaciones unitarias en su interfaz.

Los módulos de Properties y Simulation son los de interés para este proyecto, en ellos se definen los datos iniciales que requiere la simulación, así como la cromatografía del gas y también características de la tubería.

Para el desarrollo de la fase que consiste en la simulación de la red de distribución haciendo uso de la herramienta, se puede observar la **Figura 4** a continuación donde se describe el proceso a realizar en la interfaz.

Figura 5. Diagrama de flujo proceso software Aspen HYSYS



Fuente: Elaboración propia.

Una vez identificado el proceso a seguir en la interfaz se establecen los parámetros y valores a ingresar para la simulación de la red de distribución. El paso a paso completo de la interfaz para la simulación de la red de distribución se muestra en el **Anexo B**.

La cromatografía ingresada a Component List corresponde a la información suministrada por la empresa WATTLE PETROLEUM COMPANY S.A.S cuya fecha de realización data de noviembre del año 2017.

Por otra parte, la selección del modelo matemático Peng-Robinson en la sección Fluid Package se determina según Eric Carlson²⁵ haciendo uso de un árbol de decisiones que establece la opción a utilizar que represente el fluido de manera correcta. La **Ecuación 1** presenta el modelo manejado en el software.

Ecuación 1. Ecuación de estado PR (Peng-Robinson)

$\left(P + \frac{A\alpha}{V(V+b) + b(V-b)} \right) (V-b) = RT$
$A = 0,45724 \frac{R^2 T_c^2}{P_c} \quad b = 0,07780 \frac{R T_c}{P_c}$
$\alpha = \left(1 + m_{(\omega)} \left(1 - T_r^{\frac{1}{2}} \right) \right)^2$
$m_{(\omega)} = 0,37464 + 1,54226\omega - 0,26992\omega^2$

Fuente: UNIVERSIDAD DE VALLADOLID. Ingeniería Química. Ecuaciones de estado.

Donde:

- P*: Presión (atm)
- V*: Volumen (Litros)
- T*: Temperatura (K)
- R*: 0,0821 (atm L/gmol K)
- T_c*: Temperatura crítica (K)
- P_c*: Presión crítica (atm)
- ω*: Factor acéntrico del compuesto

Respecto al módulo Simulation, el modelado de Material Stream contiene las condiciones de la corriente de flujo entre las que se encuentra el flujo másico en kg/hr requerido en cada una de las corrientes, que se establece con el caudal de gas en m³/hr y la densidad ideal del gas de 0,9913 kg/m³, valor determinado en la cromatografía del gas. Información que es suministrada en la sección Worksheet.

²⁵ CARLSON, Eric, C. Don't gamble with physical properties for simulations. [En línea]. 1996. [Consultado: 1 de septiembre de 2019]. Disponible en internet: <https://pdfs.semanticscholar.org/2fd4/2d66fb3a658a01d7bcdfc4c025a72c6f5e88.pdf>

Para el modelado de Common Operations se hace uso de Gas Pipe y Tee necesarias para el diseño del plano de tuberías y líneas. A esta sección se hace ingreso a en cada uno de las tuberías información sobre su longitud, diámetro interno, externo, nominal, se realiza la selección del material de la tubería en Plastic Tubing, Schedule 80 y rugosidad 1,4E-2 mm.

Adicionalmente, la elevación del terreno se determina según el mapa de pendientes del Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio de Bucarasica. Información que corresponde a la sección de Desing, Rating y Worksheet. Ver **Anexo C**.

Determinado el porcentaje de cambio de elevación del terreno de las zonas en las que serán instaladas los tramos de tubería.

Por último, en la sección Rating apartado Heat Transfer se hace uso de la temperatura ambiente del municipio de 21 °C y el coeficiente de transferencia de calor del polietileno, valor que es determinado dividiendo la conductividad térmica del material (0,43 W/mK) entre la longitud en metros de la sección de tubería a simular.

El interés de realizar la simulación en Aspen HYSYS se basa en determinar las caídas de presión, mediante el modelo de Müller para redes de distribución de gas a bajas presiones representado en la **Ecuación 2**, el software realiza este cálculo de manera más exacta para cada uno de los tramos de tubería según el caudal de gas ingresado.

Ecuación 2. Modelo de Müller

$$Q = \frac{0,13}{G^{0,425}} * \left(\frac{P_1^2 - P_2^2}{L} \right)^{0,575} * D^{2,725}$$

Fuente: MARTÍNEZ. Marcías. Cálculo de tuberías y redes de gas. Ingenieros Consultores y Asociados, C, A. p. 16

Donde:

Q : Caudal de gas ($m^3/hora$)

G : Gravedad específica del combustible gaseoso

P_1 : Presión en el punto de alimentación de la tubería (bar)

P_2 : Presión en el punto de entrega de la tubería (bar)

L : Longitud de la tubería (metros)

D : Diámetro de la tubería (mm)

2.5 ESTUDIO FINANCIERO

Para esta sección que tiene como fin determinar la viabilidad financiera del proyecto, se utiliza la metodología de Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna de Retorno (TIR).

La primera parte del estudio consiste en calcular la inversión total del proyecto, que tiene en cuenta la construcción de la red de distribución, tomando como referencia los costos de instalación y materiales necesarios para su implementación, dichos costos son referenciados del Análisis de precios unitarios -Suministro e instalación de tubería polietileno- Ingeniera civil Vivian Díaz. y el catálogo de precios a septiembre de 2019 de la empresa PAVCO WAVIN²⁶, en base al diseño del plano en AutoCAD, material, longitud y diámetro de la tubería, así como tipo y cantidad de accesorios requeridos.

La segunda parte del estudio financiero consiste en el cálculo del VPN y TIR, donde se estimará el flujo de caja para un horizonte de proyección de cinco años, para cada uno de estos periodos se calculan los ingresos y costos correspondientes.

Los costos de venta de GNC son suministrados por la empresa WATTLE PETROLEUM COMPANY S.A.S. El valor de venta es de 4,64 USD por cada MMBTU, equivalente a 15.665 COP tomando como referencia TRM 3.373,15 COP. Los costos de transporte son un flete determinado por el tipo de camión seleccionado, desde el Campo Cerro Gordo hasta el municipio de Bucarasica. El costo correspondiente se determina haciendo uso de la Matriz Origen-Destino "Costos de transporte de GNC"²⁷, publicada por la Comisión de Regulación de Energía y Gas que es actualizada anualmente según el IPC. Los valores presentados en la matriz son obtenidos con base en un estudio elaborado por la firma Duarte Guterman & Cia, que estima la función del costo en $\$/m^3$.

El valor de los ingresos dependerá del consumo de gas natural, valores que son referenciados de la empresa Gases del Oriente S.A.²⁸ la cual establece las tarifas de consumo en varios municipios de Norte de Santander según los estratos, determinando un valor $\$/ m^3$ de 1.074,60 COP para viviendas estrato 1 y 1.338,19 COP para estrato 2. Para esto, se tomará como referencia el número de viviendas según el estrato que arroje el estudio de mercado.

²⁶ PAVCO WAVIN. Lista de precios septiembre 2019.

²⁷ COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS. Matriz costos de transporte de GNC. [En línea]. S.f. [Consultado: 28 de agosto de 2019]. Disponible en internet: <http://www.creg.gov.co/sectores/gas-natural/estadisticas/matriz-costos-de-transporte-gnc>

²⁸ GASES DEL ORIENTE S.A. Tarifas del mercado: Toledo, Labateca, Chitagá, Silos y Sardinata. [En línea]. 2018. [Consultado: 1 de septiembre de 2019]. Disponible en internet: <http://www.gasesdelorientes.com.co/avirtual/tarifiles/Tarifas%20Diciembre%202018%20Gibraltar.pdf>

Adicional, para efectos del horizonte de proyección de 5 años, el ingreso por consumo de gas se manejará con el rango establecido en la sección resultados.

Para el estudio se maneja una Tasa Interna de Oportunidad (TIO) del 20% anual, valor estimado según la tasa de rendimiento mínima esperada por el inversionista. La unidad monetaria de valor corriente manejada es el peso colombiano (COP).

Finalmente, se realiza el cálculo de la TIR a partir de la **Ecuación 4**, donde se tiene en cuenta la inversión del proyecto y mediante el flujo de caja neto para cada año.

La **Ecuación 3** y la **Ecuación 4** mostradas a continuación serán las utilizadas para el cálculo de los indicadores económicos VPN y TIR.

Ecuación 3. Cálculo Valor Presente Neto

$$VPN = \sum_{t=0}^n \frac{Ft}{(1+i)^n} = -INV + \frac{F1}{(1+i)^1} + \frac{F2}{(1+i)^2} + \frac{F3}{(1+i)^3} + \frac{Fn}{(1+i)^n}$$

Fuente: BACA C., Guillermo. Ingeniería Económica. Bogotá D.C.: Fondo educativo panamericano, 2000. p.197

Ecuación 4. Cálculo Tasa Interna de Retorno

$$0 = -INV + \frac{F1}{(1+TIR)^1} + \frac{Fn}{(1+TIR)^n}$$

Fuente: BACA C., Guillermo. Ingeniería Económica. Bogotá D.C.: Fondo educativo panamericano, 2000. p.237

Donde:

VPN: Valor Presente Neto

INV: Inversión Total del proyecto

i: Tasa Interna de Oportunidad Mensual

Fn: Flujo de Efectivo de Acuerdo al periodo

TIR: Tasa Interna de Retorno

N: Número de Periodo

3. RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados del desarrollo de cada una de las metodologías propuestas, a partir de tablas y gráficos que sintetizan la información obtenida.

3.1 ESTUDIO DE MERCADO

A partir de las 100 encuestas realizadas se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 6. Resultado de la encuesta

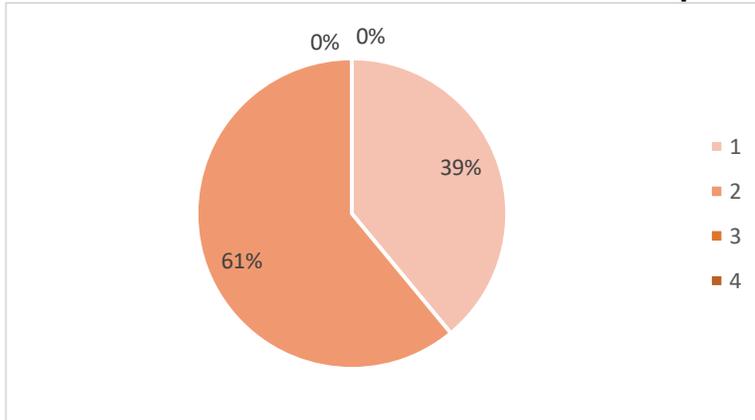
Pregunta	Respuesta	Frecuencia respuesta	Porcentaje respuesta
1.	1	39	39%
	2	61	61%
	3	0	0%
	4	0	0%
2.	1-3	22	23%
	4-6	69	69%
	7-9	7	8%
	Más de 10	2	2%
3.	Cilindro de gas	71	71%
	Leña	36	37%
	Carbón	3	3%
4.	Poco frecuente	6	6%
	Frecuente	57	57%
	Muy frecuente	37	37%
5.	\$0-\$15.000	0	0%
	\$16.000-\$30.000	5	5%
	\$31.000-\$45.000	67	67%
	\$46.000-\$60.000	15	15%
	Más de \$60.000	13	13%
6.	Sí	78	78%
	No	22	22%
7.	Cilindro de gas	9	9%
	Leña	0	0%
	Carbón	0	0%
	Gas natural	91	91%
8.	Sí	91	91%
	No	9	9%

Fuente: elaboración propia.

En el **Gráfico 3** mostrado a continuación se observa que la mayoría de las viviendas en el municipio son de estrato dos, sobre la muestra de 100 viviendas se obtuvo

que 61 de ellas son estrato dos y las 39 viviendas restantes de estrato uno, estableciendo que no existen viviendas estrato tres o cuatro en el municipio.

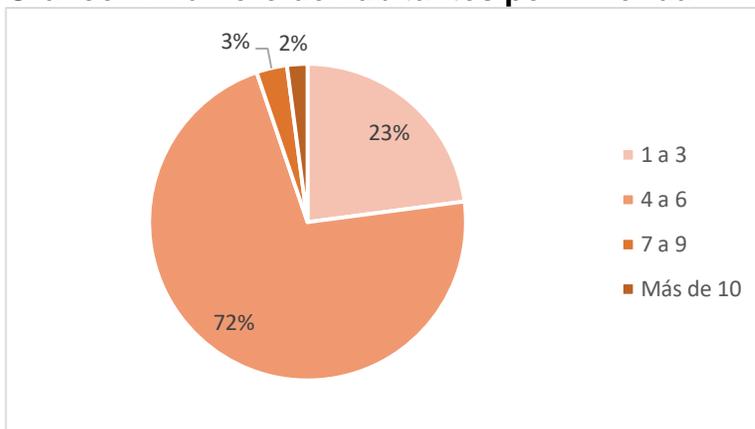
Gráfico 3. Estrato de la vivienda en el Municipio de Bucarasica



Fuente: elaboración propia.

Se encontró con mayor frecuencia viviendas en las cuales habitan entre cuatro y seis personas como se puede visualizar en el **Gráfico 4**, con una menor frecuencia viviendas donde habitan entre una a tres personas y exclusivamente en cinco viviendas se registró un número de habitantes entre siete personas y más de diez.

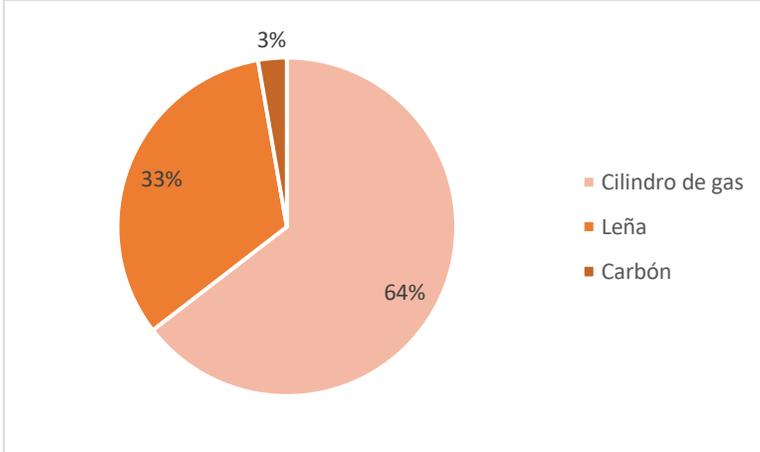
Gráfico 4. Número de habitantes por vivienda



Fuente: elaboración propia.

Los habitantes del municipio establecen los cilindros de GLP como el más usado para las actividades domésticas y/o comerciales como se puede observar en el **Gráfico 5** con un 64% de frecuencia, adicional el 33% de las viviendas encuestadas utilizan leña y el 3% carbón, a pesar de que los habitantes tienen conocimiento de los efectos nocivos para la salud que estos combustibles poseen lo siguen utilizando debido a su bajo costo.

