

**DISEÑO DE LA AMPLIACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS  
NATURAL EN EL CENTRO POBLADO SAN ANTONIO DE ANAPOIMA.**

**MELISSA CABRERA BELTRÁN  
ANGIE VIVIANA MARTÍNEZ HERNÁNDEZ**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BOGOTÁ D.C  
2017**

**DISEÑO DE LA AMPLIACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS  
NATURAL EN EL CENTRO POBLADO SAN ANTONIO DE ANAPOIMA.**

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

**Director  
Adriangela Chiquinquirá Romero Sánchez  
Ingeniera de Petróleos**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BOGOTÁ D.C  
2017**

**Nota de Aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

Ing. Carlos Espinosa  
Presidente del Jurado

---

Ing. Nadim Escaño

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro:

**Dr. JAIME POSADA DIAZ**

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos:

**Dr. LUIS JAIME POSADA GARCIA-PEÑA**

Vicerrectora Académica y de Posgrados:

**Dr. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS**

Secretario General

**Dr. JUAN CARLOS POSADA GARCIA-PEÑA**

Decano Facultad de Ingeniería

**Ing. JULIO CESAR CIFUENTES ARISMENDI**

Director Programa Ingeniería de Petróleos

**Ing. JOSE HUMBERTO CANTILLO SILVA**

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.

Dedicado en primer lugar a Dios.

A mi madre Claudia Beltrán quien con su apoyo incondicional me impulsó a seguir adelante con éste sueño, a mi padre Juan Carlos, a mi Abuelita Mami quien desde el cielo me acompaña, a mi hermano Giancarlo y a mis hermanas Stefany, Sofia y Luciana la luz de mis ojos.

A mi compañera Viviana, porque con su apoyo y esfuerzo culminamos nuestro trabajo de grado.

A mis grandes amigos Francisco y Jessica, quienes son como hermanos y fueron testigos y cómplices de éste capítulo de mi vida.

**Melissa Cabrera Beltrán**

Primero que todo agradezco a Dios por darme la sabiduría, Paciencia y tiempo para realizar este proyecto, a mis padres Fidela y Carlos que siempre me han apoyado en todas mis decisiones, que me dieron la oportunidad de estudiar esta carrera, que me han enseñado a valorar todo lo que la vida nos da y a luchar por lo que quiero, a mi hermano Miguel Angel que es lo más lindo que me dio la vida y es mi gran compañía.

A todos mis amigos que siempre han estado acompañándome en los buenos y malos momentos, a todas las personas que han puesto su granito de arena para que este proyecto se realice y a mi compañera Melissa ya que sin ella este proyecto no hubiera sido posible.

**Angie Viviana Martinez Hernández**

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero que todo a Dios por darnos la paciencia, sabiduría y tiempo para finalizar este proyecto, a la Alcaldía Municipal de Anapoima por confiar en nosotras y permitirnos desarrollar un proyecto para la comunidad, a la Universidad de América, a sus Directivas y el Cuerpo Docente por orientarnos y brindarnos las herramientas necesarias para nuestro desarrollo profesional.

Queremos agradecer a nuestra directora la Ing. Adriangela Chiquinquirá Romero, al Ing Carlos Espinosa por su dedicación, interés y compromiso con nuestro proyecto; del mismo modo al profesor Juan Cely por sus aportes.

Al Ing. Jhon Espitia por su ayuda incondicional y paciencia y a todos aquellos que pusieron su grano de arena para finalizar este proyecto.

## CONTENIDO

|   | pág. |
|---|------|
| 1. GENERALIDADES DEL CENTRO POBLADO SAN ANTONIO Y DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS ACTUAL         | 22   |
| 1.1 Generalidades de Anapoima   | 22   |
| 1.1.1 Localización Geográfica.  | 22   |
| 1.1.2 Descripción del Centro Poblado San Antonio de Anapoima.                                     | 23   |
| 1.2 Descripción de la Red de Distribución de Gas Natural Actual del Municipio de Anapoima         | 25   |
| 1.2.1 Generalidades de la estación reguladora virtual   | 26   |
| 1.2.2 Descripción del Gas Natural   | 30   |
| 2. ESTUDIO DE MERCADO   | 33   |
| 2.1 RESULTADOS DE LAS ECUESTAS REALIZADAS   | 33   |
| 3. DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL PARA EL CENTRO POBLADO SAN ANTONIO DE ANAPOIMA | 43   |
| 3.1 Conceptos Claves Para el Diseño   | 43   |
| 3.1.1 Estación City Gate  | 43   |
| 3.1.2 Redes de distribución   | 43   |
| 3.1.3 Líneas primarias  | 43   |
| 3.1.4 Líneas secundarias  | 43   |
| 3.1.5 Troncal   | 44   |
| 3.1.6 Anillos   | 44   |
| 3.1.7 Acometidas domiciliarias  | 45   |
| 3.1.8 Instalación interna   | 45   |
| 3.1.9 Línea individual  | 45   |
| 3.1.10 Centro de medición   | 45   |
| 3.1.11 Regulación de la presión   | 45   |
| 3.1.11.1 Regulador de presión   | 45   |
| 3.1.12 Cajas de inspección  | 46   |
| 3.1.13 Clase de localidad   | 46   |
| 3.1.13.1 Localidad Clase 1  | 46   |
| 3.1.13.2 Localidad Clase 2  | 46   |
| 3.1.13.3 Localidad Clase 3  | 46   |
| 3.1.13.4 Localidad Clase 4  | 46   |
| 3.1.14 Máxima presión de operación permisible (MPOP)  | 46   |
| 3.1.15 Plan de contingencia   | 47   |
| 3.1.15.1 Plan de emergencia   | 47   |
| 3.1.16 Relación dimensional estándar (RDE).   | 47   |
| 3.1.17 Resistencia a la tensión   | 47   |
| 3.1.18 Resistencia mínima a la fluencia especificada (SMYS).                                      | 47   |
| 3.1.19 Accesorios   | 47   |

|   |    |
|---|----|
| 3.1.20 Válvulas   | 47 |
| 3.1.21 Tuberías   | 47 |
| 3.1.22 Tuberías plásticas   | 47 |
| 3.1.23 Plástico   | 48 |
| 3.1.23.1 Termoestable   | 48 |
| 3.1.23.2 Termoplástico  | 48 |
| 3.1.24 Acoplamiento de tuberías   | 48 |
| 3.1.25 Acoplamiento de tuberías de plástico   | 48 |
| 3.1.25.1 Proceso de termo fusión  | 48 |
| 3.2 CONDICIONES INICIALES DEL DISEÑO  | 48 |
| 3.2.1 Demanda de Gas Natural  | 48 |
| 3.2.1.1 Cálculo del caudal de gas   | 49 |
| 3.2.2 Tipo de tubería y diámetros de la red   | 53 |
| 3.2.3 Trazado de la tubería (troncal y anillos).                                    | 54 |
| 3.2.3.1 Válvulas de seccionamiento.   | 55 |
| 3.2.4 Pérdidas de presión   | 56 |
| 3.2.5 Construcción y tendido de la red  | 58 |
| <br>  |    |
| 4. MODELAMIENTO DEL DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCION DE GAS NATURAL EN ASPEN HYSYS. | 62 |
| 4.1 Descripción General de Aspen Hysys.   | 62 |
| 4.1.2 Herramientas del programa   | 62 |
| 4.2 Ingreso de Datos en Aspen Hysys   | 63 |
| 4.2.1 Properties.   | 63 |
| 4.2.2.2 Troncal hacia anillos de distribución                                       | 69 |
| <br>  |    |
| 5. ANÁLISIS FINANCIERO  | 74 |
| 5.1 Análisis de Costos de Inversión   | 75 |
| 5.2 Evaluación Financiera   | 78 |
| 5.2.1 El Valor Presente Neto (VPN).   | 78 |
| 5.2.2 Tasa Interés de Oportunidad (TIO).  | 79 |
| 5.2.3 Flujo de Caja   | 80 |
| 5.3 Conclusión de la Evaluación Financiera  | 80 |
| <br>  |    |
| 6. CONCLUSIONES   | 82 |
| <br>  |    |
| 7. RECOMENDACIONES  | 83 |
| <br>  |    |
| BIBLIOGRAFA   | 84 |
| <br>  |    |
| ANEXOS  | 85 |

## LISTA DE TABLAS

|  | pág. |
|--|------|
| Tabla 1. Cobertura de los servicios públicos en San Antonio de Anapoima  | 25   |
| Tabla 2. Ficha técnica encuesta habitantes de San Antonio de Anapoima    | 34   |
| Tabla 3. Resultados generales de la encuesta realizada                   | 35   |
| Tabla 4. Personas que habitan en una vivienda en San Antonio de Anapoima | 36   |
| Tabla 5. Potencia de artefactos domésticos a gas                         | 50   |
| Tabla 6. Volumen de gas consumido por cada artefacto                     | 50   |
| Tabla 7. Tiempo de preparación de alimentos                              | 51   |
| Tabla 8. Volumen de gas consumido en una vivienda en un día              | 52   |
| Tabla 9. Características de la tubería de polietileno PE 80              | 54   |
| Tabla 10. Parámetros para el tendido de la tubería                       | 58   |
| Tabla 11. Parámetros finales del diseño de la red de gas                 | 60   |
| Tabla 12. Cromatografía del Gas Natural                                  | 65   |
| Tabla 13. Valores de presión y temperatura en la red de distribución.    | 73   |
| Tabla 14. Periodo uno  | 76   |
| Tabla 15. Periodo dos  | 76   |
| Tabla 16. Periodo tres.  | 77   |
| Tabla 17. Periodo cuatro   | 77   |
| Tabla 18. Periodo cinco  | 78   |
| Tabla 19. Costos de Inversión  | 78   |

## LISTA DE GRÁFICOS

|  | pág. |
|--|------|
| Gráfica 1. Número de personas que habitan en una vivienda                        | 36   |
| Gráfica 2. Gasto mensual de los habitantes en la compra de combustible domestico | 41   |

## LISTA DE FIGURAS

|   | pág. |
|---|------|
| Figura 1. Localización geográfica del Municipio de Anapoima                               | 24   |
| Figura 2. Módulo de Gas Natural Comprimido  | 27   |
| Figura 3. Proceso de descompresión del Gas Natural en la planta descompresora de Anapoima | 29   |
| Figura 4. Tanque de 6000 L y cilindro de gas propano (GLP)                                | 37   |
| Figura 5. Estrato de la vivienda  | 38   |
| Figura 6. Combustible actual en uso   | 38   |
| Figura 7. Preferencia de los habitantes hacia un combustible domestico                    | 39   |
| Figura 8. Conocimiento de los habitantes sobre el Gas Natural                             | 40   |
| Figura 9. Complicaciones en la salud de los habitantes por el uso de leña                 | 40   |
| Figura 10. Interés de los habitantes en adquirir el servicio de Gas Natural domiciliario  | 41   |
| Figura 11. Ciclo general de la distribución de Gas Natural domiciliario                   | 44   |
| Figura 12. Troncal, anillos y acometidas individuales                                     | 45   |
| Figura 13. Caída de presión para un tramo de 2000 m                                       | 58   |
| Figura 14. Parámetros para el tendido de la tubería                                       | 59   |
| Figura 15. Procedimiento de unión por Termofusión   | 60   |
| Figura 16. Componentes de la cromatografía del gas  | 64   |
| Figura 17. Línea principal desde Anapoima hasta San Antonio                               | 65   |
| Figura 18. Propiedades del Gas Natural  | 66   |
| Figura 19. Cálculo del caudal molar   | 67   |
| Figura 20. Condiciones del fluido a la entrada IN   | 67   |
| Figura 21. Características y propiedades de la tubería de la línea principal              | 68   |
| Figura 22. Presión de salida en la línea principal y perfil de declinación                | 69   |
| Figura 23. Temperatura de la línea principal  | 69   |
| Figura 24. Propiedades y características de la línea Troncal de la red                    | 70   |
| Figura 25. Presión de la línea TRONCAL  | 71   |
| Figura 26. Temperatura de la línea TRONCAL  | 71   |
| Figura 27. Propiedades y características de un tramo de los anillos de distribución       | 72   |
| Figura 28. Presión en la MALLA  | 72   |
| Figura 29. Temperatura en la MALLA  | 73   |
| Figura 30. Ruta Anapoima-San Antonio  | 75   |
| Figura 31. Flujo de Caja  | 80   |