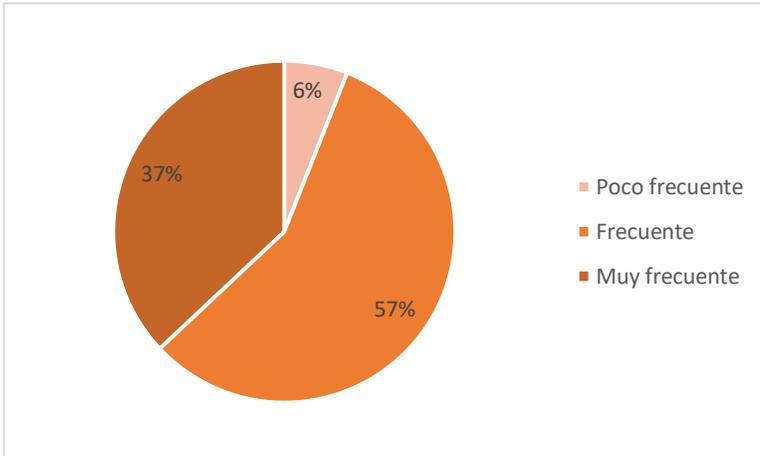
Gráfico 5. Tipo de combustible de uso doméstico



Fuente: elaboración propia.

Se esperaba que en las viviendas del municipio los habitantes hicieran un uso frecuente del combustible y se confirmó como se muestra en el **Gráfico 6** debido a que todos los días se cocina cómo mínimo las tres comidas básicas y de acuerdo al número de habitantes por vivienda varía el consumo.

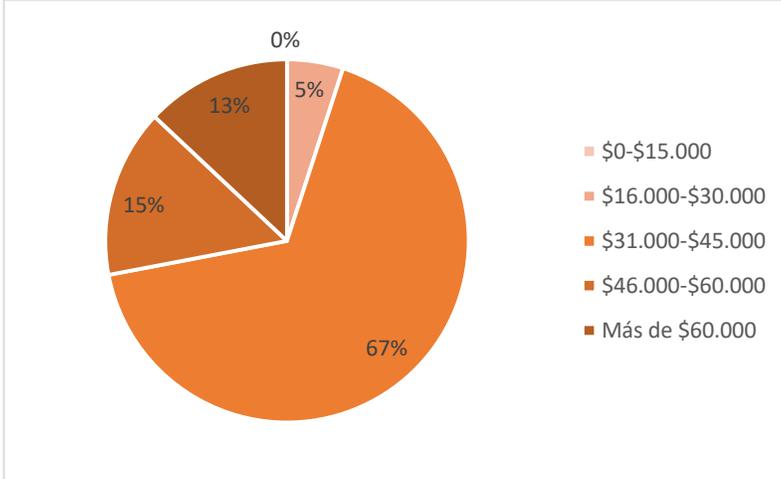
Gráfico 6. Frecuencia de uso de combustible



Fuente: elaboración propia.

En materia de costos se realizó el estudio de cuanto gastan las personas comprando mensualmente el combustible doméstico y de acuerdo al **Gráfico 7**, el 67% de las viviendas gasta alrededor de \$31.000-\$45.000, un 15% de las viviendas gasta alrededor de \$46.000-\$60.000 y 13 de las 100 viviendas encuestadas \$60.000.

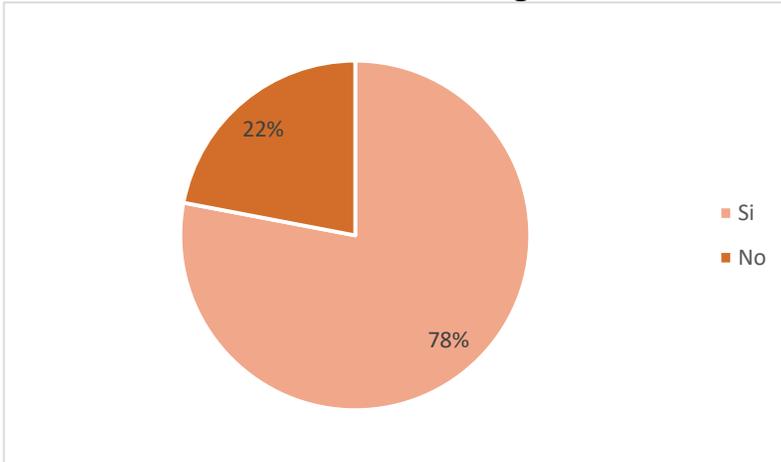
Gráfico 7. Costo mensual de combustible doméstico



Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, como se puede observar en el **Gráfico 8**, el 22% de las viviendas no tienen conocimiento acerca del gas natural domiciliario y sus beneficios, sin embargo, el 78% lo conoce de manera muy limitada.

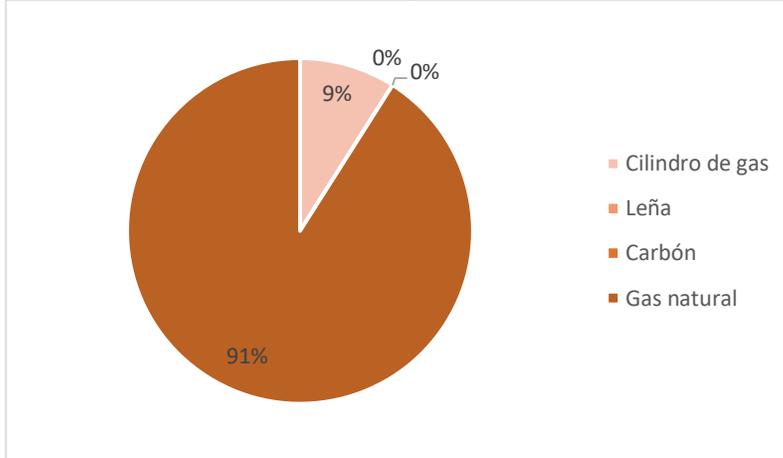
Gráfico 8. Conocimiento sobre el gas natural



Fuente: elaboración propia.

Se habló con los habitantes acerca del tema, así como de los beneficios que este combustible trae consigo, para luego cuestionarlos acerca de un combustible por preferencia y el 91% de las viviendas como se puede ver en el **Gráfico 9** eligió el gas natural, mientras que el 9% restante seguiría usando el combustible actual.

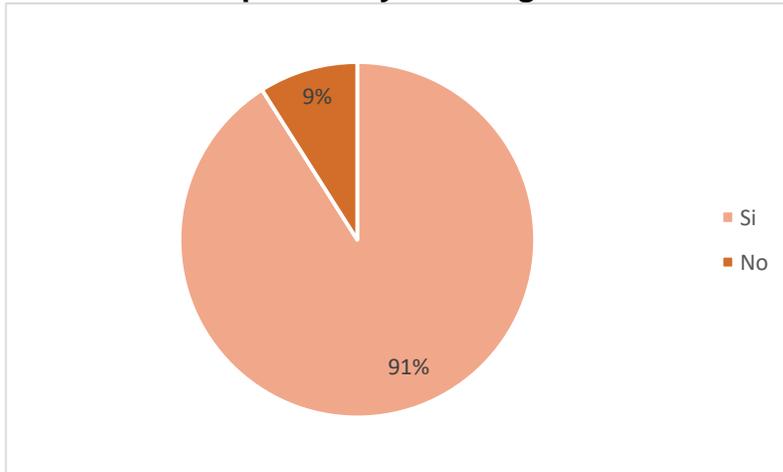
Gráfico 9. Combustible de preferencia



Fuente: elaboración propia.

Por último, como se muestra en el **Gráfico 10** el 91% de las viviendas, adquirirían el servicio de gas natural ya que como manifestaron los habitantes mejoraría su calidad de vida y el 9% no harían uso del gas natural.

Gráfico 10. Adquisición y uso de gas natural



Fuente: elaboración propia.

3.2 RANGO DE CAUDAL DE GAS

Para la estimación del rango de caudal de gas requerido en la cabecera municipal de Bucarasica se tiene en cuenta el número de viviendas y el consumo promedio por vivienda y se establece que el caudal necesario es de 3000 m^3 mensuales.

Basados en el horizonte de proyección a 5 años se hace necesario considerar un caudal de gas que garantice el servicio previendo un crecimiento de la población conectada a la red, para este caso se considera un factor del 40% del caudal de gas requerido inicialmente para el abastecimiento de las 150 viviendas. Así pues, el

proyecto establece un rango del caudal de gas de 3000 m^3 a 4200 m^3 , representados en un rango de consumo promedio mensual de 20 m^3 a 28 m^3 por vivienda.

A continuación, en la **Tabla 7** se presenta el caudal de gas requerido para abastecer la cabecera municipal del municipio.

Tabla 7. Caudal de gas natural

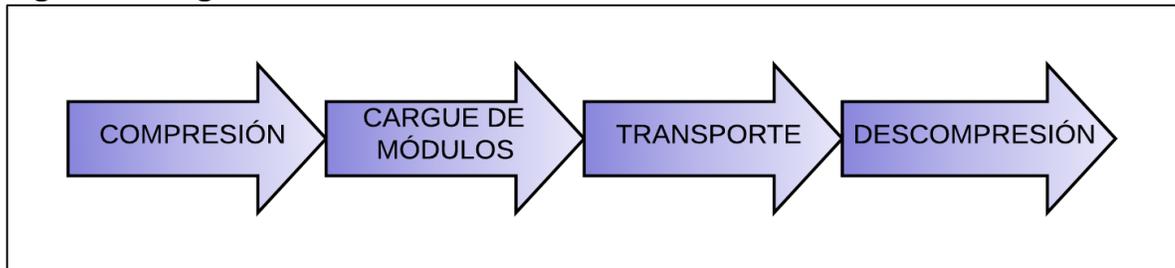
Concepto	Valor	Unidad
Número de viviendas	150	-
Consumo por vivienda	20	m^3 /mes
Caudal de gas mensual	3.000	m^3 /mes
Factor de seguridad	0,4	-
Caudal total de gas	4.200	m^3 /mes
Caudal por hora	5,833	m^3 /hr

Fuente: elaboración propia.

3.3 DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA VIRTUAL

El sistema virtual es descrito detalladamente basado en la **Figura 5** que representa las etapas del GNC desde la fuente hasta el consumidor. Para el diseño del mismo se tuvieron en cuenta los módulos y camiones estándares que se usan en el transporte de GNC, información que se observa en la **Tabla 8**.

Figura 6. Diagrama del sistema virtual



Fuente: elaboración propia.

La producción de los pozos Cerro Gordo-1 y Cerro Gordo-5 es recibida en la planta de gas La Florida donde es comprimido a 3.000 psi y 120°F con el fin de reducir su volumen aproximadamente entre 200 y 250 veces e iniciar el proceso de cargue de los módulos.

Teniendo en cuenta que mensualmente en el municipio de Bucarasica se consumirían alrededor de 4.200 m^3 , se deben entregar al mes 14 módulos con capacidad para 300 m^3 . Para este caso se establece que cada seis días un camión rígido con capacidad para 3 módulos de 300 m^3 llevará el GNC al municipio, resultados observados en la **Tabla 8**.

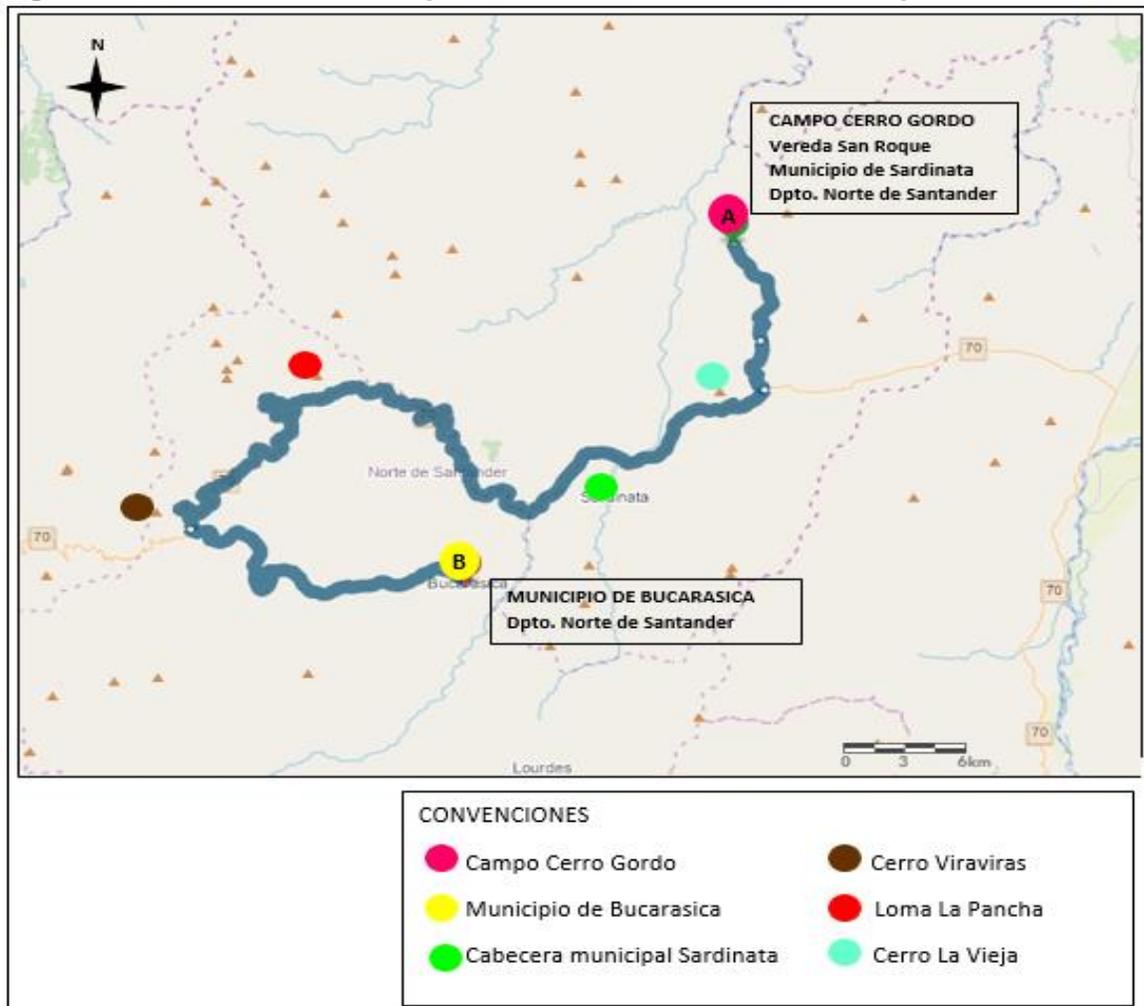
Tabla 8. Diseño del sistema virtual

Concepto	Valor	Unidad
Caudal de gas	4.200	m ³ /mes
Capacidad de módulos	300	m ³
Numero de módulos por camión	3	-
Trayectos mensuales	5	-
Presión de compresión	3.000	psi
Presión de descompresión	60	psi

Fuente: elaboración propia.

Adicional se determina que el camión seleccionado para el transporte de GNC hacia el municipio de Bucarasica se movilizará según la ruta estimada en la **Figura 6** la cual muestra detalladamente de que punto a qué punto se desplazará el camión y sus zonas cercanas de tránsito.

Figura 7. Ruta desde el Campo Cerro Gordo hacia el municipio de Bucarasica



Fuente: elaboración propia. Con base en: software ArcGIS.