## LISTA DE ECUACIONES

|   | pág. |
|---|------|
| Ecuación 1. Caudal de gas según poder clarifico | 50   |
| Ecuación 2. Modelo de Müller                    | 57   |
| Ecuación 3. Modelo de Müller para P2            | 57   |
| Ecuación 4. Ecuación de estado Peng Robinson    | 66   |
| Ecuación 5. Valor Presente Neto                 | 79   |
| Ecuación 6. Tasa de Interés Equivalente         | 79   |

## LISTA DE ANEXOS

|   | pág. |
|---|------|
| Anexo A. Gasoducto urbano de Gas Natural Colombia Municipio de Anapoima     | 86   |
| Anexo B. Red de distribución de Gas Natural para Centro Poblado San Antonio | 87   |
| Anexo C. Don't Gamble With Physical Properties For Simulations              | 88   |

## **ABREVIATURAS**

|      |  |
|------|--|
| GLP  | Gas Licuado del Petróleo               |
| GN   | Gas Natural                            |
| GNC  | Gas Natural Comprimido                 |
| GNVC | Gas Natural Vehicular Comprimido       |
| MPOP | Máxima Presión de Operación Permisible |
| PE   | Polietileno                            |
| PEMD | Polietileno de Media Densidad          |
| PVC  | Policloruro de Vinilo                  |
| UPME | Unidad de Planeación Minero Energética |

## GLOSARIO

**ADIABÁTICO:** es un sistema que no permite que haya intercambio de calor con otros sistemas.

**CASCO URBANO:** lugar principal de una Ciudad o Municipio donde se encuentra la mayor cantidad de habitantes e infraestructura.

**CENTRO POBLADO (CP):** es un concepto creado por el DANE para fines estadísticos, útil para la identificación de núcleos de población. Se define como una concentración de mínimo veinte (20) viviendas contiguas, vecinas o adosadas entre sí, ubicada en el área rural de un municipio o de un Corregimiento Departamental. Dicha concentración presenta características urbanas tales como la delimitación de vías vehiculares y peatonales.

**CROMATOGRAFIA:** método de análisis que permite la separación de gases o líquidos de una mezcla por adsorción selectiva, produciendo manchas diferentemente coloreadas en el medio adsorbente; está basado en la diferente velocidad con la que se mueve cada fluido a través de una sustancia porosa.

**FLUENCIA:** también llamado cadencia, es el punto límite en el cual un material pierde elasticidad para posteriormente empezar a deformarse irreversiblemente.

**GASODUCTO VIRTUAL:** en la Resolución CREG 202 de 2013 se establece la siguiente definición, “GASODUCTO VIRTUAL DE DISTRIBUCIÓN: Sistema de compresión, transporte y descompresión de GNC, para abastecer Gas Natural, por un medio diferente a gasoducto físico, a mercados relevantes, municipios, usuarios finales, estaciones de GNVC u otros, cuando el gasoducto físico no es posible técnicamente o no es viable financieramente”.

**INSPECCIÓN DE POLICÍA (IP):** es una instancia judicial en un área que puede o no ser amanzanada y que ejerce jurisdicción sobre un determinado territorio municipal, urbano o rural y que depende del departamento (IPD) o del municipio (IPM). Es utilizada en la mayoría de los casos con fines electorales. Su máxima autoridad es un Inspector de Policía.

**MUNICIPIO:** actualmente los municipios son pequeñas divisiones territoriales de carácter administrativo de un estado, que pueden comprender una o varias localidades, basados en relaciones de vecindad, gobernadas por un ayuntamiento, municipalidad, concejo o alcaldía, con división de poderes, encabezados por un ejecutivo unipersonal.

**REGULADOR STAFLUX:** son dispositivos de acción directa para presiones altas, controlados por un diafragma y regulados por la acción contrastante de la contrapresión.

**REGULADOR DIXI:** es un regulador de presión controlado por piloto para presiones medias y bajas. Dixi es un regulador con "cierre de fallo", es decir, se cerrará si: el diafragma principal falla, el/los diafragma/s piloto/s falla/n, no hay alimentación al bucle piloto.

**ZANJA:** excavación larga y estrecha que se hace en la tierra con diversos fines, como echar los cimientos de un edificio, colocar tuberías, permitir que corra el agua y otros servicios públicos.

## RESUMEN

El presente trabajo de grado se realizó con el fin de diseñar la ampliación de la red de distribución de gas natural del Municipio de Anapoima, con el apoyo de la Alcaldía Municipal, a partir del uso de herramientas tecnológicas como Autocad y el Software Aspen Hysys.

A partir de la información obtenida mediante la realización de una encuesta a los habitantes del centro poblado San Antonio de Anapoima se determinó la futura demanda de gas natural, posterior a esto se procedió a realizar el diseño de la red de distribución de Gas Natural sobre el plano del sector usando el programa AutoCAD y basándose en las Norma Técnica Colombiana NTC 3728- GASODUCTOS LÍNEAS DE TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN DE GAS, la cual especifica los parámetros para el diseño, tales como tipo de tubería, diámetros de tubería, materiales, profundidades, presiones, temperaturas, entre otros y la NTC 3838- PRESIONES DE OPERACIÓN PERMISIBLES PARA EL TRANSPORTE, DISTRIBUCIÓN Y SUMINISTRO DE GASES COMBUSTIBLES.

Para la verificación de condiciones de diseño y la simulación de las variables de diseño como son la temperatura, presión, diámetros de tubería y material se recurrió al uso del simulador Aspen Hysys mediante el cual se definen las caídas de presión y temperatura que hay en la red de distribución antes de llegar a los anillos; entra a una presión de 74,7 Psia y llega a la malla a 66,7 Psia.

Para finalizar, se realizó el análisis financiero por medio de la metodología del Valor Presente Neto (VPN), con el cual se determinó que el costo del proyecto a pesos de hoy es COP 245.972.459.

**Palabras clave:** gas natural, distribución, red, software, diseño.

## INTRODUCCIÓN

En Colombia actualmente el gas natural se ha posicionado como una de las principales fuentes de energía, contribuyendo en gran parte al desarrollo energético del país. En los últimos años se ha generado un incremento de la demanda de gas natural y se proyecta que en los próximos años se produzca una masificación de su consumo no solo en el sector industrial sino en su mayoría en el sector doméstico.

El presente proyecto, se realizó para la Alcaldía del Municipio de Anapoima Cundinamarca, el cual no cuenta con una cobertura total de la red actual de distribución de gas natural, dicha red abastece el 70% de viviendas del casco urbano del Municipio; dado que los habitantes del centro poblado San Antonio de Anapoima presentan la necesidad de adquirir el servicio se decidió realizar el diseño de la ampliación de la red actual desde el casco urbano de Anapoima hasta la cobertura de San Antonio.

Para la realización del diseño se llevó a cabo un estudio de mercadeo para definir la demanda del servicio, posteriormente se hizo el diseño sobre el plano usando la herramienta tecnológica AutoCAD y se simuló usando el software Aspen Hysys para así evaluar las condiciones óptimas de la red; finalmente se realizó una evaluación financiera para determinar la viabilidad del proyecto

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar la ampliación de la red de distribución de gas natural en el centro poblado San Antonio de Anapoima Cundinamarca.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

1. Describir las generalidades del centro poblado San Antonio de Anapoima y de la red de distribución actual que posee el casco urbano del municipio.
2. Establecer la demanda de gas natural que genere el sector por medio de un estudio de mercado.
3. Realizar el diseño de la ampliación de la red de gas natural en el sector establecido.
4. Modelar el diseño de la red de distribución de gas natural usando un software comercial.
5. Determinar la viabilidad financiera del proyecto usando la Metodología del Valor Presente Neto.

## 1. GENERALIDADES DEL CENTRO POBLADO SAN ANTONIO Y DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS ACTUAL

En consideración de la caracterización general de este proyecto, en este capítulo se realiza una descripción del centro poblado San Antonio con base en información general que se tiene del Municipio de Anapoima; ya que el proyecto es netamente superficial y se enfoca en el diseño de la red que va abastecer gas natural a los habitantes de San Antonio y no se requiere de perforaciones que involucren un conocimiento geológico detallado.

Adicionalmente, se muestra y describe la red de distribución de gas natural que se encuentra en operación actualmente en el casco urbano del Municipio de Anapoima y de donde se toma un punto de partida para realizar la ampliación de la red hasta el lugar de interés.

### 1.1 GENERALIDADES DE ANAPOIMA

El Municipio de Anapoima cuenta con una extensión total de 142.2Km<sup>2</sup>, una altitud de 710m sobre el nivel del mar, una temperatura media de 28°C a 30°C y una densidad poblacional de 13.514 habitantes. Éste municipio se caracteriza por su actividad económica basada en la ganadería, la agricultura y el turismo.

Anapoima, está conformado por 28 veredas comunicadas con la cabecera municipal por medio de carreteras, éstas son: Andalucía, Apicata, Calichana, Circasia, El Cabral, El Consuelo, El Higuerón, El Rosario, El Vergel, Golconda, Guasima, La Chica, La Esmeralda, La Esperanza, Las Mercedes, Lutaima, Palmichera, Panamá, Providencia García, Providencia Mayor, San Antonio, San José, San Judas, Santa Ana, Santa Bárbara, Santa Lucía, San Rafael y Santa Rosa; además de sus dos centros poblados que son La Paz y San Antonio.

**1.1.1 Localización Geográfica.** Anapoima es un municipio de Colombia, que se encuentra ubicado al Sur-Occidente del Departamento de Cundinamarca a 87 Km de Bogotá la capital del país. Está limitado territorialmente al Norte con el Municipio de la Mesa, al Sur con los Municipios de Apulo y Viotá, al Oriente con el Municipio del Colegio y al Occidente con los Municipios de Jerusalén y Quipile.