La ruta parte del punto A que hace referencia a la Vereda San Roque en el municipio de Sardinata hacia el punto B que corresponde al municipio de Bucarasica. Inicia un recorrido de 94,41 kilómetros, con una duración aproximada de 2 horas y 45 minutos; la duración recorrido dependerá de la inclinación de los terrenos por los cuales el camión debe transitar, así como del flujo de automóviles y demás transporte pesado que se encuentre transitando por la vía.

Durante el recorrido presentado se observa que el camión debe pasar por zonas cercanas a el Cerro La Vieja, el municipio de Sardinata, la Loma la Plancha y el Cerro Viraviras.

Finalmente, el camión cargado con tres módulos debe entregar el GNC a la estación descompresora en la cual se reducirá su presión de 3.000 psi a 60 psi, esta se encontrará ubicada en el perímetro de la cabecera municipal.

3.4 DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

La red de distribución está compuesta por una línea secundaria que se deriva en troncal y anillos, líneas de acometida y accesorios.

Para iniciar la simulación se debe conocer parámetros como lo son, caudal de gas, características de tubería, válvulas y accesorios, trazado de tubería, y parámetros de tendido.

Además, es importante tener en cuenta la clase de localidad para el municipio de Bucarasica, en este caso se determina según la norma NTC 3728 “Gasoductos. Líneas de Transporte y Redes de Distribución de Gas”²⁹ una localidad clase 3.

3.4.1 Parámetros de diseño. A continuación, se establecen las características de la red de distribución.

3.4.1.1 Caudal de gas. Se estableció que el caudal de gas es de 5,833 m³/hr como se observa en la **Tabla 7**.

3.4.1.2 Características de tubería. Según la norma NTC 3838 “Gasoductos. Presiones de Operación Permisibles Para el Transporte, Distribución y Suministros de Gases Combustibles”³⁰ las líneas secundarias por lo general se componen de materiales plásticos especiales operados a media presión.

²⁹ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Gasoductos. Líneas de Transporte y Redes de Distribución de Gas. ICONTEC. 2001. (NTC 3728).

³⁰ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Gasoductos. Presiones de Operación Permisibles para el Transporte, Distribución y Suministros de Gases Combustibles. ICONTEC. 2004. (NTC 3838).

El material de la tubería a utilizar será polietileno de mediana densidad (PEMD) elegida por las diferentes ventajas que ofrecen entre las que se encuentran su resistencia a agentes agresivos externos, impermeabilidad, alta capacidad de elongación, flexibilidad, durabilidad, ligeros, económicos, cómodos de transportar.

En la **Tabla 9** se puede observar la elección de tubería a utilizar para la red de distribución, basada en la norma NTC 1746 “Plásticos. Tubos y Accesorios Termoplásticos Para Conducción de Gases a Presión”³¹.

Tabla 9. Tipo y diámetro de tubería

Concepto	Material / Grado	Diámetro Nominal
Troncal	PEMD / PE80	1 “
Anillos	PEMD / PE80	3/4 “
Líneas de acometida	PEMD / PE80	1/2 “

Fuente: elaboración propia.

3.4.1.3 Trazado de tubería. A continuación, la **Tabla 10** presenta la longitud total de tubería a utilizar luego del trazado de tubería en AutoCAD. Ver **Anexo A**.

Tabla 10. Longitud de tubería

Concepto	Longitud	Unidades
Troncal	500,04	Metros
Anillos	1.828,86	Metros
Líneas de acometida	150	Metros

Fuente: elaboración propia.

3.4.1.4 Válvulas y accesorios. Determinado a partir de la NTC 3728 “Gasoductos. Líneas de Transporte y Redes de Distribución de Gas”³² que establece que para la localidad clase 3 la separación máxima de las válvulas de seccionamiento en líneas de transporte es de 16 kilómetros.

Luego de un análisis cualitativo, teniendo en cuenta la importancia de conectar o aislar la troncal y uno o varios anillos en caso de emergencia, se determinó su distribución, además de los codos necesarios para cada línea y reductores de diámetro, como se muestra en la **Tabla 11**.

Por otra parte, no es necesario la instalación de válvulas de alivio ya que la red no está expuesta a altas presiones de operación.

³¹ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Plásticos. Tubos y Accesorios Termoplásticos para la Conducción de Gases a Presión. ICONTEC. 1999. (NTC 1746).

³² INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Gasoductos. Líneas de Transporte y Redes de Distribución de Gas. ICONTEC. 2001. (NTC 3728).

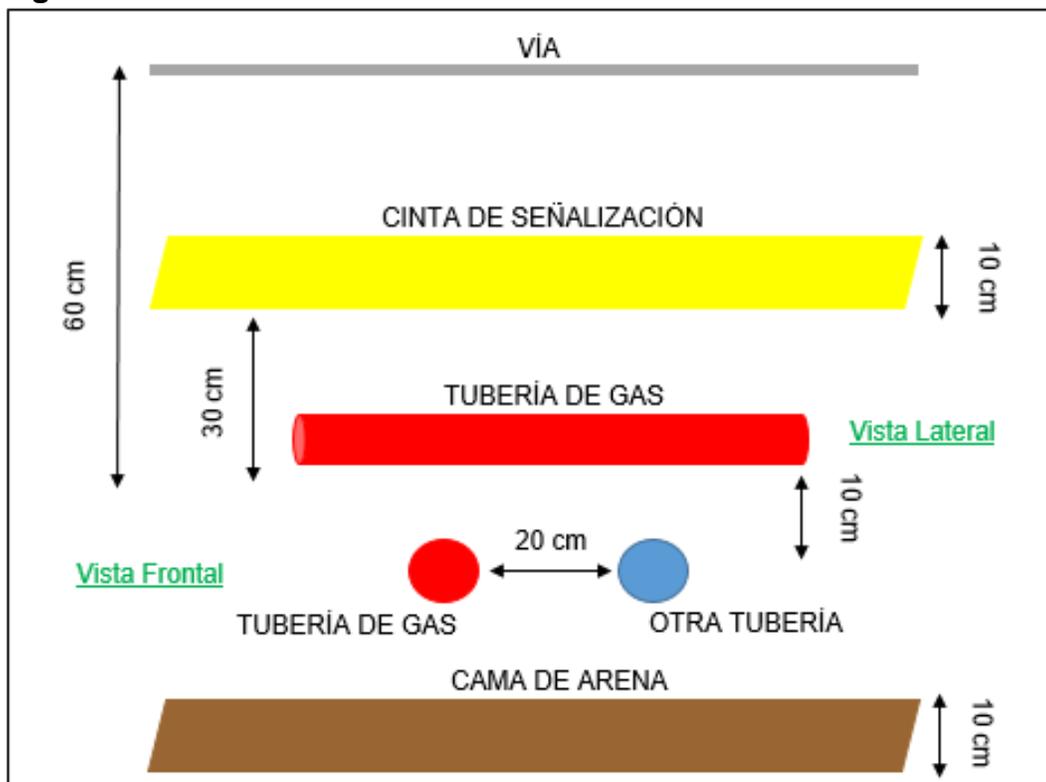
Tabla 11. Válvulas y accesorios

Concepto	Cantidad
Válvula de troncal	1
Válvula de anillo	7
Codo 1"	3
Codo ¾"	60
Reductor de diámetro 1"-¾"	1
Reductor de diámetro ¾"-½"	150

Fuente: elaboración propia.

3.4.1.5 Parámetros de tendido de la red. Para el tendido de la tubería se tiene en cuenta la NTC 3728 "Gasoductos. Líneas de Transporte y Redes de Distribución de Gas" en la cual se determina que la tubería debe ir bajo suelo y adicional otros parámetros que se deben seguir para la correcta instalación, como se puede observar a continuación en la **Figura 7**.

Figura 8. Parámetros de tendido de tubería



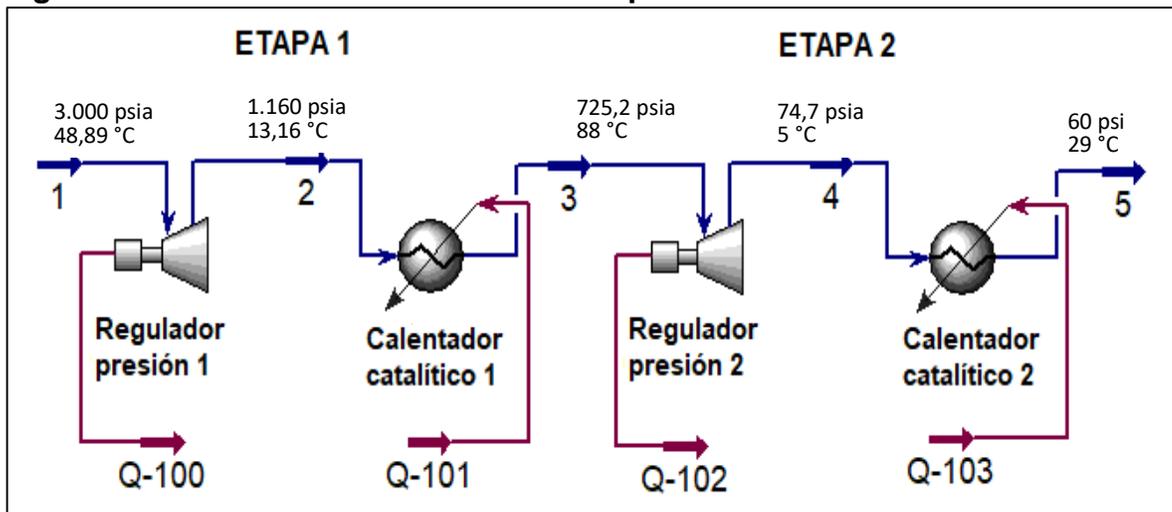
Fuente: Elaboración propia. Con base en: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Gasoductos. Líneas de Transporte y Redes de Distribución de Gas. ICONTEC. 2001. (NTC 3728).

Las líneas secundarias de distribución deben instalarse a una profundidad no inferior a 60 cm del nivel de la vía, estas irán acompañadas de una cinta de señalización ubicada a 30 cm por encima con un ancho mínimo de 10 cm para indicar su presencia durante la realización de trabajos en cercanías. Cuando las tuberías se sitúen cerca a otras conducciones subterráneas de servicios públicos deben tener un punto de cruce mínimo de 10 cm y en el caso de ser ubicadas en recorridos paralelos será a una distancia de 20 cm. En el caso de que el fondo de la zanja sea rocoso se debe preparar una cama de arena de 10 cm, medidos luego de su compactación.

Una vez instalada la tubería se procede a unirse por fusión, el tiempo de calentamiento, enfriamiento, sostenimiento y temperatura a usar debe efectuarse de acuerdo al procedimiento establecido por el fabricante de las tuberías y accesorios.³³

3.4.2 Simulación de la red de distribución en el software Aspen HYSYS. La **Figura 8** ilustra la simulación de la estación de descompresión la cual consta de dos etapas, cada una cuenta con un regulador de presión y un calentador catalítico.

Figura 9. Simulación estación de descompresión



Fuente: elaboración propia. Con base en: software Aspen HYSYS.

La **Tabla 12** muestra a continuación los resultados obtenidos una vez la estación de descompresión es simulada con los datos respectivos ya especificados, para obtener los valores de entrada y salida en sus dos etapas.

³³ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Gasoductos. Líneas de Transporte y Redes de Distribución de Gas. ICONTEC. 2001. (NTC 3728).

Los cambios de presión que se obtienen en la estación de descompresión son causados debido a que el flujo de gas debe ser entregado a la tubería troncal a 60 psig, por consiguiente, existen cambios de temperatura y a través del simulador Aspen HYSYS se determina la temperatura de entrega en la tubería troncal, como se ilustra en la tabla a continuación.

Tabla 12. Resultados simulación estación descompresión

Concepto	Parámetro	Valor	Unidad
Regulador presión 1	Presión entrada	3.000	psia
	Presión salida	1.160	psia
	Temperatura entrada	48,89	°C
	Temperatura salida	13,16	°C
	Flujo másico	5,7	kg/hr
Calentador 1	Presión entrada	1.160	psia
	Presión salida	725,2	psia
	Temperatura entrada	13,16	°C
	Temperatura salida	88	°C
	Flujo másico	5,7	kg/hr
Regulador Presión 2	Presión entrada	725,2	psia
	Presión salida	74,7	psia
	Temperatura entrada	88	°C
	Temperatura salida	5	°C
	Flujo másico	5,7	kg/hr
Calentador 2	Presión entrada	74,7	psia
	Presión salida	60	psi
	Temperatura entrada	5	°C
	Temperatura salida	29	°C
	Flujo másico	5,7	kg/hr

Fuente: elaboración propia.

La **Tabla 13** y **Tabla 14** presentan los resultados obtenidos luego de realizar la simulación de la red de distribución de gas natural en la cabecera municipal. Los valores presentados hacen referencia a la totalidad de la longitud de tubería utilizada por concepto y su respectivo flujo másico el cual es el requerido para cubrir la demanda de gas establecida. Además, la presión y temperatura correspondiente en cada línea a la entrada y salida.

La longitud total de la tubería de acometida por anillo está representada por la sumatoria de las longitudes respectivas por viviendas y el flujo másico necesario para abastecer cada una de las mismas.

Tabla 13. Resultados simulación red de distribución

Concepto	Parámetro	Valor	Unidad
Troncal	Longitud	501	metros
	Flujo másico	5,7	kg/hr
Anillo 1	Longitud	165	metros
	Flujo másico	5,7	kg/hr
Acometida 1	Longitud	22	metros
	Flujo másico	0,836	kg/hr
Anillo 2	Longitud	159	metros
	Flujo másico	4,874	kg/hr
Acometida 2	Longitud	16	metros
	Flujo másico	0,608	kg/hr
Anillo 3	Longitud	91	metros
	Flujo másico	4,265	kg/hr
Acometida 3	Longitud	14	metros
	Flujo másico	0,532	kg/hr
Anillo 4	Longitud	327	metros
	Flujo másico	3,733	kg/hr
Acometida 4	Longitud	28	metros
	Flujo másico	1,064	kg/hr
Anillo 5	Longitud	172	metros
	Flujo másico	2,669	kg/hr
Acometida 5	Longitud	6	metros
	Flujo másico	0,228	kg/hr
Anillo 6	Longitud	451	metros
	Flujo másico	2,441	kg/hr
Acometida 6	Longitud	19	metros
	Flujo másico	0,722	kg/hr
Anillo 7	Longitud	157	metros
	Flujo másico	1,719	kg/hr
Acometida 7	Longitud	4	metros
	Flujo másico	0,152	kg/hr
Anillo 8	Longitud	306	metros
	Flujo másico	1,558	kg/hr
Acometida 8	Longitud	41	metros
	Flujo másico	1,558	kg/hr

Fuente: elaboración propia.