En la **Figura 1** se pueden apreciar las dos principales vías de acceso al Municipio de Anapoima partiendo desde Bogotá por vía terrestre, denominadas Ruta A y Ruta B, descritas a continuación:

- **Ruta A:** Se toma la Calle 13 en el centro de la Ciudad de Bogotá hacia el occidente vía Mosquera recorriendo 18 Km aproximadamente hasta llegar al Municipio de Mosquera, allí se toma la Vía Mosquera-La Mesa, en la cual se recorren 54 Km pasando por Mondoñedo, Tena y La Gran vía, se llega a La Mesa y finalmente desde este punto se recorren 15 Km más siguiendo la variante

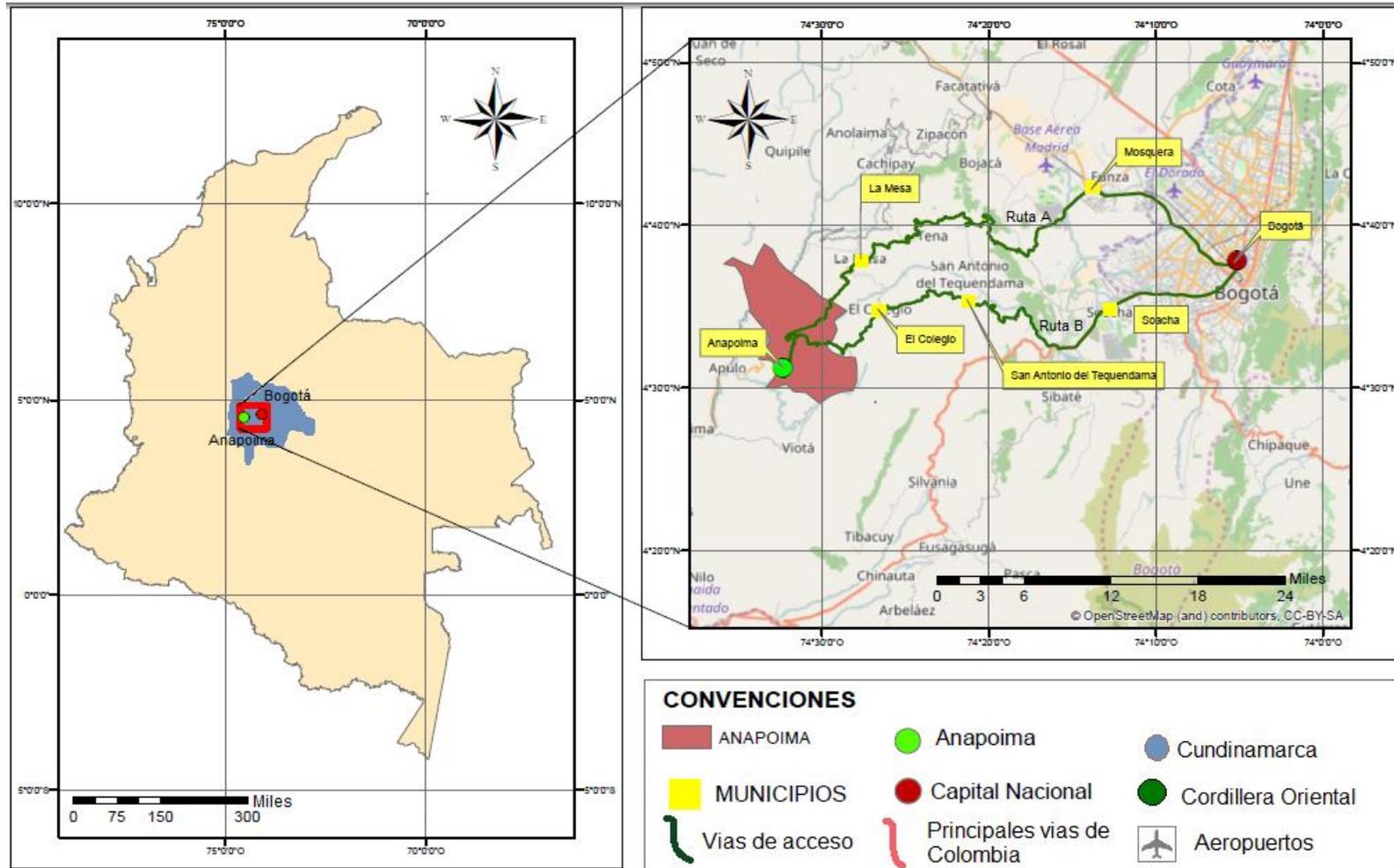
y se llega al Municipio de Anapoima; son 87 Km los que se tienen que recorrer, con una duración de aproximadamente dos horas y treinta minutos.

- **Ruta B:** La salida de Bogotá se hace por la Autopista sur, tomando la vía Soacha-Mesitas del Colegio, recorriendo 25 Km, desde este punto se toma la vía Mesitas-El triunfo recorriendo 5 Km y se toma la vía El Triunfo-Anapoima recorriendo 10 Km.

**1.1.2 Descripción del Centro Poblado San Antonio de Anapoima.** San Antonio hace parte de las 28 veredas que tiene el Municipio de Anapoima, es llamado centro poblado dado que cuenta con los servicios públicos básicos (electricidad y agua) y además cuenta con una estación de policía. Este poblado en tiempos anteriores alojó la Estación de los Ferrocarriles Nacionales, ubicada sobre la línea Bogotá - Facatativá - Girardot. El centro poblado de San Antonio se encuentra ubicado a cinco kilómetros hacia el noroeste del Municipio de Anapoima, con coordenadas 4°34'56"N 74°32'56"O, una extensión total de 155.472,49 m<sup>2</sup> y una altura sobre el nivel del mar de 850m. San Antonio tiene una densidad poblacional de 960 habitantes aproximadamente. Se encuentra comunicado con el municipio de Apulo hacia el suroeste y hacia el noroccidente con la vereda San Joaquín de La Mesa Cundinamarca.

- **Servicios públicos.** San Antonio es un centro poblado que por su pequeño tamaño en territorio y en población, ha sido olvidado económicamente por el estado, a continuación en la **Tabla 1** se describe la situación actual de los servicios públicos de San Antonio y el requerimiento de Gas Natural.

**Figura 1. Localización geográfica del Municipio de Anapoima**



Fuente: SOFTWARE. ArcGIS

**Tabla 1. Cobertura de los servicios públicos en San Antonio de Anapoima**

| SERVICIO                       | COBERTURA                 | EMPRESA PRESTADORA             |
|--------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Acueducto                      | 60%                       | Aguas del Tequendama S.A.E.S.P |
| Energía eléctrica              | 90%                       | CODENSA                        |
| Gas (gas licuado del petróleo) | 99%                       | Gaz Unigas                     |
| Gas Natural                    | 0%                        |                                |
| Salud                          | Un Centro de salud        |                                |
| Educación                      | Una Institución educativa | Estado                         |
| Recreación y deporte           | Un estadio de fútbol      | Alcaldía Municipal de Anapoima |

## **1.2 DESCRIPCIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL ACTUAL DEL MUNICIPIO DE ANAPOIMA**

Tomando en cuenta que el proyecto tiene como fin realizar una ampliación de la red de gas natural que existe actualmente en el casco urbano del Municipio de Anapoima hacia el centro poblado San Antonio, es importante conocer los detalles y la descripción de dicha red que se encuentra en operación, tales como tipo de tubería instalada, diámetros de la tubería, proceso de descompresión del gas; ya que de esta red se toma un punto de partida para realizar la ampliación hasta el lugar de interés.

El Municipio de Anapoima desde el año 2015 cuenta con una red de distribución de gas natural la cual tiene una cobertura del 70% en el casco urbano; en el sector rural no se presta el servicio dado que hasta el día de hoy no se cuenta con redes construidas para la distribución del Gas Natural.

En el **Anexo A** se muestra el plano del gasoducto urbano de Gas Natural Colombia de Anapoima Cundinamarca, aquí se puede evidenciar el estado actual de la red.

Las líneas troncales se colocaron y ensamblaron en tubería de polietileno de media densidad. Esta tubería es la encargada de llevar el caudal suficiente para cada circuito de viviendas, las cuales inician desde el punto donde está localizado el sistema de regulación (se encuentra ubicado en la vía que conecta el Municipio de Apulo con el Municipio de Anapoima) y van recorriendo las diferentes zonas de la población hasta abarcar todo el sector del casco urbano. La red de distribución trabaja a una presión de 60 Psig y las líneas troncales para el Municipio de Anapoima están conformadas por un total de 2371,2 metros de tubería de polietileno de 1", 2", 3", 4" y tubería de 6", con sus respectivos accesorios de Polietileno.

Los anillos y acometidas son derivaciones de las tuberías troncales de menor diámetro que anillan perimetralmente las manzanas o cuadras de la red. El sistema de tuberías para los anillos está conformado por 14409,6 metros de tubería de polietileno de  $\frac{3}{4}$ " con sus respectivos accesorios de este mismo material. De estos anillos y frente a cada vivienda se tiene una derivación hacia la acometida para las diferentes instalaciones domésticas.

A lo largo de la red se presentan múltiples reducciones de diámetro para cumplir con los requerimientos de presión en cada punto, estas reducciones se dan cuando se pasa de la línea troncal a las mallas. Se instalaron doce válvulas de anillo las cuales controlan la presión en los anillos de distribución de la red y diez válvulas de troncal que controlan la presión de las líneas trocales que se tienen en toda la red.

En el plano se encuentra una demarcación de líneas intermitentes, ésta es la sección de la red que se encuentra diseñada mas no construida, a diferencia de las líneas continuas que indican las tuberías y válvulas que ya se encuentran construidas en el Municipio y que prestan el servicio de gas natural.

**1.2.1 Generalidades de la estación reguladora virtual.** La estación reguladora de presión tiene un papel de gran importancia ya que reduce la presión del Gas Natural que llega a la estación y lo lleva a la presión requerida (60 Psi) para transportar de manera segura el gas natural domiciliario por medio de la red de distribución hacia las viviendas de un municipio.

Esta planta está ubicada en la vía que conecta el Municipio de Apulo con el Municipio de Anapoima, aunque se encuentra ubicada hacia las afueras del Municipio la planta limita con el Conjunto Residencial Villa Estampa, por lo que las condiciones de seguridad de la planta deben ser de la mejor calidad.

La planta cuenta con tres módulos llamados Cascadas que operan a una presión máxima de 250 bares (3626 Psi), cada módulo tiene 48 cilindros (**ver Figura 2**) donde es almacenado el gas natural que llega al Municipio de Anapoima virtualmente por medio de tractomulas, cada módulo tiene tres válvulas frontales que intervienen 16 cilindros y adicionalmente cada cilindro tiene su válvula individual para intervenir cada cilindro específico en caso de que algún cilindro sufra una avería o tenga una fuga, esto con el fin de garantizar la seguridad de la planta y de sus alrededores.

**Figura 2. Módulo de Gas Natural Comprimido**



- **Llenado de los módulos de almacenaje.** El gas natural domiciliario que se distribuye en Anapoima llega al Municipio de manera virtual por medio de tractomulas, los tráileres de estas tractomulas están cargadas con cinco módulos iguales a los que están en la planta reguladora, con una presión máxima de operación de 250 bares (3626 PSI). Estos módulos son cargados en el Municipio de Mosquera por medio de una GNV (Gas Natural Vehicular) que es donde se comprime el Gas Natural y se realiza el llenado de los módulos; este llenado se realiza por medio de regulación de presión es decir que los módulos no se llenan a cierta capacidad de volumen sino a una determinada presión, se sabe que la capacidad máxima de presión de los módulos es de 250 bares por lo tanto el llenado que se realiza en Mosquera es de hasta 200 bares (2900 PSI) para cada módulo, después de este llenado las tractomulas transportan los módulos cargados de gas natural hasta los municipios para realizar la respectiva descarga y llenado a los módulos que se encuentran en la planta descompresora y que abastecen de gas natural domiciliario a las viviendas del municipio.