Tabla 14. Presión y temperatura según la línea

Parámetro	Presión (kPa)		Temperatura (°C)	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Línea				
Troncal	515	514,4	29	28,57
Anillo 1	514,4	513,91	28,57	28,24
Acometida 1	513,91	513,90	28,24	25,98
Anillo 2	513,91	513,49	28,24	27,87
Acometida 2	513,49	513,48	27,87	24,84
Anillo 3	513,49	513,286	27,87	27,47
Acometida 3	513,286	513,282	27,47	24,07
Anillo 4	513,286	512,74	27,47	27,04
Acometida 4	512,74	512,72	27,04	25,32
Anillo 5	512,74	512,51	27,04	26,90
Acometida 5	512,51	512,50	26,90	21,65
Anillo 6	512,51	511,93	26,9	26,36
Acometida 6	511,93	511,91	26,36	23,90
Anillo 7	511,93	511,782	26,36	25,73
Acometida 7	511,782	511,78	25,73	20,61
Anillo 8	511,782	511,42	25,73	25,08
Acometida 8	511,42	511,29	25,08	24,59

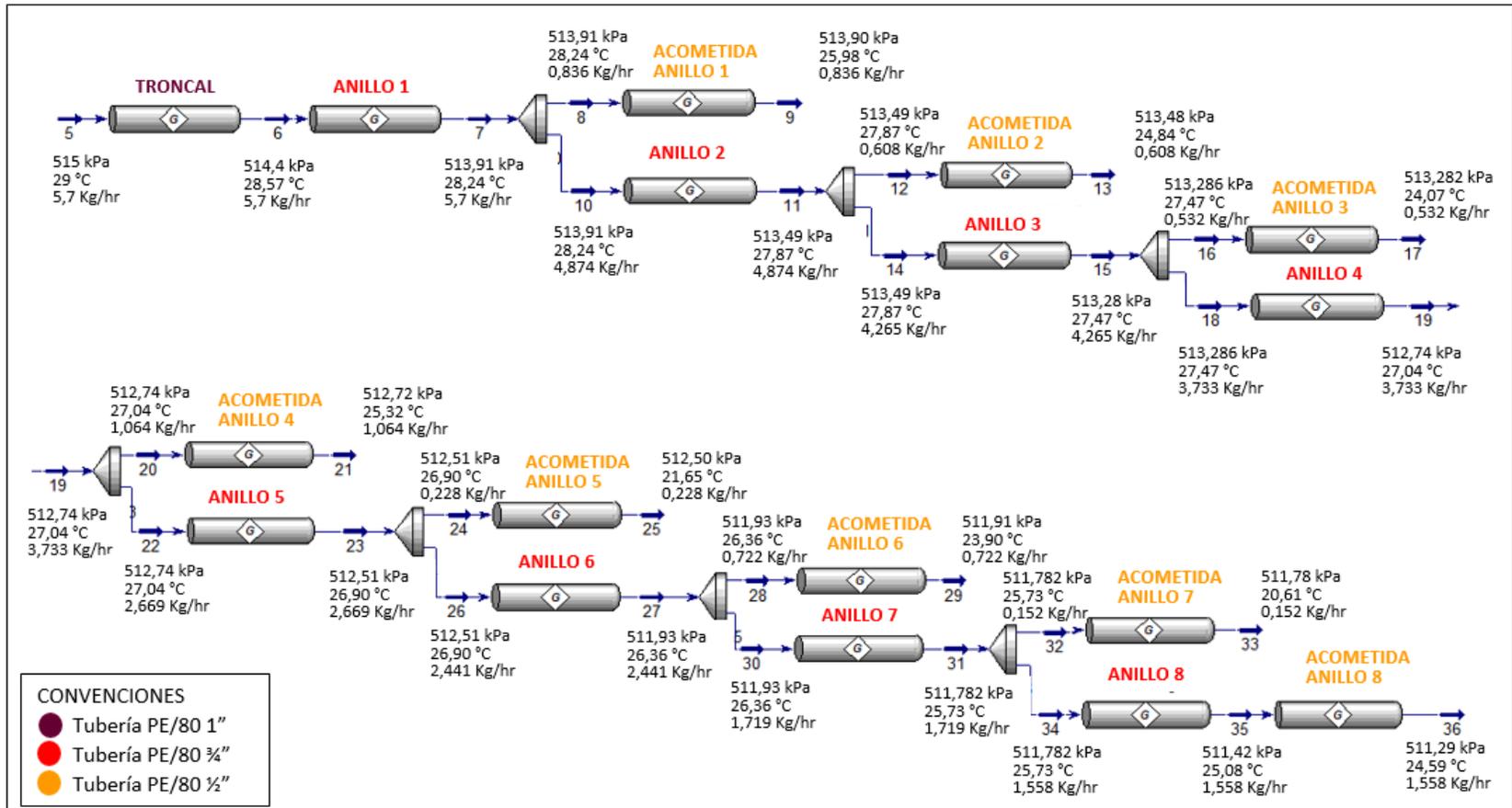
Fuente: elaboración propia.

A continuación, la **Figura 9** ilustra la simulación de la red de distribución realizada en el software Aspen HYSYS. En esta se tuvo en cuenta la cromatografía del gas descrita en el apartado de marco teórico, así como, la longitud de la tubería troncal, anillos, acometida, diámetro interno, externo nominal, rugosidad y conductividad térmica del PEMD.

Además, el flujo másico en la simulación es muy importante ya que este en la entrada al sistema debe ser el suficiente para abastecer la totalidad de viviendas.

Adicional se tuvo en cuenta la temperatura ambiente del municipio y la elevación del terreno, tomada del mapa de pendientes del Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio de Bucarasica.

Figura 10. Simulación red de distribución de gas natural

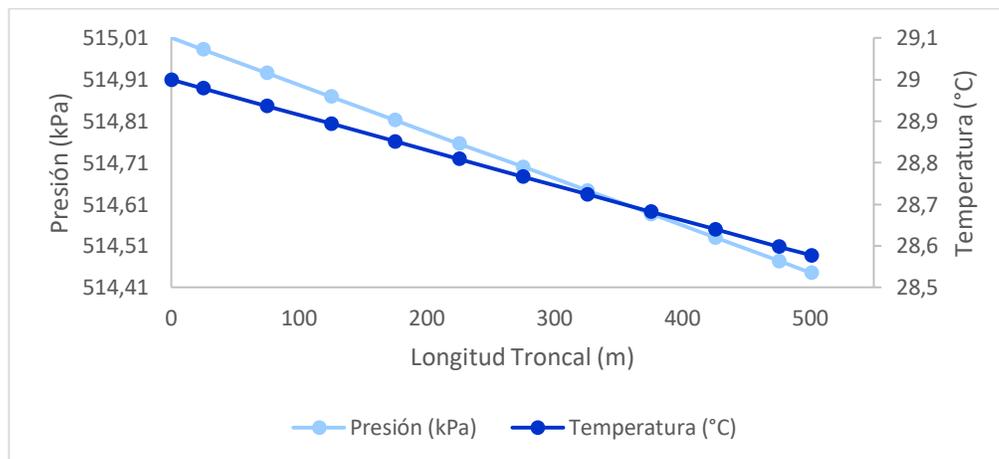


Fuente: elaboración propia. Con base en: software Aspen HYSYS.

El comportamiento del gas a lo largo de las tuberías se representa gráficamente a continuación, donde cada uno de los gráficos se compone de dos curvas, de presión y temperatura, para la troncal, cada uno de los ocho anillos y su respectiva línea de acometida.

En la **Gráfica 11** el flujo de gas a la entrada de la tubería corresponde al valor de presión de salida de la estación de descompresión el cual es de 60 psig, adicional la temperatura del flujo a la salida de la estación de descompresión es de 29°C, la cual coincide con la temperatura del flujo de entrada en la tubería troncal.

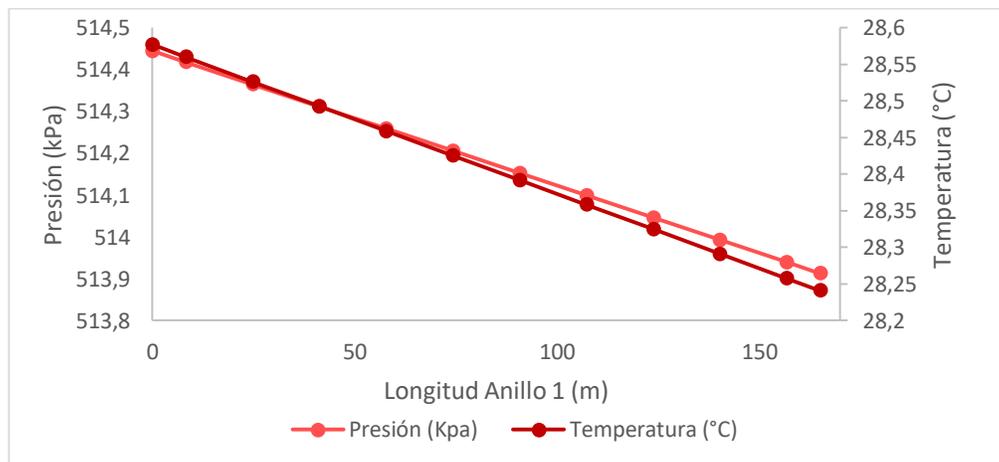
Gráfica 11. Resultados simulación Troncal



Fuente: elaboración propia.

La **Gráfica 12** correspondiente al Anillo 1, en donde se evidencia una mayor declinación representados en caídas de presión y temperatura mayores que en la tubería troncal, ocasionado por la disminución del diámetro nominal de la tubería.

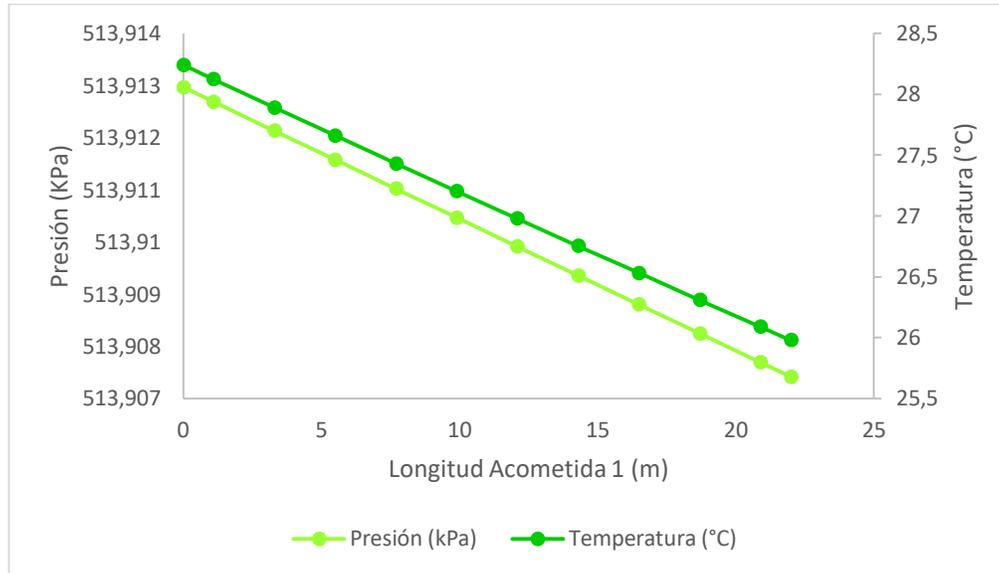
Gráfica 12. Resultados simulación Anillo 1



Fuente: elaboración propia.

La **Gráfica 13** presenta poca disminución en la presión correspondiente al segundo cambio de diámetro entre el anillo y la línea de acometida. La temperatura a su vez varía considerablemente.

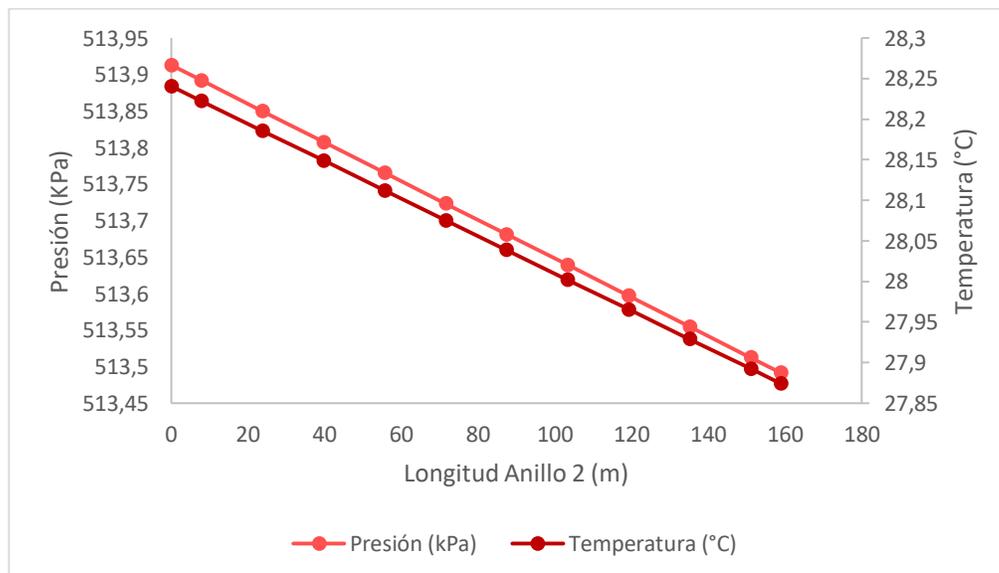
Gráfica 13. Resultados simulación Acometida 1



Fuente: elaboración propia.

En la **Gráfica 14** se observa el cambio de temperatura y presión a través de los 150 metros de longitud correspondientes al anillo 2.

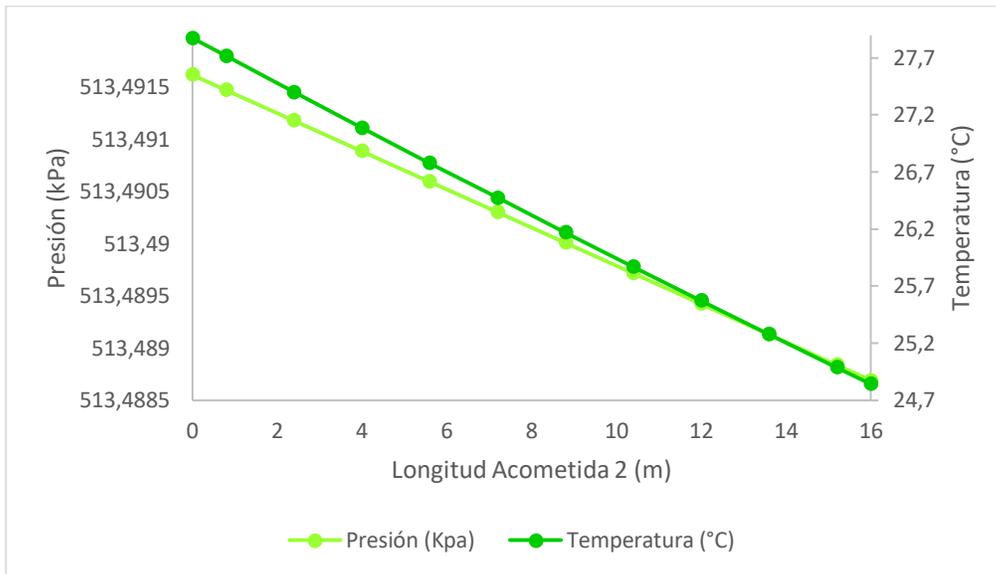
Gráfica 14. Resultados simulación Anillo 2



Fuente: elaboración propia.