El tráiler llega al Municipio de Anapoima cada dos días para realizar el llenado de los módulos que se encuentran en la planta reguladora para su posterior descompresión y distribución; el horario establecido para realizar el llenado de los módulos es desde las dos de la madrugada hasta las seis de la mañana por seguridad hacia los habitantes que residen en el conjunto con el cual limita la planta reguladora; durante el proceso de llenado de gas se tienen que realizar algunos desfogues de gas natural hacia la atmosfera por medio de las conexiones. En caso de que alguna chispa provocara un incendio los tres

módulos están rodeados por un muro corta fuegos como se puede ver en la **Figura 2**, que evita que alguna llama pueda afectar las viviendas cercanas.

Actualmente en la planta se encuentran tres módulos (cascadas), dos que se encuentran en funcionamiento y conectadas a la red de distribución y el tercero que es una reserva en caso de alguna eventualidad inesperada como que el tráiler no llegue a tiempo, que exista algún tipo de daño en alguno de los otros dos módulos o que la demanda de gas aumente debido a sector turístico y hotelero de Anapoima; en el momento en que empieza a operar la red de distribución en San Antonio se debe tener un cuarto módulo, quedarían tres módulos en funcionamiento para que la presión de 60 psi se mantenga en la red de distribución hasta San Antonio y el cuarto de reserva ante alguna eventualidad ya mencionada.

- **Proceso de descompresión del Gas Natural.** El gas natural que llega de manera virtual a los módulos que se encuentran en la planta reguladora de presión, llega a una presión muy elevada de casi 200 bares (2900 PSI) y para enviarlo a las viviendas por medio de la red de distribución el gas debe estar a una presión de operación máxima permisible de 7 bares (101,5Psi) según norma técnica Colombia NTC 3838; por lo tanto se requiere disminuir la presión de gas hasta condiciones inferiores para que pueda ser enviada por la red de distribución.

La planta reguladora recibe el gas a alta presión por lo tanto su tubería debe resistir estas presiones así que la tubería en el proceso de descompresión es de acero al carbón de alta presión y el proceso de descompresión del gas natural en el Municipio de Anapoima se muestra a continuación en la **Figura 3**.

**Figura 3. Proceso de descompresión del Gas Natural en la planta descompresora de Anapoima**

**PROCESO DE DESCOMPRESIÓN DEL GAS NATURAL EN ANAPOIMA**

| <i><b>Primera etapa</b></i>  | <i><b>Segunda etapa</b></i>  | <i><b>Tercera etapa</b></i>  |
|--|--|--|
|                                   |                              |    |
| <p>Regulador Staflux.<br/>Regulación de alta presión a media presión.<br/>Reduce desde 3000 Psi hasta 700 Psi.</p> | <p>Regulador Dixi.<br/>Regulación de media presión a baja presión.<br/>Reduce desde 700 Psi hasta 290 Psi.</p> | <p>Regulación de baja presión a presión de operación.<br/>Reduce la presión del gas hasta 60 Psi, para luego ser enviada por la red de distribución.</p> |

- **Sistema de calentamiento en la planta descompresora.** La condensación del gas natural en un proceso de descompresión del mismo, es un cambio físico que sufre el gas natural al cambiar de estado gaseoso a estado líquido debido a un severo cambio en la presión, este podría llegar a ser un gran problema en el proceso de descompresión si no se toman las medidas necesarias para evitar problemas en la tubería ya que esta condensación puede generar que la tubería se congele y no permita el paso del fluido, sacando de operación un tramo de tubería por un tiempo.

En la planta descompresora que opera en el Municipio de Anapoima se tiene un sistema de calentamiento que mantiene caliente la tubería por medio de la transferencia de calor que genera el contacto de agua caliente con la parte externa de la tubería que transporta el gas en el proceso de descompresión, evitando que la tubería se congele.

El sistema de calentamiento funciona eléctricamente, es decir que es importante que siempre haya electricidad en la estación para garantizar esto la planta cuenta con una planta eléctrica que se activa cuando hay una falla eléctrica en el Municipio, cuando la temperatura de los tubos es inferior a 60°F, una caldera se activa para calentar el agua y posteriormente una bomba es la encargada de distribuir el fluido caliente por las tuberías para mantener los tubos calientes y evitar un congelamiento interno de la tubería por acción de la condensación del gas.

**1.2.2 Descripción del Gas Natural.** El gas natural desde sus inicios ha sido considerado como una fuente energética de gran importancia para el desarrollo económico a nivel mundial. Es un combustible de origen fósil que gracias a sus características fisicoquímicas representa un gran aporte al servicio de la humanidad.

El gas natural es una mezcla de hidrocarburos livianos que se presentan en estado gaseoso, en su mayor parte está formado por metano y etano, y en menores proporciones por propano, butanos, pentanos e hidrocarburos más pesados. Si presenta un contenido alto de hidrocarburos de orden superior al metano se le considera gas rico, si por el contrario su contenido es bajo se denomina gas seco.

- **Composición.** El gas natural está compuesto por los siguientes gases: Metano en concentración del 90%-95%, Etano en concentración del 2%-6%, Dióxido de Carbono en concentración del 0%-2%, Propano en concentración del 0%-2%, y Nitrógeno en concentración del 0%-1%; cabe recalcar que la composición del

gas difiere en sus concentraciones según los campos en los que se producen, según el yacimiento.

- **Ventajas del GNC.** El gas natural es uno de las fuentes de energía más usadas a nivel mundial por sus múltiples ventajas para el uso doméstico, a continuación se describen alguna de ellas.
  - ✓ No requiere mayor infraestructura para su uso, como tanques de almacenamiento, bombas, intercambiadores de calor, etc.
  - ✓ No requiere procesamiento previo o posterior a su uso en el punto de consumo, a diferencia de otros energéticos.
  - ✓ Es seguro en caso de fugas, debido a que se disipa fácilmente por el aire disminuyendo el riesgo de explosión generado por altas concentraciones.
  - ✓ Es más amigable con el medio ambiente.
  - ✓ La frecuencia de mantenimiento de los equipos que operan con gas natural es menor si se compara con la requerida por equipos que utilizan otros energéticos.
  - ✓ Cuenta con un precio competitivo.
  - ✓ La regulación automática es sencilla y precisa, manteniendo constante las condiciones de presión y temperatura.
- **Especificaciones de calidad del Gas Natural para su transporte.** Después de ser extraído el gas natural de un yacimiento se debe hacer un tratamiento para retirar las impurezas que el gas tenga en su cromatografía por composición o por absorción, existen dos procesos que son primordiales para que el gas cumpla con las especificaciones de calidad para ser transportado; el primero es un proceso de deshidratación donde se retira el agua que el gas tenga y el segundo proceso es el endulzamiento del gas en donde se retiran los ácidos que el gas contenga tales como  $H_2S$  y  $CO_2$ . Mediante la Resolución CREG 071 de 1999 se adoptó el Reglamento Único de Transporte de Gas Natural –RUT se establecen las especificaciones de calidad del gas natural entregado al Transportador por parte del Remitente en el Punto de Entrada al Sistema de Transporte así: poder calorífico entre  $950 \text{ BTU}/ft^3$  y  $1150 \text{ BTU}/ft^3$ ; contenido máximo de  $H_2S$  0.25 grano/100PCN; contenido máximo de Azufre de 1.0 gramos/100PCN; contenido máximo de

$CO_2$  2% en volumen; contenido máximo de  $N_2$  3% en volumen y contenido de agua máximo de 6.0 Lb/MPCN<sup>1</sup>. Estas son las especificaciones de calidad que debe tener el gas para poder ser transportado hacia los consumidores finales.

---

<sup>1</sup> Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). ESPECIFICACIONES DE CALIDAD DEL GAS NATURAL EN EL PUNTO DE ENTRADA DEL SISTEMA DE TRANSPORTE, DOCUMENTO CREG-017. Bogotá, 2007.

## 2. ESTUDIO DE MERCADO

Este capítulo tiene como fin dar a conocer gráficamente y descriptivamente los resultados obtenidos en las encuestas realizadas a los habitantes del centro poblado San Antonio del Municipio de Anapoima, donde se determinó la necesidad y el interés por parte de los habitantes en adquirir el servicio de Gas Natural domiciliario con base en las ventajas de este combustible y principalmente en los ingresos monetarios que reciben mensualmente.

Actualmente el Gas Natural se ha venido convirtiendo en una de las principales fuentes de energía en Colombia, usado potencialmente en el sector residencial como Gas Natural domiciliario debido a la masificación que hay en su consumo. Es necesario saber con certeza la demanda que generan los futuros consumidores del sector en este caso, los habitantes del centro poblado San Antonio de Anapoima.

### 2.1 RESULTADOS DE LAS ECUESTAS REALIZADAS

Se realizó una visita a dicho centro poblado con el fin de conocer físicamente el terreno, teniendo una percepción más amplia de cómo sería el diseño de la red de distribución de gas natural; principalmente se realizaron encuestas a los habitantes para así determinar la demanda de consumo que se genera, por medio de estas encuestas se obtuvo información adicional sobre la calidad de vida y las necesidades de los habitantes; del mismo modo se observó el interés que se tiene en adquirir el servicio de gas natural domiciliario.

A continuación en la **Tabla 2** se observa la ficha técnica de la encuesta realizada con sus principales características.