En la **Gráfica 15** se puede visualizar nuevamente poca variación en la presión para la línea de acometida 2 así como se evidencia en la línea de acometida 1, por otro lado, la temperatura tiene la caída más considerable hasta el momento.

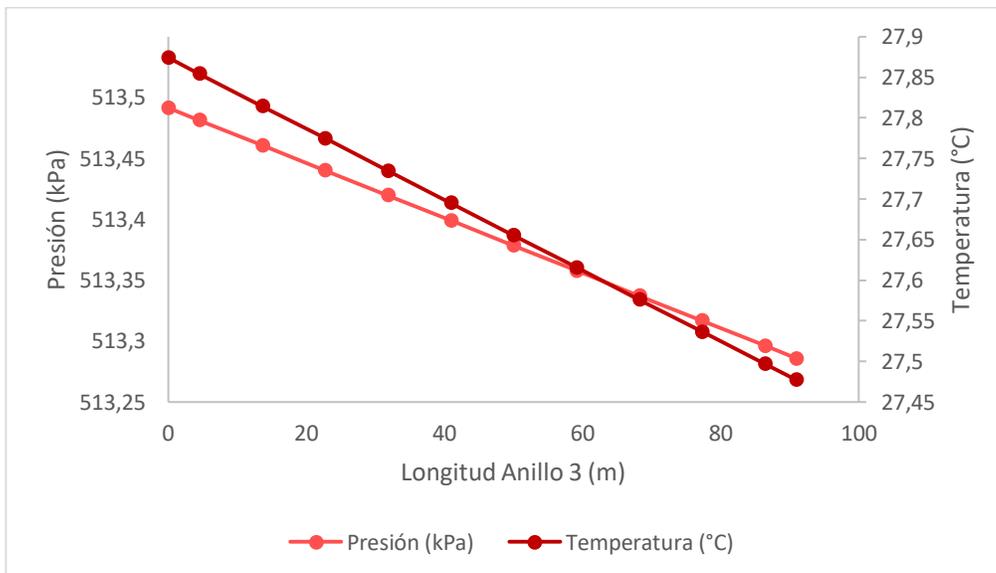
Gráfica 15. Resultados simulación Acometida 2



Fuente: elaboración propia.

Los cambios de presión y temperatura en la **Gráfica 16** varían en porcentajes bajos a través del anillo 3.

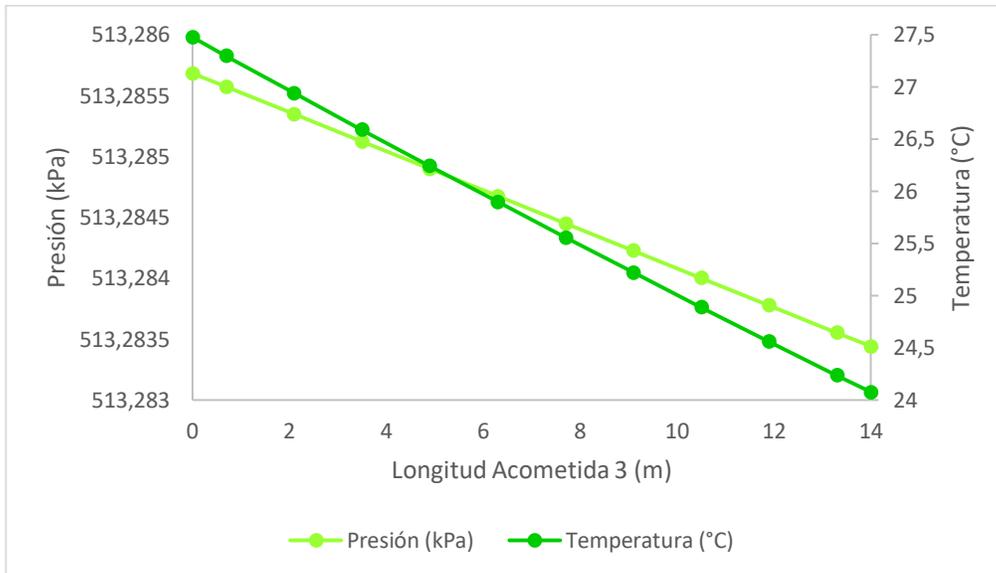
Gráfica 16. Resultados simulación Anillo 3



Fuente: elaboración propia.

Los parámetros en la línea acometida 3 mostrados en la **Gráfica 17** evidencian la poca variación de presión debido a la corta longitud de la tubería.

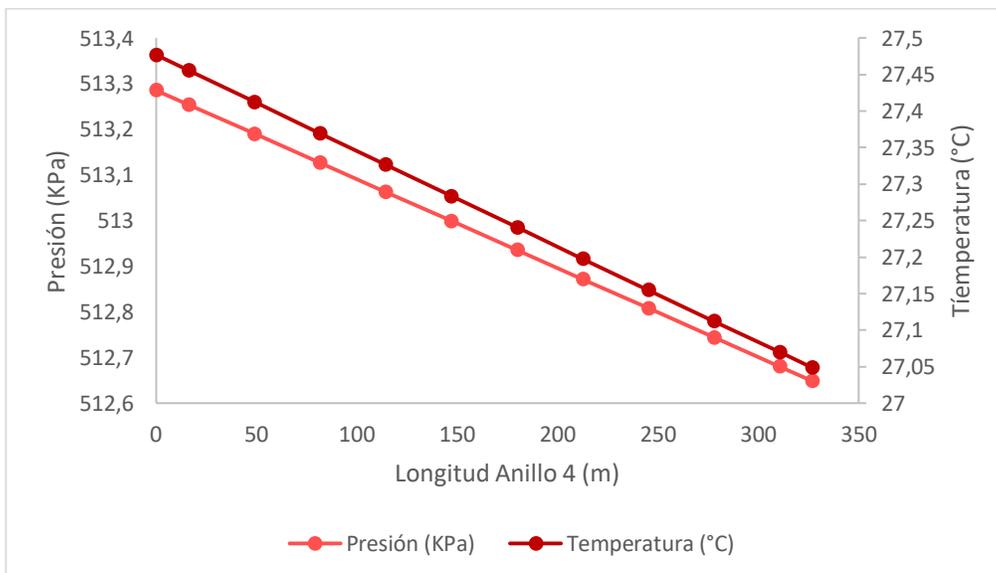
Gráfica 17. Resultados simulación Acometida 3



Fuente: elaboración propia.

Como se ha evidenciado a través de los resultados presentados las caídas de presión en los anillos son mayores y las caídas de temperatura menores, tal es el caso del anillo 4 como se muestra en la **Gráfica 18**.

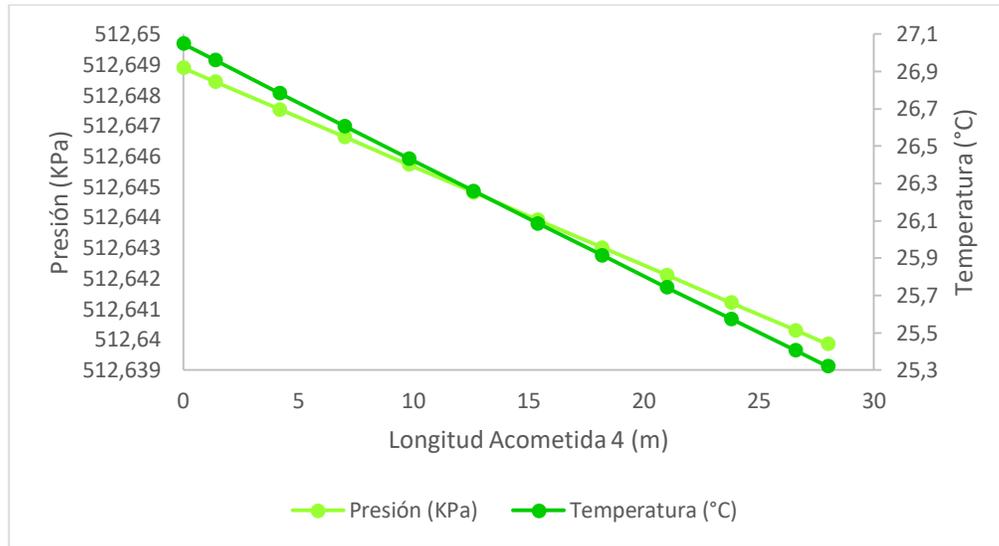
Gráfica 18. Resultados simulación Anillo 4



Fuente: elaboración propia.

Para los resultados de la línea acometida 4 se observa poca variación en la presión y un cambio considerable en la temperatura a través de la línea, dicha tendencia se ha venido presentando durante la obtención de resultados y se muestra a continuación en la **Gráfica 19**.

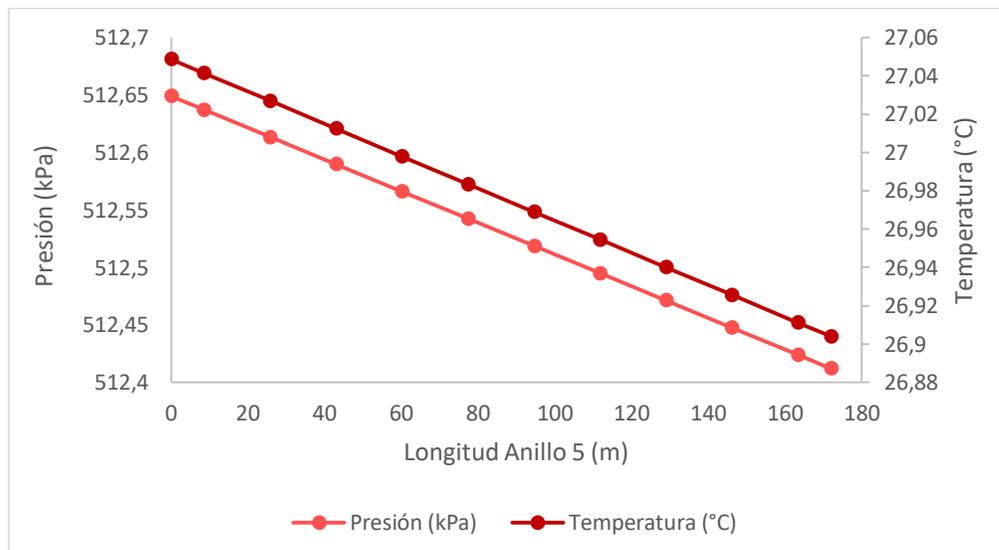
Gráfica 19. Resultados simulación Acometida 4



Fuente: elaboración propia.

El cambio de presión en los anillos se ha evidenciado considerable, pero para este caso mostrado en la **Gráfica 20** es un poco menor si lo comparamos con lo demás, debido a la corta longitud de la tubería en comparación con los otros anillos.

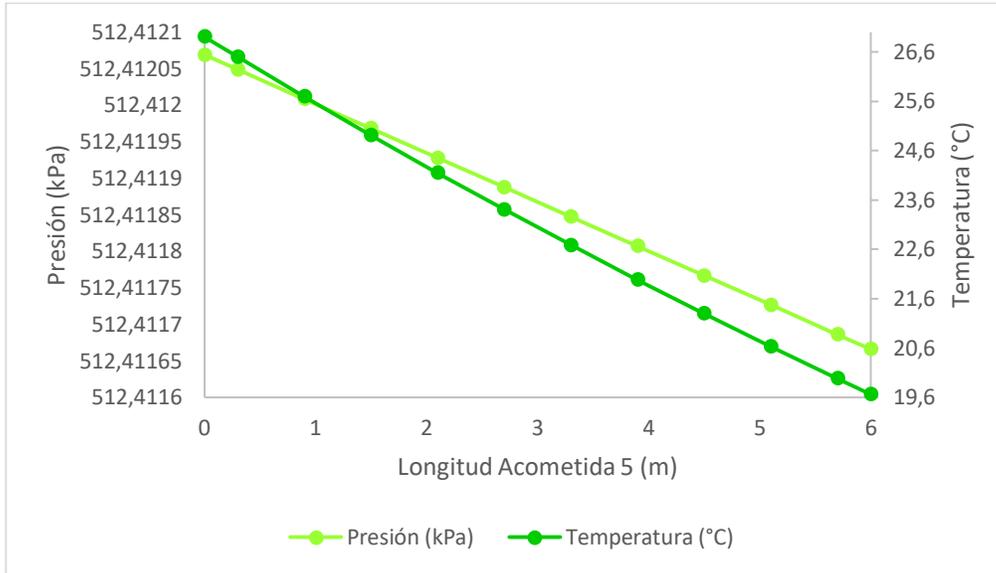
Gráfica 20. Resultados simulación Anillo 5



Fuente: elaboración propia.

A medida que las líneas de acometidas sean de longitud menor la caída de presión se hace pequeña, resultado evidenciado en la **Gráfica 21**. La temperatura su vez cae de manera abrupta.

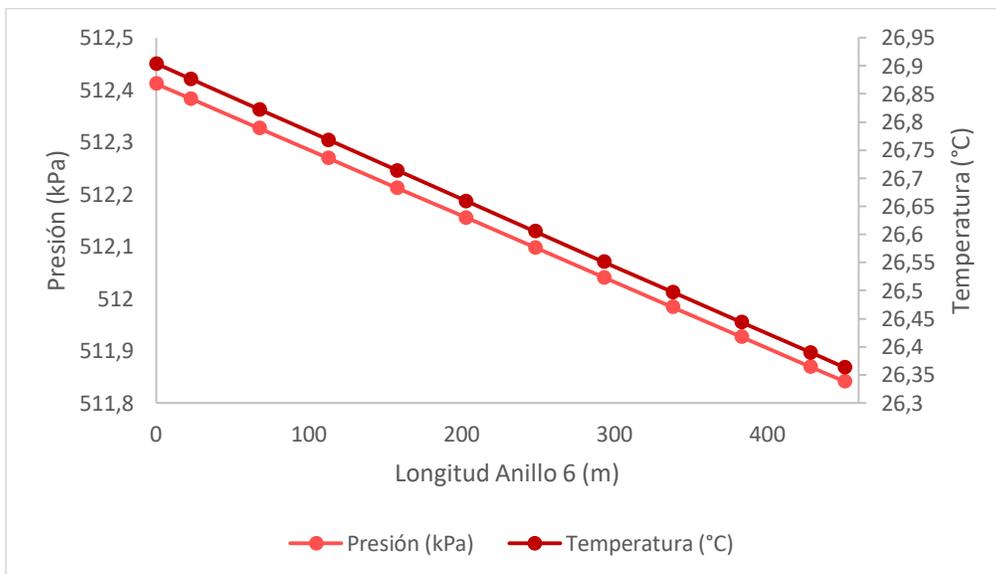
Gráfica 21. Resultados simulación Acometida 5



Fuente: elaboración propia.

Los resultados del anillo 6 muestran en la **Gráfica 22** que la temperatura no disminuye considerablemente a pesar de ser una línea de más de 400 metros, la presión se comporta como se ha venido evidenciando en los demás anillos.