**Tabla 2. Ficha técnica encuesta habitantes de San Antonio de Anapoima**

| <b>FICHA TÉCNICA DE LA ENCUESTA</b>     | <b>Columna1</b>  |
|---|--|
| <b>Diseño y realización</b>             | La encuesta ha sido realizada y desarrollada por las estudiantes Melissa Cabrera Beltrán y Angie Viviana Martínez Hernández. |
| <b>Nombre o referencia del proyecto</b> | DISEÑO DE LA AMPLIACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL EN EL CENTRO POBLADO SAN ANTONIO DE ANAPOIMA.               |
| <b>Universo</b>                         | Los habitantes del centro poblado San Antonio de Anapoima.   |
| <b>Tamaño de la muestra</b>             | Se encuestaron 190 viviendas.  |
| <b>Grupo objetivo</b>                   | Propietario de la vivienda o persona a cargo del consumo de gas combustible en la cocina.                                    |
| <b>Método de muestreo</b>               | Estratificado por viviendas de San Antonio.  |
| <b>Tipo de encuesta</b>                 | Entrevista personal domiciliaria.  |
| <b>Periodo de recolección</b>           | 18 de Enero de 2017  |

Se realizaron las preguntas de la encuesta con el fin de adquirir la mayor información posible sobre la población y su estilo de vida, la encuesta final está conformada por ocho preguntas concretas de la siguiente manera:

1. ¿Cuántas personas habitan en la casa?
2. ¿Cuál es el estrato de la vivienda?
3. ¿Qué tipo de combustible usan para uso doméstico?
  - a) GLP (Gas Licuado del Petróleo)
  - b) Leña
  - c) Otro. ¿Cual?
4. ¿Conoce algún caso de complicaciones en la salud debido al uso de leña?
  - a) Si
  - b) No
5. ¿Conoce usted las ventajas del Gas Natural?
  - a) Si
  - b) No
6. ¿Según su opinión y su presupuesto cual combustible considera sea mejor para el uso doméstico?
  - a) GLP (Gas Licuado del Petróleo)
  - b) Leña
  - c) Otro. ¿Cual?
7. ¿Mensualmente cuanto invierte usted en la compra del combustible que usa?
8. ¿Estaría interesado en adquirir el servicio de Gas Natural?
  - a) Si
  - b) No

Para este estudio se realizó una encuesta por vivienda y no por habitante teniendo en cuenta que en cada vivienda hay una estufa que consumirá el servicio de Gas Natural domiciliario que se implementará, es decir que los resultados de esta encuesta estarán en función del consumo de GLP y leña actual de los habitantes por vivienda (por estufa); se tuvo en cuenta que en el centro poblado San Antonio hay aproximadamente 380 viviendas que resultarían beneficiadas con la implementación de una red de distribución de Gas Natural, se tomó una muestra del 50% es decir 190 viviendas las cuales respondieron a las preguntas ya mencionadas; las viviendas se escogieron aleatoriamente y entre ellas se encuentran: casas de interés social, locales comerciales, casas de verano y finalmente viviendas de los residentes permanentes.

En la **Tabla 3** se pueden observar los resultados generales que arrojaron las encuestas realizadas:

**Tabla 3. Resultados generales de la encuesta realizada**

| <b>PREGUNTA</b>   | <b>FRECUENCIA PORCENTAJE</b> |     |     |
|---|------------------------------|-----|-----|
| <b>¿Cuántas personas habitan en la casa?</b>  | 1-4 habitantes               | 116 | 61% |
|   | 5-7 habitantes               | 60  | 32% |
|   | 8-10 habitantes              | 6   | 3%  |
|   | 10-15 habitantes             | 8   | 4%  |
| <b>¿Cuál es el estrato de la vivienda?</b>  | 1                            | 30  | 16% |
|   | 2                            | 132 | 69% |
|   | 3                            | 28  | 15% |
| <b>¿Qué tipo de combustible usan para uso doméstico?</b>  | GLP                          | 184 | 97% |
|   | Leña                         | 2   | 1%  |
|   | GLP+ Leña                    | 4   | 2%  |
| <b>¿Conoce algún caso de complicaciones en la salud debido al uso de leña?</b>                        | SI                           | 92  | 48% |
|   | NO                           | 98  | 52% |
| <b>¿Conoce usted las ventajas del Gas Natural?</b>  | SI                           | 110 | 58% |
|   | NO                           | 80  | 42% |
| <b>¿Según su opinión y su presupuesto cual combustible considera sea mejor para el uso doméstico?</b> | GLP                          | 10  | 5%  |
|   | Gas Natural                  | 180 | 95% |
| <b>¿Mensualmente cuanto invierte usted en la compra del combustible que usa?</b>                      | \$ 0 - 25.000                | 34  | 18% |
|   | \$ 26.000 -55.000            | 110 | 58% |
|   | \$ 55.000 - 80.000           | 22  | 12% |
|   | \$ 80.000-100.000            | 18  | 9%  |
|   | Más \$100000                 | 6   | 3%  |
| <b>¿Estaría interesado en adquirir el servicio de Gas Natural?</b>                                    | SI                           | 184 | 97% |
|   | NO                           | 6   | 3%  |

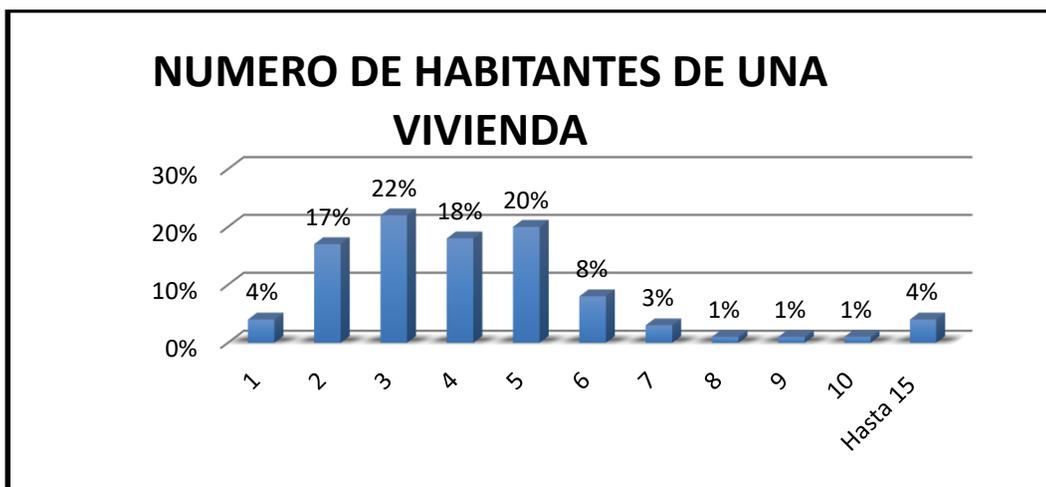
A continuación se describe con más detalle los datos obtenidos pregunta a pregunta de las encuestas realizadas.

**Tabla 4. Personas que habitan en una vivienda en San Antonio de Anapoima**

| # Personas | Frecuencia | %    |
|------------|------------|------|
| 1          | 8          | 4%   |
| 2          | 32         | 17%  |
| 3          | 42         | 22%  |
| 4          | 34         | 18%  |
| 5          | 38         | 20%  |
| 6          | 16         | 8%   |
| 7          | 6          | 3%   |
| 8          | 2          | 1%   |
| 9          | 2          | 1%   |
| 10         | 2          | 1%   |
| Hasta 15   | 8          | 4%   |
| TOTAL      | 190        | 100% |

Se encontraron con mayor frecuencia viviendas en las que habitan entre dos y cinco personas por vivienda con porcentajes entre 17% y 22% como se puede observar en la **Tabla 4**, durante el desarrollo de las encuestas se pudo observar que la mayoría de viviendas no excedían los  $40m^2$  y aun así en los resultados se evidencia viviendas habitadas hasta con 15 personas que por lo general estas viviendas consta de dos habitaciones, un baño, sala, comedor, cocina y patio de ropas, sin embargo también se encontraron viviendas de estas mismas dimensiones en las cuales solo habitaban dos o tres personas que en lo razonable es más cómodo.

**Gráfica 1. Número de personas que habitan en una vivienda**



También se evidenciaron viviendas mucho más grandes en área, habitadas por familias pequeñas de máximo cinco personas, por lo general entre estas viviendas se encuentran: casas de verano, casas con local comercial y viviendas con un estrato más alto.

San Antonio es un centro poblado pequeño con un área aproximada de  $155.472,49m^2$  donde el comercio es limitado al igual que el trabajo, las viviendas en su mayoría se encuentran en estrato dos, seguidas por el estrato uno y finalmente el tres en un porcentaje menor; la probabilidad de encontrar una vivienda con un estrato mayor es casi nula ya que las condiciones de vida de los habitantes no son las mejores; el agua de las tuberías no es potable así que la alcaldía transporta tanques de 6000 litros hacia San Antonio para cubrir las necesidades alimentarias de los habitantes, como ya se sabe no cuentan con una red de distribución para el Gas Natural domiciliario por lo cual compran cilindros de Gas Propano, de esta manera se puede decir que es un territorio de limitados recursos económicos.

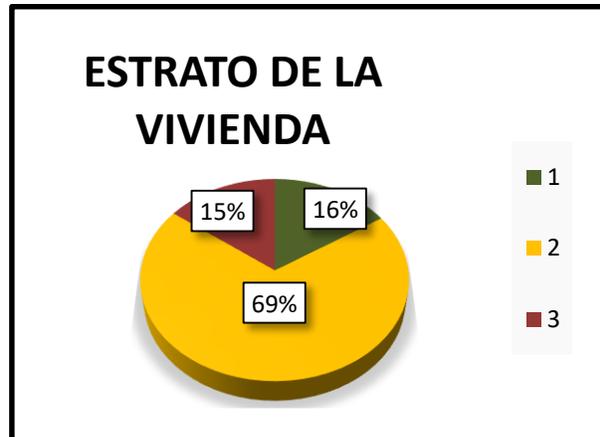
**Figura 4. Tanque de 6000 L y cilindro de gas propano (GLP)**



En la **Figura 5**, se puede evidenciar que las viviendas se encuentran en el estrato dos tienen un porcentaje significativo que supera la mitad de la muestra 69% (132 viviendas), en este conjunto de viviendas se encuentran casas de interés social y algunas viviendas con comodidades limitadas; el estrato uno ocupa un 16% (30 viviendas) del total de la muestra casi igual al estrato tres, en el estrato uno se encontraron viviendas prefabricadas, viviendas fabricadas con madera en donde aún sus habitantes cocinan con leña que es obtenida fácilmente de los árboles del

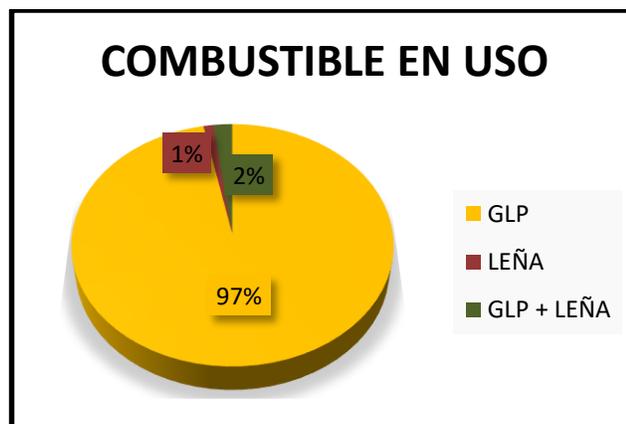
monte y también se encuentran casas de interés social pero en menor proporción, por último se encuentra el estrato tres con 15% (28 viviendas) del total de la muestra, en este porcentaje se encuentran casas de verano, casas con más de un nivel construido que claramente son viviendas habitadas por personas con mejores condiciones de vida y mayores recursos económicos.

**Figura 5. Estrato de la vivienda**



Los habitantes del centro poblado San Antonio de Anapoima actualmente utilizan dos tipos de combustible para la preparación de alimentos en las viviendas: leña y GLP (Gas Propano), el GLP se posiciona como el más usado en las viviendas de San Antonio con el 97% (184 viviendas) de la población, el 3% (seis viviendas) restante utiliza leña o leña + GLP como complemento, esto se puede evidenciar en la **Figura 6**.