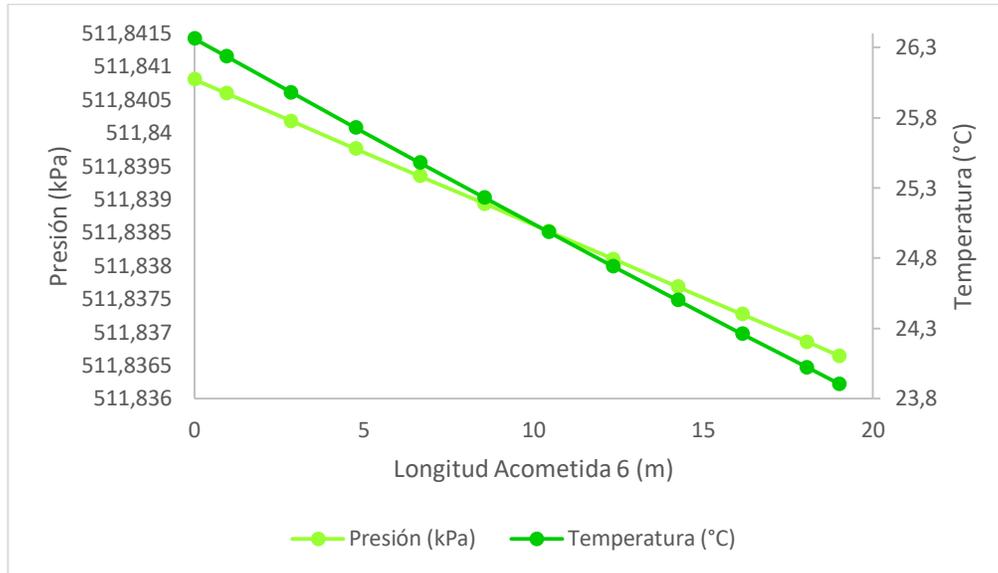
Gráfica 22. Resultados simulación Anillo 6



Fuente: elaboración propia.

Para la acometida 6 el comportamiento de la presión varía muy poco, mientras que la temperatura a través de la tubería disminuye más de 3°C, como se muestra en la **Gráfica 23**.

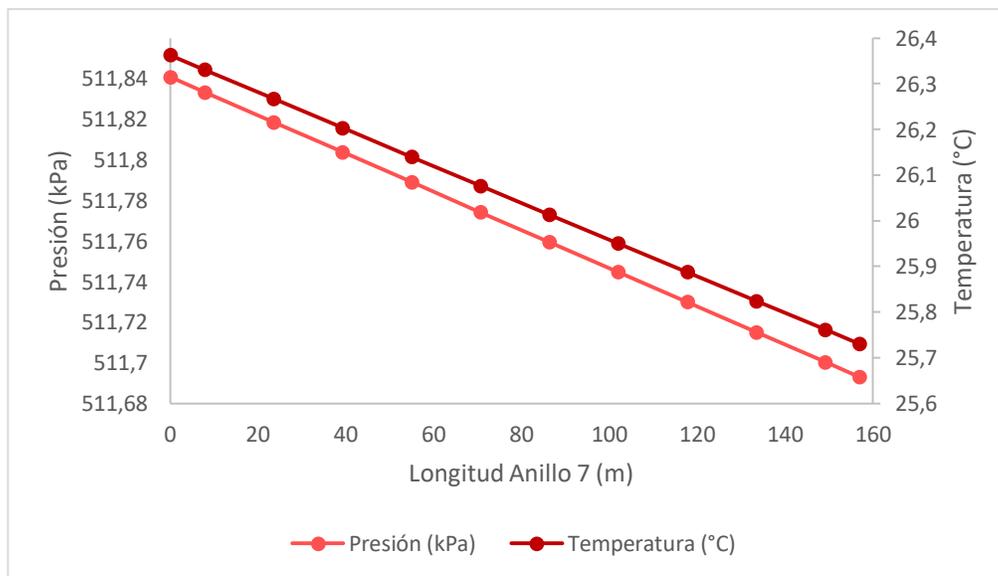
Gráfica 23. Resultados simulación Acometida 6



Fuente: elaboración propia.

El anillo 7 presenta variaciones de presión y temperatura importantes como se muestra en la **Gráfica 24**.

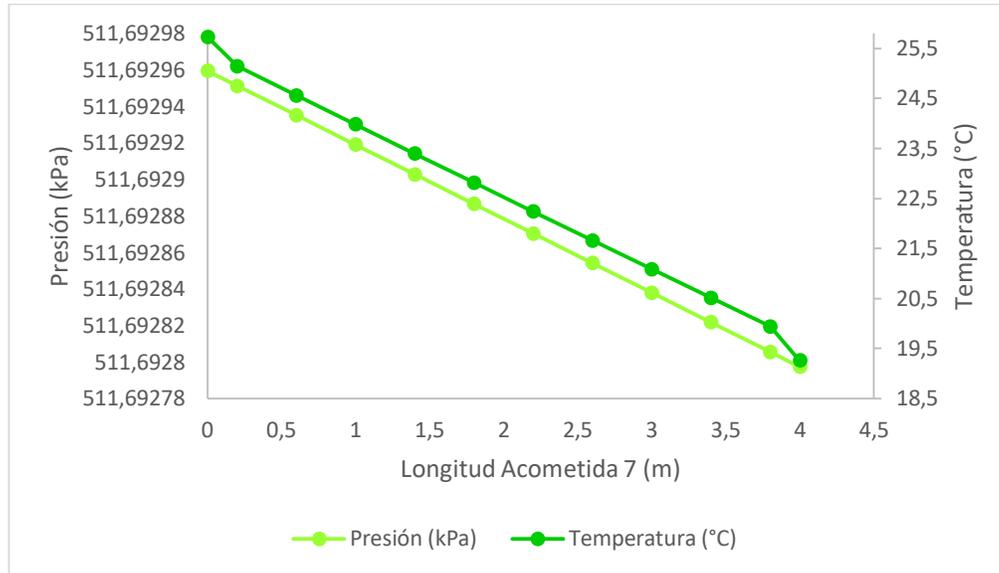
Gráfica 24. Resultados simulación Anillo 7



Fuente: elaboración propia.

La línea de acometida 7 presenta un comportamiento similar a la línea acometida 5, tuberías con poca longitud, pero con pérdidas de temperatura muy importantes y muy pocas pérdidas de presión como se observa en la **Gráfica 25**.

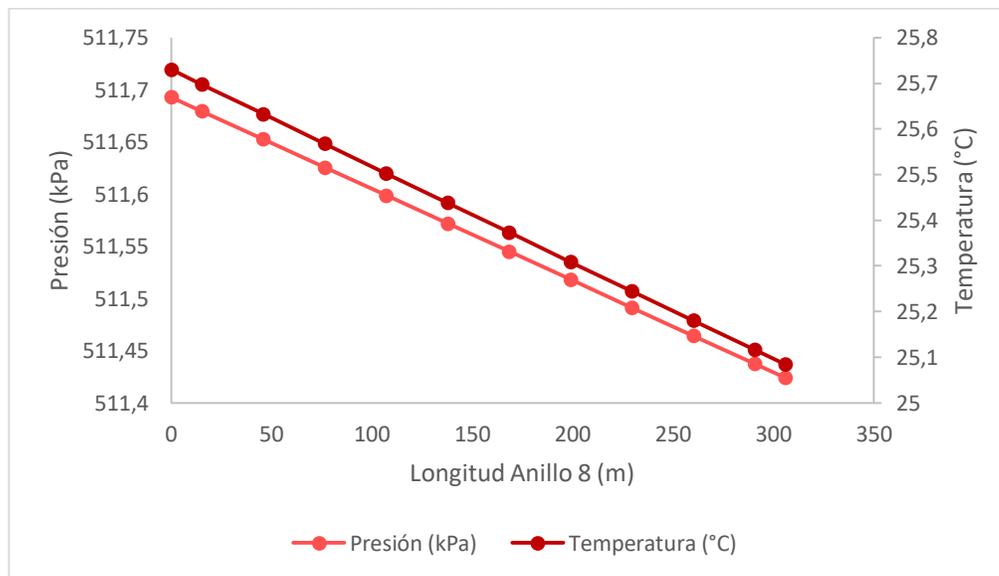
Gráfica 25. Resultados simulación Acometida 7



Fuente: elaboración propia.

La caída de presión y temperatura en el anillo 8 representan el comportamiento de los anillos a través del sistema. En la **Gráfica 26** se puede interpretar lo anteriormente dicho.

Gráfica 26. Resultados simulación Anillo 8

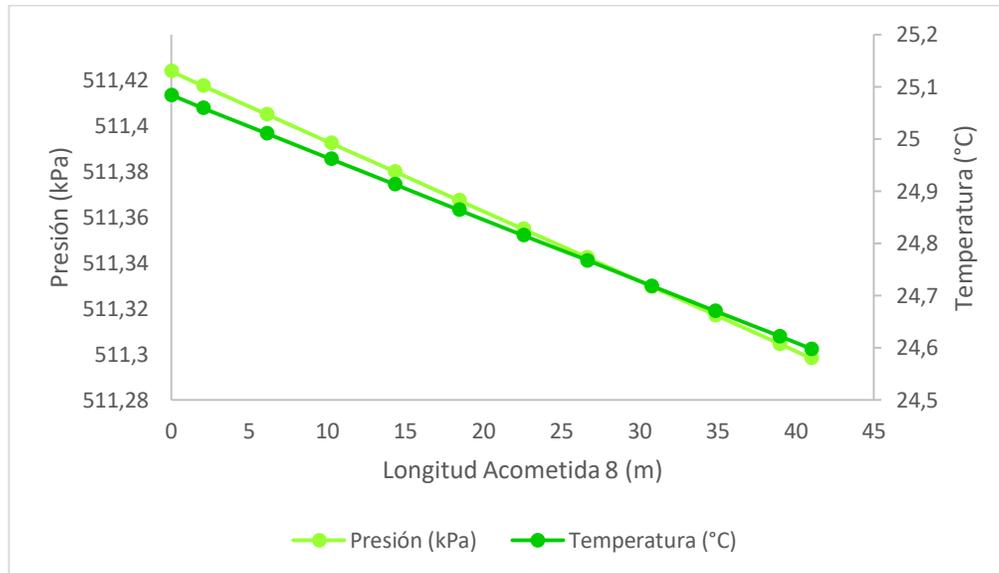


Fuente: elaboración propia.

A medida que las líneas de acometida tengo una mayor longitud la caída de presión aumenta y la caída de temperatura se hace menor si lo comparamos con la línea de acometida 5 y 7, este resultado se evidencia a continuación en la **Gráfica 27**.

Adicional la caída de presión y temperatura allí representan las variaciones totales de dichos parámetros, comparando la entrada del flujo con la entrega del mismo a los consumidores.

Gráfica 27. Resultados simulación Acometida 8



Fuente: elaboración propia.

Un análisis más detallado sumado a la discusión de los gráficos y resultados anteriormente presentados se encontrarán en la sección análisis de resultados.

3.5 ESTUDIO FINANCIERO

Los resultados del estudio financiero se presentan a continuación: inicialmente, se muestran la **Tabla 14** en donde se especifican equipos y materiales que se requieren y la **Tabla 15** en la que se pueda observar los costos que se requieren para la instalación de la tubería y la mano de obra, estas dos tablas ayudan a calcular la inversión del proyecto.

Posteriormente la **Tabla 16**, **Tabla 17** y **Tabla 18** muestran los ingresos y costos, datos requeridos para la elaboración del horizonte de proyección.

Finalmente, en la **Tabla 19** se muestra el horizonte de proyección del flujo de caja detallado y en la **Figura 10** el diagrama del mismo.

Tabla 15. Equipos y materiales

Concepto	Cantidad	Precio Unitario (COP)	Precio Total (COP)
Tubería Troncal 1"	501 mts	4.123	2'065.623
Tubería Anillo ¾"	1.828 mts	2.632	4'811.296
Tubería Acometida ½"	150 mts	2.015	302.250
Válvula Mariposa 1"	1	45.136	45.136
Válvula Mariposa ¾"	7	35.361	247.527
Codo 1"	3	19.936	59.808
Codo ¾"	60	11.672	700.320
Reductor de diámetro 1"- ¾"	1	28.521	28.151
Reductor de diámetro ¾"-1/2"	150	23.287	3'493.050

Fuente: elaboración propia. Con base en: PAVCO WAVIN. Lista de precios septiembre 2019.

Tabla 16. Instalación y mano de obra

Concepto	Precio Unitario x ml (COP)	Precio Total (COP)
Unión termofusión	847,00	2'099.713
Oficial	6.400	15'865.600
Ayudantes (2)	9.000	22'311.000
Retroexcavadora	28.000	69'412.000
Vibrocompactador	700,00	1'735.300
Equipo de termofusión manual	3.400	8'428.600
Disposición de residuos	1.500	3'718.500

Fuente: elaboración propia. Con base en: Análisis de precios unitarios. Suministro e instalación de tubería polietileno. Ingeniera civil Vivian Díaz.

Incluye excavación mecánica, relleno con material de sitio compactado mecánicamente y retiro de escombros a botadero certificado. El precio unitario está dado por metro lineal.

Inversión total del proyecto: 135'324.244 COP (Ciento treinta cinco millones trescientos veinticuatro mil doscientos cuarenta y cuatro pesos).

El valor total presentado a continuación en la **Tabla 16** se determina para un consumo promedio de 20 m^3 mensuales por conexión. Representado como el ingreso de ventas de gas natural comprimido en el año 1.

Para los siguientes años, los ingresos se calculan en referencia al rango de caudal de gas. El consumo promedio de gas natural por vivienda para el año 2 es 22 m^3 , para el año 3 es de 24 m^3 , para el año 4 es de 26 m^3 y para el año 5 es de 28 m^3 .

Tabla 17. Ingresos por venta según estrato de la vivienda

Estrato	No. conexiones	\$/m ³ (COP)	Valor mensual (COP)	Valor Año 1 (COP)
1	59	1.074,60	1'268.028	15'216.336
2	91	1.338,19	2'435.505,8	29'226.069,6

Fuente: elaboración propia. Con base en: GASES DEL ORIENTE S.A. Tarifas del mercado: Toledo, Labateca, Chitagá, Silos y Sardinata. 2018.

En la **Tabla 17** se presentan los ingresos para los diferentes caudales a lo largo de los cinco años del horizonte de proyección.

Tabla 18. Ingresos por venta según periodo

Concepto	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Estrato 1	1'394.831	1'521.634	1'648.436	1'775.239
Estrato 2	2'679.056	2'922.607	3'166.158	3'409.708
Mes (COP)	4'073.887	4'444.241	4'814.594	5'184.947
Total (COP)	48'886.646	53'330.887	57'775.127	62'219.368

Fuente: elaboración propia.

Los costos para la compra y transporte de GNC se muestran en la **Tabla 18**.

Tabla 19. Costos de compra GNC

Concepto	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
\$/MMBTU	15.665	15.665	15.665	15.665	15.665
MMBTU	113,68	125,05	136,42	147,78	159,15
Mes (COP)	1'780.797	1'958.908	2'137.019	2'314.974	2'493.085
Total (COP)	21'369.566	23'506.899	25'644.232	27'779.684	29'917.017

Fuente: elaboración propia. Con base en: WATTLE PETROLEUM COMPANY S.A.S.

Tabla 20. Costos de transporte GNC

Concepto	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
\$/m ³	1.346,17	1.346,17	1.346,17	1.346,17	1.346,17
m ³ /mes	3.000	3.300	3.600	3.900	4.200
Mes (COP)	4'038.510	4'442.361	4'846.212	5'250.063	5'653.914
Total (COP)	48'462.120	53'308'332	58'154.544	63'000.756	67'846.986

Fuente: elaboración propia. Con base en: COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS. Matriz costos de transporte de GNC.