**Figura 6. Combustible actual en uso**



Durante la visita se observó la urgencia de los habitantes por adquirir el servicio de Gas Natural ya que el 92% (29 viviendas) expreso la necesidad de obtener dicho combustible sin embargo a la pregunta de preferencia de combustible el restante 8% (15 viviendas) (ver **Figura 7.**) de los habitantes respondieron que preferían seguir usando el GLP, aunque no es un porcentaje muy alto esto puede ser producto de la falta de cultura sobre las ventajas del Gas Natural ya que como se puede observar en la **Figura 8** el 42% (80 viviendas) de la población no posee estos conocimientos y el 58% restante (110 viviendas) tiene algunos conocimientos sobre el Gas Natural pero limitados, es por ello que no se arriesgan a usar otra fuente de combustible diferente.

Como se puede observar en la **Figura 7**, la preferencia hacia la leña es nula debido al desarrollo de enfermedades por la quema de leña como uso doméstico, que degradan la calidad de vida de los habitantes; el 52% (99 viviendas) de los encuestados conoce o ha vivido algún caso de desarrollo de enfermedades debido a uso de leña para cocción de alimentos (ver **Figura 9**), el 48% (91 viviendas) restante no ha conocido algún caso de este tipo de enfermedades.

**Figura 7. Preferencia de los habitantes hacia un combustible domestico**



Evidentemente la leña no es una opción para ser usada como combustible por parte de los habitantes, durante las encuestas se conocieron casos de enfermedades como: pulmonares, degradación visual y problemas cardiacos.

Figura 8. Conocimiento de los habitantes sobre el Gas Natural

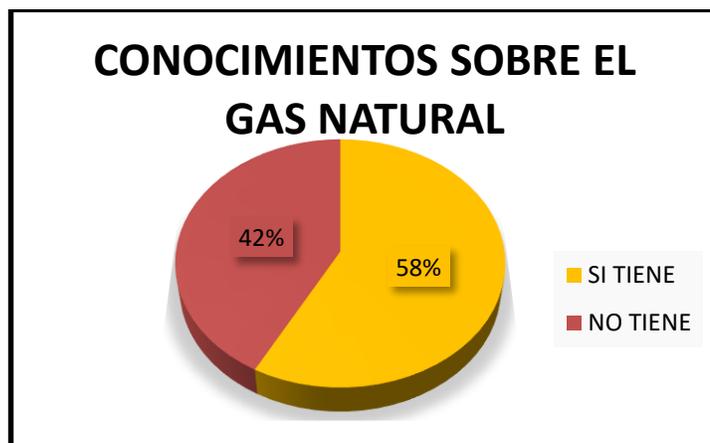
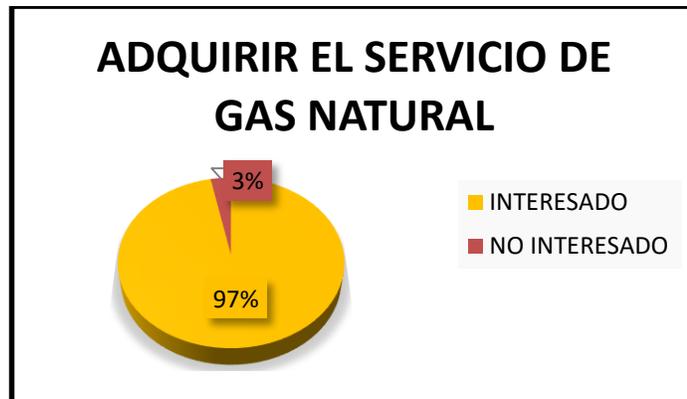


Figura 9. Complicaciones en la salud de los habitantes por el uso de leña



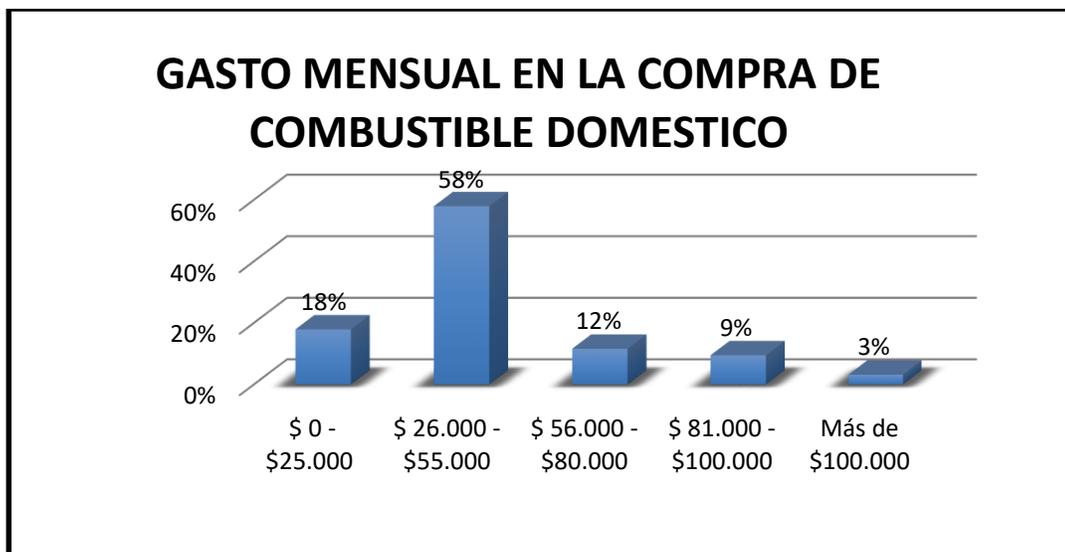
De los resultados se obtuvo que el 97% (184 viviendas) de los encuestados están muy interesados en adquirir el servicio de Gas Natural domiciliario (ver **Figura 10**) ya que aunque no tienen conocimientos completos acerca de este combustible los habitantes saben que es mucho más económico, es más seguro para las familias y que pueden tener servicio las 24 horas del día debido a que es transportado por una red de distribución; el 3% (seis viviendas) restante que no se encuentra interesado en adquirir el servicio de Gas Natural domiciliario se debe a casas de verano que por lo general son visitadas tres o cuatro veces al mes y es por esta razón que para estos habitantes es mucho más económico seguir usando GLP que fácilmente les puede durar desde seis meses hasta un año.

**Figura 10. Interés de los habitantes en adquirir el servicio de Gas Natural domiciliario**



Entrando en materia financiera el gasto mensual que tienen los habitantes del centro poblado San Antonio en la compra de combustible doméstico como el GLP y la leña se encuentra en mayor porcentaje entre \$26.000 y \$55.000 que corresponden a comprar un cilindro de 40 libras mensual o a transportar la leña que se obtiene de los árboles del monte que tiene un costo de \$50.000 y aproximadamente dura un poco más de un mes, en el siguiente gráfico se puede evidenciar cuanto gastan los habitantes de San Antonio al mes para cubrir las necesidades que se tienen por no contar por una red de distribución de Gas Natural.

**Gráfica 2. Gasto mensual de los habitantes en la compra de combustible doméstico**



Finalmente se puede concluir que aunque el centro poblado San Antonio del Municipio de Anapoima es un territorio de limitados recursos económicos ya que la mayoría de sus habitantes habitan en viviendas entre estrato uno y tres, durante la visita se observó la necesidad de las personas por adquirir el servicio de Gas Natural domiciliario debido a que el gasto que requiere la compra de cilindros de GLP es mayor en algunas viviendas que pagan desde \$40.000 hasta \$80.000 al mes solo para uso doméstico, esto sin contar que se preste algún servicio comercial que requiera el uso de combustible para cocción de alimentos como restaurantes o panaderías; el 92% de las viviendas (175 viviendas) prefieren el Gas Natural para el uso doméstico debido a que según los conocimientos de los habitantes sobre este combustible, el Gas Natural es más seguro para las familias, más económico y se puede tener el servicio las 24 horas del día; el 8% (15 viviendas) restante de las viviendas prefiere el GLP como uso doméstico, este resultado se observó que es debido a que se tiene poco conocimiento sobre los beneficios del Gas Natural domiciliario y que los habitantes llevan mucho tiempo usando los cilindros de GLP, es por ello que no les interesa o les da miedo usar otra fuente de combustible doméstico; por otro lado la preferencia hacia el uso de leña como combustible domestico es nulo, esto debido a que el 42% de las viviendas (80 viviendas) han vivido de cerca una enfermedad causada por el uso de leña para la cocción de alimentos, el 58% (110 viviendas) de las viviendas restante no ha vivido de cerca una situación similar pero saben y tienen claro que la leña no es una opción viable para usar en sus cocinas.

### 3. DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL PARA EL CENTRO POBLADO SAN ANTONIO DE ANAPOIMA

En este capítulo se desarrolla el diseño de la red de distribución que va a abastecer de Gas Natural al centro poblado San Antonio definiendo conceptos necesarios para el diseño, como líneas matrices, líneas primarias, secundarias, anillos de distribución, tipo de tuberías y diámetros, reguladores, presiones de operación, todo esto en base a las normas NTC (Norma Técnica Colombiana) que requieren el diseño de una red de distribución de Gas Natural. También se describe el procedimiento realizado para el trazado de la red de tuberías y la ubicación de las válvulas que harán del diseño una red segura para los habitantes.

#### 3.1 CONCEPTOS CLAVES PARA EL DISEÑO

A continuación se definen los diferentes conceptos que se requieren para el diseño de una red de distribución de gas natural referidos por las normas NTC 2505 (Instalaciones para suministro de gas combustible destinadas a usos residenciales y comerciales), NTC 3838 (Gasoductos. Presiones de operación permisibles para el transporte, distribución y suministro de gases combustibles) y NTC 3728 (Gasoductos. Líneas de transporte y redes de distribución de gas).

**3.1.1 Estación City Gate.** Es la estación de entrega del gas y el punto desde el cual se deriva la red de distribución de gas domiciliario en los municipios.

**3.1.2 Redes de distribución.** Sistema de tuberías y accesorios destinados al abastecimiento de gas, comprendidos entre la salida de la estación receptora (City Gate), estación receptora local o tanque de almacenamiento, hasta la válvula de corte (registro) ubicada en la acometida individual. La red de distribución requiere una disminución de la presión del gas natural hasta 60 psi para poderlo distribuir por esta red.

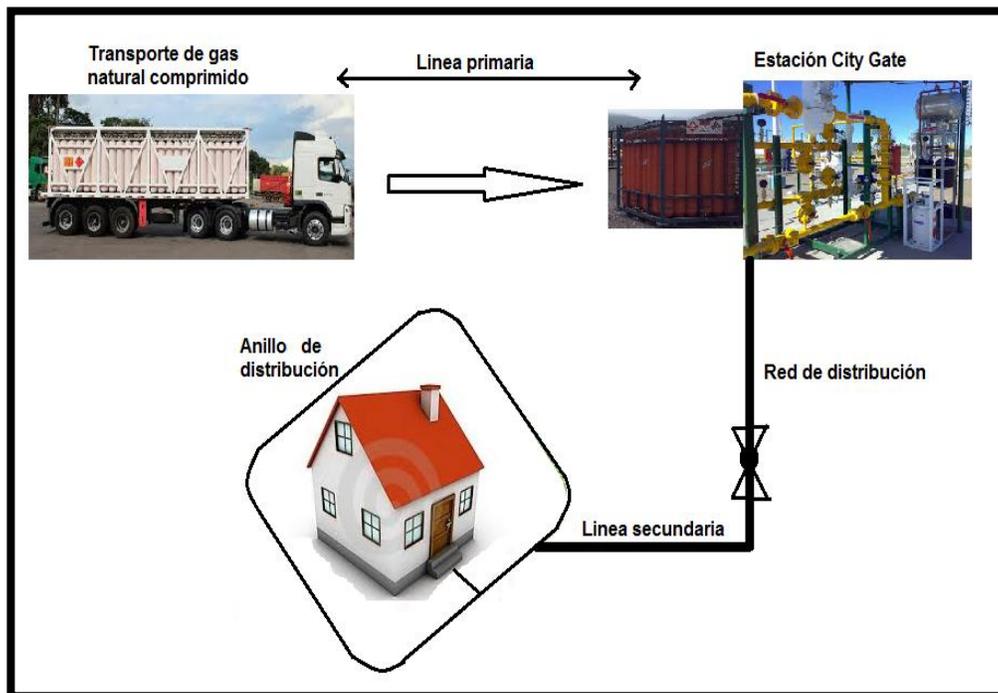
**3.1.3 Líneas primarias.** Sistema de tuberías destinadas a la distribución de gas hacia sectores puntuales de consumo. Están comprendidos entre la salida de la estación receptora y la entrada a las estaciones reguladoras dispuestas en la red de distribución. Por lo general de tuberías metálicas operadas a alta presión.