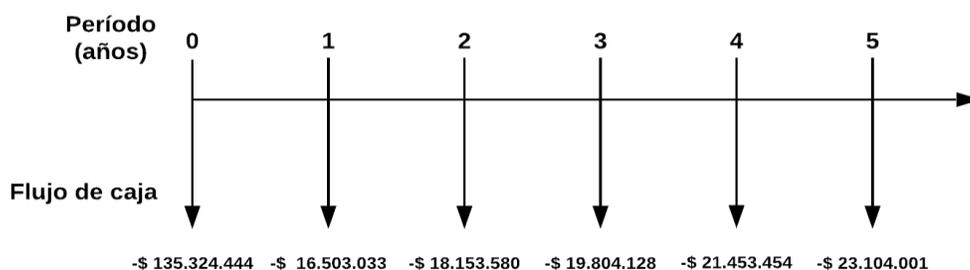
El flujo de caja para al horizonte de proyección se muestra a continuación en la **Tabla 20** y **Figura 10**.

Tabla 21. Horizonte de proyección flujo de caja

Periodo	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingreso ventas GNC (+)	44'442.406	48'886.646	53'330.887	57'775.127	62'219.368
Costos GNC (-)	21'369.566	23'506.899	25'644.232	27'779'684	29'897.916
Costos de transporte (-)	48'462.120	53'308.332	58'154.544	63'000.756	67.846.968
Utilidad bruta	-25'389.281	-27'928.585	-30'467.889	-33'005.313	-35'544.617
Impuestos (-)	-8'886.248	-9'775.005	-10'663.761	-11'551.860	-12'440.616
Utilidad neta	-16'503.033	-18'153.580	-19'804.128	-21'453.454	-23'104.001
Flujo de caja neto	-16'503.033	-18'153.580	-19'804.128	-21'453.454	-23'104.001

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. Flujo de caja



Fuente: elaboración propia.

A partir del flujo de caja, la inversión total del proyecto, se determina el Valor Presente Neto y la Tasa Interna de Retorno.

VPN = -192'775.321 COP

TIR = -1,64

Una vez obtenidos los indicadores económicos son analizados para determinar la viabilidad del proyecto, así como factores característicos de la inversión y beneficios que el proyecto puede ofrecer.

4. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A partir de la metodología planteada y los resultados obtenidos en este apartado se interpreta, analiza y discute el desarrollo del proyecto con el fin de concretar la hipótesis y dar paso a las conclusiones y recomendaciones que los autores consideren.

4.1 ESTUDIO DE MERCADO Y RANGO DE CAUDAL DE GAS

Una vez tabulado el estudio de mercado, comprendido por 100 encuestas realizadas en la cabecera municipal de Bucarasica, se observa un panorama en el municipio donde se encuentran viviendas únicamente de estratos 1 y 2 que representan las características físicas internas y externas de estas, así como su entorno inmediato y su contexto habitacional y funcional urbano, asociado a estratos socioeconómicos de nivel bajo-bajo y bajo.

Un factor importante a reconocer en este caso corresponde al que estos estratos por albergar usuarios con menores recursos, son beneficiarios de subsidios en los servicios públicos domiciliarios.

Como es el caso de la empresa Gases del Oriente S.A E.S.P³⁴ la cual presta servicio de distribución y comercialización de gas combustible mediante la concesión del Ministerio de Minas y Energía en el departamento de Norte de Santander, que para los estratos 1 y 2 otorga subsidios del 49,36% y 36,72% respectivamente, sobre la tarifa equivalente del costo por prestación del servicio.

Por otra parte, debido a la falta de la red de distribución de gas natural en el municipio, solo el 71% de los encuestados tiene la capacidad económica de hacer compra de cilindros de GLP para el abastecimiento de combustible en sus viviendas, sin embargo, el 39% sigue haciendo uso leña y carbón por el alto costo que representa la compra de cilindros GLP, cuyo valor para el año 2015 rondaba entre los 35.000 y 52.000 COP según la Asociación Colombiana de GLP Gasnova³⁵.

Teniendo en cuenta que el estudio de mercado arrojó que el 95% paga por el combustible alrededor de 31.000 y 60.000 COP, se evidencian valores muy altos de compra en consideración con el nivel socioeconómico de los habitantes.

³⁴ GASES DEL ORIENTE S.A. Tarifas del mercado: Toledo, Labateca, Chitagá, Silos y Sardinata. [En línea]. 2018. [Consultado: 1 de septiembre de 2019]. Disponible en internet: <http://www.gasesdelorientes.com.co/avirtual/tarifiles/Tarifas%20Diciembre%202018%20Gibraltar.pdf>

³⁵ GASNOVA. Asociación Colombiana de GLP. [En línea]. 2015. [Consultado: 8 de septiembre de 2019]. Disponible en internet: <http://www.gasnova.co/10428/>

Una vez determinado que en el 94% de las viviendas encuestadas se hace uso del combustible de modo frecuente y muy frecuente, es importante traer a colación el rango de caudal de gas estimado anteriormente.

Por ejemplo si el consumo promedio en el hogar es entre 20 y 28 m^3 y considerando que el precio por metro cúbico de gas natural el cual incluye el subsidio, es de 1.074,60 y 1.338,19 COP para los estratos 1 y 2 respectivamente, el costo promedio del servicio estaría entre los 21.492 y 30.088,8 COP para los estratos 1 y entre los 26.763,8 y 37.469,32 COP para los estratos 2.

Siendo así, lo anterior representaría un servicio constante y seguro, a un precio menor comparado con la compra de cilindros de GLP, además de la posibilidad de un mayor consumo mensual. Por esta razón, la implementación de la red de gas natural en el municipio, conlleva a ventajas y beneficios para los habitantes, de los cuales el 91% mostró interés en adquirir el servicio.

4.2 DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA VIRTUAL

El GNC viaja al consumidor en un gasoducto virtual a lo largo de la ruta virtual, parámetros que fueron previamente establecidos y para ello se implementan camiones rígidos con módulos a alta presión, dichos camiones pueden cargar 2, 3, 4 o hasta 5 módulos con capacidad de 300 m^3 cada uno. A continuación, teniendo en cuenta la **Figura 5**, para cada uno de los parámetros se especifican y discuten las condiciones en cada parte del proceso.

4.2.1 Compresión. El gas se comprime en la planta de gas La Florida a 3.000 psi (20.684 kPa) y 120°F (48,489°C). Estos valores son determinados por la empresa WATTLE PETROLEUM COMPANY S.A.S e implementados en sus instalaciones de superficie.

4.2.2 Cargue de módulos. Son necesarios 14 módulos con capacidad de 300 m^3 que llevarán el gas comprimido hasta el municipio de interés, realizando 5 viajes al mes y haciendo uso de un camión con capacidad para 3 módulos como se estableció anteriormente. Con el fin de cumplir con la demanda de gas natural de 4200 m^3 . Esta elección genera mayores costos de transporte, ya que si se estableciera un camión con capacidad para 4 o más módulos generaría menores costos en concepto de peajes, combustible y trayectos al mes por realizar.

Al momento de implementarse el proyecto se debe tener en cuenta que los autores diseñaron la ruta virtual para manejar un rango de caudal mensual por vivienda entre 20 m^3 y 28 m^3 , por ello según sea el requerimiento de gas la cantidad de módulos y viajes al mes debe variarse respecto a la caudal de gas.

4.2.3 Transporte. Los camiones recorren 94,41 kilómetros desde el Campo Cerro Gordo hasta la cabecera municipal de Bucarasica.

Es importante mencionar que los autores seleccionan un camión con capacidad para 3 módulos debido a que el municipio de Bucarasica presenta topografía escarpada con cambios bruscos de pendiente, zonas geográficas de difícil acceso y terrenos inestables que dificultan el paso de un camión de dimensiones mayores, además la ruta virtual debe ejecutarse por vías públicas expuestas a posibles situaciones generadoras de riesgo que puede ocasionar incertidumbre en la entrega de caudal de gas requerido en el municipio.

La región del Catatumbo está ubicada en el Noreste del departamento de Norte de Santander, la cual en diversas zonas se encuentran grupos generadores de riesgo (GGR). Por ejemplo, el Oleoducto Caño Limón Coveñas que cruza a través de este departamento y es afectado por estos grupos que atentan contra este.

Adicional a la presencia de GGR en la zona, la vía puede presentar problemas por manifestaciones o demás complicaciones por condiciones sociales, políticas y ambientales, por esta razón es importante la ejecución de un análisis de gestión de riesgos, con el fin de identificar y evaluar las amenazas y vulnerabilidades del gasoducto virtual y su ruta a recorrer.

Una vez esto será posible realizar una comparación más acertada entre la exposición a amenazas del gasoducto virtual y el de tubería convencional.

A modo de prever una situación que impida o retrase la llegada del GNC a la estación de descompresión, deberá establecerse alternativas de almacenamiento en el municipio de interés las cuales aseguren el abastecimiento de gas natural.

4.2.4 Descompresión. Luego de que el gas llega al sitio de interés el último paso a seguir para poder abastecer a los consumidores es enviarlo a la estación descompresora la cual entrega el gas a la línea a troncal a 515 kPa (60 psi) y 29°C (84,2°F). A partir de allí se toma en cuenta el comportamiento del flujo a lo largo de la red de distribución diseñada.

4.3 DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

De acuerdo a lo presentado en la sección metodología y resultados, correspondientes al diseño de la red de distribución, donde se incluyen parámetros iniciales del diseño, trazado del plano de tuberías, parámetros de tendido de red y finalmente su simulación, se establece lo siguiente: La importancia de basar el diseño en la Norma Técnica Colombiana, con el fin de realizar una correcta toma de decisiones.

Respecto al material y diámetro de la tubería a utilizar, los autores tomaron como referencia las normas NTC 3838 “Gasoductos. Presiones de Operación Permisibles Para el Transporte, Distribución y Suministros de Gases Combustibles” y NTC 1746 “Plásticos. Tubos y Accesorios Termoplásticos Para Conducción de Gases a Presión”, adoptando el uso de tuberías de PEMD Schedule 80 RDE 11 y RDE 9, de diámetro nominal 1”, ¾” y ½”, que brindan ventajas respecto a su instalación y uso para el transporte de gas, por sus características físicas que ofrecen durabilidad, impermeabilidad, facilidad de transporte y entre las más importantes, su bajo costo de compra.

La elección de los diámetros de tubería es corroborada cuando se simula la red de distribución en el software y se encuentra que los cambios de presión y temperatura que se presentan son idóneos, ya que garantizan que el flujo de gas se mantenga en fase vapor y que este sea el adecuado para cada línea de acometida representado en la **Tabla 13** en la sección de resultados.

A partir del diseño del plano de tuberías realizado en AutoCAD y una vez determinadas las longitudes de cada una de las líneas, se estableció el número de válvulas y accesorios a utilizar, los cuales serán del mismo tipo y material que la red de tubería.

Establecido lo anterior, la red de distribución es llevada a simulación en el software Aspen HYSYS, requiriéndose de una interpretación del funcionamiento de la estación de descompresión. Inicialmente los autores hacen uso de un descompresor o expander, observándose un comportamiento en el gas en el cual este pierde temperatura alcanzando los -87°C ocasionado pérdida de la fase vapor.

Con el fin de lograr la correcta simulación del flujo de gas, se propone el uso de un calentador catalítico el cual asegure la estabilización de la temperatura del fluido; característico de las estaciones de descompresión, regulación y medición de gas. Para esto se establecen dos etapas, cada una compuesta de un expander y un calentador, para bajar gradualmente la presión y lograr mantener la temperatura de manera adecuada.

La importancia de la simulación de la acción del calentador catalítico radica en la prevención del enfriamiento y formación de hidratos, produciendo calor de forma infrarroja, controlando así la temperatura del gas cuando se generan expansiones que originan descensos de esta, manteniendo las condiciones de operación permisibles y el gas natural en fase vapor.

Como se muestra en la **Figura 9** el diseño de las tuberías se realizó de tal manera que en la simulación se pudiera plasmar cada malla y acometida a partir de un segmento de tubería que representa las líneas trazadas en el plano de AutoCAD según el **Anexo A**. Para poder visualizar la secuencia del flujo de gas a través de estas, observando que el anillo 1 tiene conexión al anillo 2, el anillo 2 tiene conexión

al anillo 3 y así sucesivamente hasta el anillo 8; mostrando además que cada anillo tiene una derivación que corresponde a la línea de acometida.

La simulación de la red de distribución realizada en el software Aspen HYSYS permite obtener las pérdidas de presión y temperatura a lo largo de las diferentes líneas, teniendo en cuenta factores importantes como lo son los cambios de diámetro, longitud y elevación del terreno que hacen determinar las variaciones existentes con mayor exactitud. A continuación, en la **Tabla 22** se puede observar los cambios ya mencionados a través de las líneas.

Tabla 22. Variación de presión y temperatura

Parámetro	Presión (kPa)			Temperatura (°C)		
	Entrada	Salida	ΔP	Entrada	Salida	ΔT
Línea Troncal	515	514,4	0,60	29	28,57	0,43
Anillo 1	514,4	513,91	0,49	28,57	28,24	0,33
Acometida 1	513,91	513,90	0,01	28,24	25,98	2,26
Anillo 2	513,91	513,49	0,42	28,24	27,87	0,37
Acometida 2	513,49	513,48	0,01	27,87	24,84	3,03
Anillo 3	513,49	513,286	0,204	27,87	27,47	0,4
Acometida 3	513,286	513,282	0,004	27,47	24,07	3,4
Anillo 4	513,286	512,74	0,54	27,47	27,04	0,43
Acometida 4	512,74	512,72	0,02	27,05	25,32	1,73
Anillo 5	512,74	512,51	0,23	27,04	26,90	0,14
Acometida 5	512,51	512,50	0,001	26,90	21,65	5,25
Anillo 6	512,51	511,93	0,58	26,9	26,36	0,54
Acometida 6	511,93	511,91	0,02	26,36	23,90	2,46
Anillo 7	511,93	511,782	0,148	26,36	25,73	0,63
Acometida 7	511,782	511,78	0,002	25,73	20,61	5,12
Anillo 8	511,782	511,42	0,362	25,73	25,08	0,65
Acometida 8	511,42	511,29	0,13	25,08	24,59	0,49

Fuente: elaboración propia.

Luego de obtener los valores mostrados se puede comprobar que el gas natural no supera la máxima presión de operación permisible en la tubería la cual es 101,5 psig, según la NTC 3838 Gasoductos. Presiones de Operación Permisibles para el Transporte, Distribución y Suministros de Gases Combustibles.³⁶

Como se puede observar los cambios de presión y temperatura varían según la línea, obteniendo la mayor caída de presión en la línea de troncal debido a que es la tubería con mayor longitud en la red de distribución y cuenta con una baja elevación del terreno. La pérdida de presión en los anillos y acometidas varía entre

³⁶ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Gasoductos. Presiones de Operación Permisibles para el Transporte, Distribución y Suministros de Gases Combustibles. ICONTEC. 2004. (NTC 3838).