**3.1.4 Líneas secundarias.** Sistemas de tuberías que se derivan de las líneas primarias desde la salida de las estaciones reguladoras de distrito y se extienden hacia la línea de acometida de todos los usuarios en un sector determinado de la red de distribución. Por lo general se componen de tuberías de materiales plásticos especiales, operadas a media presión.

Para el caso de redes de distribución abastecidas con tanques de almacenamiento las líneas secundarias se derivan de los reguladores de presión de primera etapa, asociados a los respectivos tanques de almacenamiento hasta la línea de acometida de todos los usuarios en un sector determinado de la red de distribución.

En la **Figura 11** se puede visualizar a que corresponde las definiciones desde 3.1.1 hasta 3.1.4.

**Figura 11. Ciclo general de la distribución de Gas Natural domiciliario**



**3.1.5 Troncal.** Compuesta por el sistema de tuberías y accesorios de polietileno de media densidad comprendida entre la estación de almacenamiento, regulación y poliválvulas, que permiten la conexión de las mismas con cada una de las mallas. Los diámetros comúnmente usados en los municipios, varían sus diámetros de uno a cuatro pulgadas.

**3.1.6 Anillos.** Es el conjunto de tuberías y accesorios de polietileno de media densidad operados a media presión que se derivan de las troncales formando circuitos cerrados o mallas, el número de manzanas enmalladas puede variar de seis a nueve de acuerdo al nivel de consumo de las manzanas. De estos anillos se hace la entrega de gas a los usuarios por medio de la acometida correspondiente.

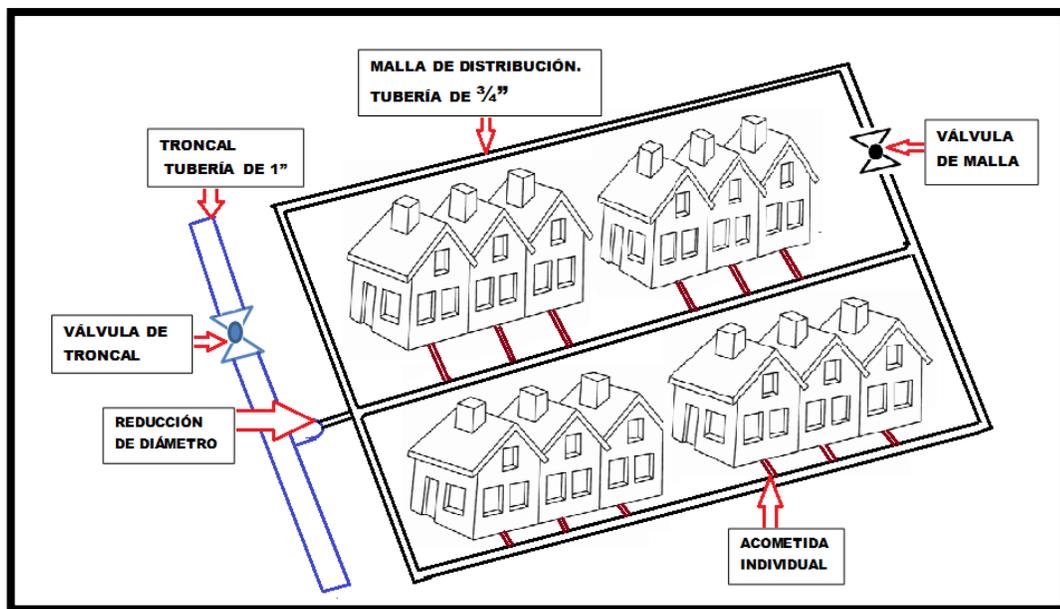
**3.1.7 Acometidas domiciliarias.** Derivación en la tubería de polietileno operada a media presión que entrega el gas natural desde los anillos de distribución hasta el centro de medición individual en cada vivienda.

**3.1.8 Instalación interna.** Conjunto de tubería encargada de llevar el gas desde la acometida y el centro de medición hasta el gasodoméstico.

**3.1.9 Línea individual.** Sistema de tuberías internas o externas a la edificación que permiten la conducción de gas hacia los distintos artefactos de consumo de un mismo usuario. Está comprendida entre la salida de los centros de medición y los puntos de salida para la conexión de los artefactos de consumo.

En la **Figura 12** se puede observar la el diseño general de una red de distribución para una población.

**Figura 12. Troncal, anillos y acometidas individuales**



**3.1.10 Centro de medición.** Conjunto de quipos que permite efectuar la medición, el control y la regulación de la presión del gas suministrado a uno o varios usuarios.

**3.1.11 Regulación de la presión.** Proceso que permite reducir y controlar la presión especificada para el suministro. La regulación puede efectuarse en una o varias etapas.

**3.1.11.1 Regulador de presión.** Dispositivo mecánico empleado para disminuir la presión de entrada y regular uniformemente la presión de salida de un sistema.

**3.1.12 Cajas de inspección.** Estructuras subterráneas a las cuales se puede tener acceso y que están diseñadas para contener tubería y componentes del sistema (tales como válvulas o reguladores).

**3.1.13 Clase de localidad.** Clasificación de un área geográfica a lo largo del recorrido de un sistema de tuberías, de acuerdo con el número y proximidad a edificaciones destinadas para ocupación humana. Se aplican en prescripción de factores de diseño para la construcción, operación y ensayo de los sistemas de tuberías localizadas dentro de un área específica, teniendo en cuenta requisitos particulares de operación y mantenimiento.

**3.1.13.1 Localidad Clase 1.** Es cualquier sección de 1600 m de longitud que tiene 10 o menos edificaciones destinadas a ocupación humana. La localidad Clase 1 se propone reflejar áreas tales como páramos, desiertos, montañas, tierras de pastoreo, granjas y áreas escasamente pobladas.

**3.1.13.2 Localidad Clase 2.** Es cualquier sección de 1600 m de longitud que tiene más de 10, pero menos que 46 edificaciones destinadas a ocupación humana. Una localidad Clase 2 se propone reflejar las áreas donde el grado de población es intermedio entre la localidad Clase 1 y la localidad Clase 3, tales como, áreas marginales alrededor de ciudades y pueblos, áreas industriales, haciendas, zonas rurales, etc.

**3.1.13.3 Localidad Clase 3.** La localidad Clase 3 es cualquier sección de 1600 m de longitud que tiene 46 o más destinadas a la ocupación humana, excepto cuando prevalece una Localidad Clase 4. La Localidad Clase 3 se 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.

**3.1.13.4 Localidad Clase 4.** La Localidad Clase 4 es cualquier sección de 1600 m de longitud que tiene 46 o más edificaciones destinadas a ocupación humana, donde más del 50% de estas tienen más de cuatro pisos, donde el tráfico es pesado y/o denso y donde puede haber numerosas redes de otros servicios enterradas. Los cuatro pisos se cuentan desde el primero o planta baja. La profundidad de sótanos o el número de pisos de sótano, si existieran, no tiene importancia.

**3.1.14 Máxima presión de operación permisible (MPOP).** Es la máxima presión a la cual puede ser operado un sistema de gas de conformidad con las especificaciones de la norma NTC 3838.

**3.1.15 Plan de contingencia.** Medidas encaminadas a evitar, prevenir o disminuir todo accidente que por magnitud de sus efectos negativos puede poner en peligro la vida de personas, causar altos daños materiales o llegar a afectar el medio ambiente.

**3.1.15.1 Plan de emergencia.** Conjunto de acciones encaminadas a controlar y minimizar el efecto de una emergencia en el espacio más cerrado posible; tiende a evitar que las consecuencias por causa de un accidente o emergencia sean más altos. El plan de emergencia entra a funcionar en el momento en que ya se ha producido la emergencia por lo tanto está incluido en el plan de contingencia.

**3.1.16 Relación dimensional estándar (RDE).** Es la relación del diámetro exterior del tubo al espesor de pared de la tubería termoplástica, se calcula por la división del diámetro exterior especificado del tubo por el espesor de pared especificado.

**3.1.17 Resistencia a la tensión.** Es el mayor valor del esfuerzo de tensión (referido a la sección transversal original) que un material puede soportar antes de fallar.

**3.1.18 Resistencia mínima a la fluencia especificada (SMYS).** Es la mínima resistencia a la fluencia prescrita por la especificación bajo la cual el tubo es fabricado.

**3.1.19 Accesorios.** Elementos utilizados para empalmar las tuberías para conducción de gas. Forman parte de ellos los usados para hacer cambios de dirección, nivel, ramificaciones, reducciones o acoples de tramos de tuberías.

**3.1.20 Válvulas.** Proporcionan el bloqueo total del paso de flujo en el momento que se requiera. Debe asegurar un cierre hermético bajo las condiciones de operación. Su fabricación debe cumplir ciertos requisitos de acuerdo al rango de presión al que será sometida.

**3.1.21 Tuberías.** 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).

**3.1.22 Tuberías plásticas.** Las tuberías plásticas deben cumplir con los parámetros establecidos en la NTC 1746 (Plásticos. Tubos y accesorios termoplásticos para conducción de gases a presión) y deben emplearse únicamente en instalaciones enterradas. El material comúnmente utilizado es el polietileno de media densidad.

**3.1.23 Plástico.** Material que contiene como ingrediente esencial una sustancia orgánica de alto peso molecular, es sólido en su estado final, pero durante su proceso de manufactura puede ser moldeado. Los dos tipos generales de plásticos son los denominados “termoplásticos” y “termoestables”.

**3.1.23.1 Termoestable.** Material plástico que ha pasado a un estado sustancialmente insoluble e infundible, por medio de un proceso de curado bajo la aplicación de calor o por procesos químicos.

**3.1.23.2 Termoplástico.** Material plástico capaz de ser ablandado repetidamente por el aumento de temperatura, o endurecido por la disminución de la misma.

**3.1.24 Acoplamiento de tuberías.** Dado que a lo largo del proceso de instalación de la red, se deben hacer uniones (de las tuberías con otras tuberías o con accesorios) de las cuales depende la seguridad del proceso de transporte del gas, la unión de tuberías es un aspecto de gran importancia en la instalación de las redes de distribución de gas natural. Se debe tener un buen acoplamiento para evitar fugas y los problemas que esto puede generar.