0,204 kPa en el anillo 3 a 0,572 kPa en el anillo 6. La pérdida de temperatura en los anillos y acometidas varía entre 0,33 °C en el anillo 1 a 5,25 °C en la acometida 5.

La pérdida de presión en el anillo 6 el cual tiene una longitud de 451 metros, siendo apenas 49 metros menor que la troncal arroja la segunda pérdida de presión más alta en el sistema. Adicional, el anillo cuenta con una elevación baja del terreno.

La pérdida de temperatura en la acometida número 5 se debe a que se tiene en cuenta la conductividad térmica de la tubería de plástico (0,43 W/mK), el cambio de diámetro de ¾" a ½" y una elevación del terreno del 12%. Los resultados se muestran a continuación en la **Tabla 23**.

Tabla 23. Mayores pérdidas de presión y temperatura

Parámetro	Presión (kPa)			Temperatura (°C)			
	Línea	Entrada	Salida	ΔP	Entrada	Salida	ΔT
Troncal		515	514,4	0,60	29	28,57	0,43
Anillo 6		512,51	511,93	0,58	26,9	26,36	0,54
Acometida 5		512,51	512,50	0,001	26,90	21,65	5,25

Fuente: elaboración propia.

En comparación entre el anillo 4 y 6 se analiza que, aunque las pérdidas de presión son cercanas, la del anillo 6 es mayor ya que la longitud de la tubería es mayor y la elevación del terreno también lo es. Adicional se puede interpretar que el número de codos, bifurcaciones y cambios de sección generan variaciones en las pérdidas.

Por otra parte, se comparan las pérdidas de temperatura en la línea de acometida 2 y 5 donde se puede observar que son pérdidas considerables, en las cuales se tienen en cuenta la conductividad térmica, el cambio de diámetro y el factor que más afecta que es la elevación del terreno, generando que el flujo deba hacer un mayor esfuerzo para llegar a su destino y pierda el calor que trae a lo largo de la línea. Las variaciones obtenidas en estas líneas se pueden visualizar a continuación en la **Tabla 24**.

Tabla 24. Comparativa de presión y temperatura según la línea

Parámetro	Presión (kPa)			Temperatura (°C)			
	Línea	Entrada	Salida	ΔP	Entrada	Salida	ΔT
Troncal		515	514,4	0,60	29	28,57	0,43
Anillo 4		513,286	512,64	0,54	27,47	27,04	0,43
Anillo 6		512,51	511,93	0,58	26,9	26,36	0,54
Acometida 2		513,49	513,48	0,01	27,87	24,84	3,03
Acometida 5		512,51	512,50	0,001	26,90	21,65	5,25

Fuente: elaboración propia.

Según Cabrera y Martínez³⁷ para la simulación de red de distribución para el centro poblado de San Antonio de Anapoima consideran en primer lugar un sistema adiabático, en segundo lugar, hacen uso de segmento de tubería convencional en el software y no tienen en cuenta los cambios de elevación en el terreno.

Obteniendo una variación de presión en la red de distribución para el centro poblado de San Antonio de Anapoima en la línea troncal de 2,786 psi teniendo en cuenta que es una tubería de 570 metros. Para la línea troncal de la red de distribución del municipio de Bucarasica la variación es de 0,97 psi y la tubería tiene una longitud de 500 metros. Valor que para los autores presenta incongruencia debido a que en este proyecto para la simulación red de distribución en el municipio de Bucarasica se toman en cuenta tuberías de gas, por lo que se considera que se tiene una variación de presión acertada al realizar dicha comparación.

En tanto, Cabrera y Martínez para la variación de temperatura en la red de distribución para el centro poblado de San Antonio de Anapoima consideran un sistema adiabático y no tienen en cuenta los cambios de elevación en el terreno. Mientras que para la simulación de la red de distribución en el municipio de Bucarasica se toma en cuenta tuberías de gas que exigen valores de coeficiente de transferencia de calor por convección para tubería plástica, además se tiene en cuenta los cambios de elevación de terreno y la temperatura ambiente afecta las variaciones a lo largo de la tubería.

Finalmente, los autores consideran de gran importancia asegurar que la presión disponible del sistema sea mayor que el valor de caída de presión total a lo largo de la tubería y accesorios, y menor que el valor de MPOP estipulado, a las velocidades y temperaturas de flujo operativas esperadas, para el correcto diseño y funcionamiento de la red de distribución de gas natural en la cabecera municipal de Bucarasica cumpliendo con el caudal necesario para abastecer cada una de las acometidas donde se incluye el valor total según el número de viviendas conectadas.

4.4 ESTUDIO FINANCIERO

La viabilidad financiera del proyecto se determina y analiza en base a los indicadores económicos calculados en la sección resultados.

A partir de los costos de equipos, materiales e instalación con su respectiva mano de obra, se determina el valor total de la inversión a realizar en el año cero de 135'324.244 COP.

³⁷ CABRERA, Melissa. MARTÍNEZ, Angie. Diseño de la ampliación de la red de distribución de gas natural en el centro poblado de San Antonio de Anapoima. Bogotá D.C., 2017 Tesis de Ingeniería de Petróleos. Fundación Universidad de América. Facultad de Ingenierías.

Una vez obtenida la inversión inicial del proyecto, se calculan los flujos de caja respectivos para cada año según el horizonte de proyección, observando valores negativos que oscilan entre -16'503.033 y -23'104.001 COP. Esto reflejado en que los costos anuales son mayores en comparación con los ingresos anuales, respectivamente.

Respecto al valor obtenido para el VPN de -192'775.321 COP se entiende que el proyecto no aporta riqueza por encima de la tasa mínima exigida.

Por otra parte, con un valor de -1,64 para la TIR, se concluye que la inversión no cubre las expectativas de retorno operando con un capital de inversión alto que no genera remanentes, que además no alcanzará en ningún momento del proyecto el punto de equilibrio.

De acuerdo con los resultados presentados, se considera que los flujos de caja del horizonte de proyección se ven afectados en términos de los altos costos anuales que deben ser cubiertos por conceptos del transporte de los módulos de GNC, en comparación con proyectos donde se implementan gasoductos de tubería convencional, los cuales representan una sola inversión inicial y no se afecta el horizonte de proyección y los flujos de caja anuales del proyecto.

A partir de esto los autores plantean la importancia de la búsqueda de convenios con entidades prestadoras de servicio de transporte, en el cual se establezcan acuerdos de pago por servicio.

Por otra parte, el costo elevado de compra de gas natural por MMBTU, requerido para el abastecimiento de la demanda de la población del municipio cuyo precio es de 4,64 USD/MMBTU, sumado al valor actual de la tasa de cambio representativa del mercado –TRM- que para los meses de enero a octubre del año 2019 fluctuó entre 3.072,01 y 3.467,60 COP, según el Banco de la República de Colombia³⁸, representando un impacto en el aumento de los costos del proyecto.

Adicionalmente los ingresos del proyecto son bajos, esto ocasionado por el rango de precio de la tarifa por consumo de gas natural doméstico, debido al porcentaje de subsidio que las familias obtienen según su estrato socioeconómico, lo que produce que los costos del proyecto sean muy altos en comparación con los ingresos que el mismo puede obtener respecto al cobro por consumo de la prestación del mismo.

En consecuencia, es recomendado llevar a cabo un nuevo escenario del estudio financiero, a modo que se evalúen cambios en los parámetros del mismo que

³⁸ BANCO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Tasa Representativa del Mercado (TRM – Peso por dólar). [En línea]. S.f [Consultado: 22 de octubre de 2019]. Disponible en internet: <https://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/trm>

puedan ser significativos e influyentes en su realización para determinar nuevas variables o variaciones en los resultados del mismo.

Dentro de este nuevo estudio debe incluirse un horizonte de proyección a 10 años para evaluar el retorno del proyecto a un mayor plazo, así como incluir el porcentaje de subsidio que es cubierto por el Estado como concepto de los ingresos por cobro de las tarifas de consumo según el número de conexiones.

Finalmente, los autores plantean el proyecto como una inversión social con el único fin de generar un impacto en el bienestar de la comunidad, donde no se considera el retorno económico y si requiera de conocer la sostenibilidad futura del mismo, además de orientarse por iniciativas de desarrollo, mejorando la calidad de vida de las poblaciones quienes reciben un servicio seguro y económico.

Se propone ejecutar la implementación del proyecto a través del cumplimiento de metas gubernamentales de la Alcaldía Municipal de Bucarasica con el apoyo de la empresa WATTLE PETROLEUM COMPANY S.A.S para fomentar el desarrollo sostenible del entorno de operación.

Con el fin de una vez identificada la necesidad de proporcionar a la comunidad la conexión al servicio de gas natural domiciliario y luego de la búsqueda de alternativas de solución y la elección de la opción más viable, plantear el diseño definitivo del proyecto brindando un acompañamiento en la ejecución y la operación para dar seguimiento al servicio entregado, para la futura evaluación del mismo que determinará el impacto generado a nivel social, económico y ambiental.

5. CONCLUSIONES

- El estudio de mercado mostró el interés del 91% de las viviendas encuestadas en adquirir el servicio de gas natural domiciliario, de estratos uno y dos los cuales podrán acceder a subsidios del 49,36% y 36,72% respectivamente.
- El gas producido en el Campo Cerro Gordo es apto para su transporte y uso domiciliario por su alto contenido de metano de 72,71%, una vez le sean retirados los componentes ácidos (10,28% de CO_2).
- La producción del Campo Cerro Gordo de 1.1 MSCFD tiene la capacidad de abastecer mensualmente la demanda de gas natural de 4.200 m^3 requerida en la cabecera municipal de Bucarasica.
- El sistema virtual es diseñado para el transporte de 4.200 m^3 mensuales, que recorre 94,41 kilómetros entre el Campo Cerro Gordo y el municipio de Bucarasica, entregados en catorce módulos de 300 m^3 de GNC a 3.000 psi.
- El diseño de la red de distribución de gas natural es conformado por la tubería troncal de 500,04 metros de PEMD 1", 1.828,86 metros de tubería de PEMD $\frac{3}{4}$ " para los anillos de distribución y 150 metros de tubería de PEMD $\frac{1}{2}$ " referente a las acometidas domiciliarias.
- La simulación de la red de distribución en el software Aspen HYSYS refleja las pérdidas de presión que sufre el gas a través de las tuberías, tras ingresar a una presión de 515 kPa a la troncal y ser entregado a 511,29 kPa en la acometida 8. Obteniendo una caída de presión total de 3,71 kPa.
- El estudio financiero establece que la inversión inicial para la implementación de la red de distribución de gas natural diseñada en el municipio de Bucarasica es de 135'324.244 COP.
- Los valores obtenidos para el VPN de -192'775.321 COP y -1,64 para la TIR, determinan la no generación de ingresos, por lo que se plantea la ejecución del proyecto como una inversión social.
- El uso de la tecnología de gasoducto virtual brindará a la población de la cabecera municipal de Bucarasica el acceso a gas natural domiciliario, mejorando su calidad de vida tras obtener una fuente de energía que satisfaga la demanda existente, así como el pago de menores precios por este servicio sumado a la disminución de los efectos nocivos para la salud y el medio ambiente.

6. RECOMENDACIONES

- Realizar la simulación de la red de distribución en el software Aspen HYSYS con base a una actualización de la cromatografía del gas.
- Determinar el valor de pérdida de calor que sufre el gas durante su transporte en los módulos del gasoducto virtual.
- Establecer el costo de la estación de descompresión para obtener con mayor exactitud la inversión inicial del proyecto.
- Realizar las acometidas internas de las viviendas para el suministro de gas natural según la NTC 2505 “Instalaciones para Suministro de Gas Combustible Destinadas a usos Residenciales y Comerciales”.
- Evaluar la ampliación de la red de distribución hacia veredas y demás zonas del municipio de Bucarasica.
- Evaluar los escenarios de implementación del proyecto a fin de obtener continuidad del mismo contribuyendo así al desarrollo social y económico de la zona de interés.
- Evaluar la implementación del proyecto en otros municipios del país que no cuenten con acceso al servicio de gas natural, cuyas características demográficas, topográficas y geográficas permitan su aplicación.

BIBLIOGRAFÍA

BAKER HUGHES A GE COMPANY. Virtual natural gas pipeline. [En línea]. S.f. [Consultado: 30 de julio de 2019]. Disponible en Internet: <https://www.bhge.com/midstream/pipeline-storage/virtual-natural-gas-pipeline>

CABRERA, Melissa. MARTÍNEZ, Angie. Diseño de la ampliación de la red de distribución de gas natural en el centro poblado de San Antonio de Anapoima. Bogotá D.C., 2017 Tesis de Ingeniería de Petróleos. Fundación Universidad de América. Facultad de Ingenierías.

COMERCIAL Y TRANSPORTE GNC. Gasoducto virtual. [En línea]. 2017. [Consultado: 30 de julio de 2019]. Disponible en Internet: <http://www.gasnaturalcomprimido.com/gasoductos-virtuales.php>

COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS. Especificaciones de calidad del gas natural en el punto de entrada del sistema de transporte. 2007. (CREG-017).

_____. Compresión y transporte de gas natural comprimido –GNC-2004. (CREG-048).

GASES DEL ORIENTE S.A. Tarifas del mercado: Toledo, Labateca, Chitagá, Silos y Sardinata. [En línea]. 2018. [Consultado: 1 de septiembre de 2019]. Disponible en internet: <http://www.gasesdelorientec.com.co/avirtual/tarifiles/Tarifas%20Diciembre%202018%20Gibraltar.pdf>

_____. Informe ejecutivo de gestión de Gases del Oriente empresa de servicios públicos domiciliarios. [En línea]. 2013. [Consultado: 1 de septiembre de 2019]. Disponible en internet: <https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Energia%20y%20gas%20combustible/Gas%20natural/2018/Oct/2013informeejecutivodegestiongasesdelorientesaesp.pdf>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC -1486-6166. Bogotá D.C.: El instituto, 2018. ISBN 9789588585673 153 p.

_____. Instalaciones para Suministro de Gas Combustible Destinadas a usos Residenciales y Comerciales. ICONTEC. 2006. (NTC 2505).

_____. Gasoductos. Presiones de Operación Permisibles para el Transporte, Distribución y Suministros de Gases Combustibles. ICONTEC. 2004. (NTC 3838).

_____. Gasoductos. Líneas de Transporte y Redes de Distribución de Gas. ICONTEC. 2001. (NTC 3728).

_____. Plásticos. Tubos y Accesorios Termoplásticos para la Conducción de Gases a Presión. ICONTEC. 1999. (NTC 1746).

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO. Simulación de procesos en Aspen HYSYS. [En línea]. 2010. [Consultado: 24 de agosto de 2019]. Disponible en Internet: <https://es.scribd.com/document/59086989/Curso-Electivo-Simulacion-avbt>

ANEXOS

**ANEXO A.
RED DE DISTRIBUCIÓN PARA LA CABECERA MUNICIPAL DEL MUNICIPIO
DE BUCARASICA. (Ver en CD-ROM)**

ANEXO B.
INTERFAZ. SIMULACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN EN EL SOFTWARE
ASPEN HYSYS. (Ver en CD-ROM)

ANEXO C.
MAPA DE PENDIENTES. ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL
MUNICIPIO DE BUCARASICA. (Ver en CD-ROM)