**3.1.25 Acoplamiento de tuberías de plástico.** La tubería plástica de polietileno y sus acoples deben unirse por método de fusión térmica (termofusión) o usando uniones mecánicas. Hay que recalcar que los accesorios y la tubería deben ser compatibles unos con otros en cuestión de materiales.

**3.1.25.1 Proceso de termo fusión.** 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. Éste proceso permite una unión permanente y eficaz, además de ser económica.

## **3.2 CONDICIONES INICIALES DEL DISEÑO**

El diseño de esta red de distribución de gas requiere establecer algunos parámetros iniciales de gran importancia que permiten que la red sea eficiente, segura y que cumpla con todos los requisitos establecidos en las normas NTC.

**3.2.1 Demanda de Gas Natural.** Este es un factor muy importante para la red de gas, ya que su diseño se realiza con base al volumen de gas que los habitantes de San Antonio requieran para suministrar la potencia necesaria para sus artefactos de combustión.

Para el cálculo del caudal de gas requerido por la población para que la red sea eficiente se tuvo en cuenta que el centro poblado es un territorio donde el estrato social de las viviendas es uno, dos o tres, es decir que como artefactos domiciliarios a gas se toman en cuenta solamente la estufa de máximo cuatro puestos y el horno en su diferentes tamaños debido a que requiere de más potencia un horno para una panadería que un horno para uso doméstico; para este caso no se tienen en cuenta calentadores a gas ya que San Antonio es un lugar donde hace calor y los habitantes se bañan con agua fría, por otro lado el aire acondicionado es eléctrico y no aplica para este sector debido a su posición social y a la ausencia de grandes estructuras como centros comerciales que lo requieran.

**3.2.1.1 Cálculo del caudal de gas.** Dado que ya se sabe que artefactos serán tomados en cuenta para aproximar el consumo de gas, lo siguiente es saber la potencia que requiere cada artefacto para su combustión; primero se debe aclarar las condiciones en las cuales se toman los valores de potencia para obtener el valor máximo de caudal y así cumplir con el mínimo y máximo requerimiento de demanda en caso de que exista una masificación de consumo.

- Las estufas domésticas son máximo de cuatro quemadores, en los cuales dos son medianos, uno es pequeño y el último es grande.
- Los cuatro quemadores pueden ser usados simultáneamente.
- El quemador del horno es de tamaño mediano, pero este no se usa simultáneamente con los cuatros quemadores de la estufa, es decir solo se usa el horno o solo la estufa.
- Para el caso de los hornos usados en pequeñas empresas como lo son: panaderías y restaurantes, el quemador de horno es mucho más grande y por lo tanto requiere de mayor potencia y consumo.
- Para este cálculo se tiene en cuenta que según las encuestas realizadas a los habitantes de San Antonio, entre el 77% (146 viviendas de las 190 viviendas encuestadas) de las viviendas es habitada por entre dos y cinco personas.

La potencia es dada es unidades de Kcal/h y mide la capacidad de producir o consumir energía en un periodo de tiempo, en este caso en periodos de una hora; en la **Tabla 5** se muestra la potencia consumida por cada artefacto.

**Tabla 5. Potencia de artefactos domésticos a gas**

| Artefacto         | Consumo (Kcal/h) |
|-------------------|------------------|
| Quemador pequeño  | 1000             |
| Quemador mediano  | 1400             |
| Quemador grande   | 1800             |
| Quemador de horno | 3000             |

**Fuente:** Sitio web de Ente Nacional Regulador de Gas (ENARGAS). {Online} Disponible en URL <http://www.enargas.gov.ar/secciones/eficiencia-energetica/consumo-artefactos.php>

Para saber el caudal se debe saber el poder calorífico del gas natural con el que se va a trabajar, pero como ya se mencionó anteriormente, su poder calorífico varía entre  $950 \text{ BTU}/\text{ft}^3$  y  $1150 \text{ BTU}/\text{ft}^3$ ; para efectos de este proyecto se toma un poder calorífico de  $1050 \text{ BTU}/\text{ft}^3$  que es equivalente a  $9350,357 \text{ Kcal}/\text{m}^3$ . Por medio de la **Ecuación 1** se determina el consumo de gas en  $\text{m}^3/\text{h}$  de cada artefacto.

**Ecuación 1. Caudal de gas según poder clarifico**

$$\frac{\text{m}^3}{\text{h}} = \frac{\text{Consumo } \left(\frac{\text{Kcal}}{\text{h}}\right)}{\text{Poder Calorífico } \left(\frac{\text{Kcal}}{\text{m}^3}\right)}$$

Aplicando esta ecuación se tiene que los valores de consumo de gas para cada artefacto se dan en la siguiente tabla.

**Tabla 6. Volumen de gas consumido por cada artefacto**

| Artefacto         | Consumo (Kcal/h) | Consumo ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) |
|-------------------|------------------|-----------------------------------|
| Quemador pequeño  | 1000             | 0,1069                            |
| Quemador mediano  | 1400             | 0,1497                            |
| Quemador grande   | 1800             | 0,1925                            |
| Quemador de horno | 3000             | 0,3208                            |

Teniendo los datos anteriores se debe saber con qué frecuencia y cuantas horas al día se hace uso de los artefactos de combustión; los habitantes de San Antonio

utilizan dichos artefactos tres veces al día como mínimo y cinco veces como máximo, teniendo en cuenta que una vez es en el desayuno, otra en el almuerzo y la otra en la cena; las otras dos adicionales se pueden contar como tiempo de recalentado o de cocción de alimentos rápidos, para estas dos frecuencias adicionales se toman tiempos fijos de 10 minutos.

En un estudio que realizó la Unidad de Planeación Minero Energética se determinó el tiempo promedio para la preparación de las comidas en Colombia, tomando como base datos de Bogotá, Pasto, Barranquilla y Medellín; a continuación se muestra el tiempo promedio que tarda una persona en preparar una comida.

**Tabla 7. Tiempo de preparación de alimentos**

| COMIDA                       | TIEMPO (minutos) |
|------------------------------|------------------|
| Desayuno                     | 25               |
| Almuerzo                     | 75               |
| Cena                         | 30               |
| Recalentado o cocción rápida | 10               |

**Fuente:** Unidad de planeación minero energética UPME. CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DE LOS SECTORES RESIDENCIAL, COMERCIAL Y TERCIARIO, PDF UPME. Bogotá, 2007.

Para saber cuánto volumen se consume en una vivienda normalmente se debe tener en consideración que los cuatro quemadores de la estufa no estarán prendidos al mismo tiempo en las tres comidas, de esta manera se toma lo siguiente:

- Para el desayuno solo se utilizan máximo dos quemadores por un periodo de 25 minutos.
- Para el almuerzo se utilizan los cuatro quemadores simultáneamente por 75 minutos, dado a la variedad de alimentos que se cocinan en esta comida.
- Para la cena se utilizan dos quemadores por un periodo de 30 minutos.
- Por último para el recalentado se usa solo un quemador por un periodo de 10 minutos.

Nota: como las personas difieren entre un quemador grande, mediano o pequeño y en el caso de usar solo uno, este sería cualquiera, así que para este caso se tomara el de mayor potencia.

En la **Tabla 8** se muestra el volumen de gas que se consume normalmente en una casa, teniendo en cuenta los datos anteriores.

**Tabla 8. Volumen de gas consumido en una vivienda en un día**

| COMIDA                       | CONSUMO ( $m^3$ ) |
|------------------------------|-------------------|
| Desayuno                     | 0,1426            |
| Almuerzo                     | 0,7486            |
| Cena                         | 0,1711            |
| Recalentado o cocción rápida | 0,0321            |
| Total ( $\frac{m^3}{dia}$ )  | 1,09              |
| Total ( $\frac{m^3}{mes}$ )  | 32,83             |

Para el resultado del gas consumido en una vivienda se tiene en consideración que las viviendas de San Antonio son de estratos uno, dos y tres; según un estudio realizado por la UPME (Unidad de Planeación Minero Energética), el consumo promedio de gas natural para cocción de alimentos para estos estratos es de entre  $25 \left(\frac{m^3}{mes}\right)$  y  $30 \left(\frac{m^3}{mes}\right)$  por hogar; de esta manera se tiene que el valor determinado para este proyecto es un aproximado al valor determinado por el estudio de la UPME.

En el centro poblado hay aproximadamente cinco negocios comerciales entre los cuales se encuentran dos panaderías y tres restaurantes, en este caso por usar quemador de horno el volumen de gas consumido es mayor. Se tiene que las panaderías en promedio usan tres horas al día el quemador del horno y los restaurantes lo usan cinco horas al día, aplicando las ecuaciones anteriores con el mismo proceso se tiene que el consumo diario de estas pequeñas empresas es de  $7,7752 \left(\frac{m^3}{dia}\right)$ .

Finalmente para el cálculo del volumen total de gas consumido en un día por el centro poblado San Antonio se realiza una multiplicación entre el consumo diario de una vivienda y el número total de viviendas a las cuales se les va a prestar el servicio que para este caso es de 380 viviendas tomando en cuenta las que están en proyecto de construcción, a esto se le suma el volumen usado por el sector de pequeñas empresas.

El volumen máximo que se tiene en consideración para el diseño de la red de gas como consumo diario de los habitantes de San Antonio es de,  $423,6472 \left(\frac{m^3}{dia}\right)$ , se dice que es el máximo volumen ya que en este cálculo se tomó qué:

- Los habitantes van a cocinar todos los días, es este caso considerando una masificación en el consumo.

- Se tomaron todas las viviendas como si estuvieran habitadas permanentemente y en realidad, hay muchas casas de paso en las cuales los habitantes solo habitan las viviendas dos días por semana, es decir los fines de semana.
- Se tuvo en cuenta todas las casas de verano (no permanentes) pero según las encuestas realizadas, para estas viviendas no es rentable adquirir el servicio de gas natural ya que no son habitadas permanentemente.

Este volumen calculado es de gran importancia ya que hace parte de los mínimos datos requeridos por el software para modelar el diseño de la red.

**3.2.2 Tipo de tubería y diámetros de la red.** Para el diseño de una red que transporta gas natural, normalmente se usan tuberías en acero, tuberías plásticas o tubería de cobre; la tubería de acero es usada prioritariamente para el transporte de gas a altas presiones, esto podría ser en el caso de un gasoducto de dimensiones considerables y de tráfico pesado ya que el acero tiene una mayor resistencia y puede soportar las altas presiones (200 Bares) que lleva el gas; el cobre es usado para instalaciones internas, es decir en donde la presión es de media a muy baja (23 milibares) y donde no se tengan cargas que puedan quebrar o romper la tubería.

Para efectos de este proyecto la tubería plástica en polietileno es la más recomendada ya que es flexible, maneja presiones medias, es económica, tiene buena resistencia y con base a la red que opera actualmente en el casco urbano de Anapoima se determina como tipo de tubería el polietileno de media densidad (PEMD) grado PE 2406 o PE 80 ya que para una red de distribución este tipo de tubería tiene una presión de diseño hasta de 7 bar (101,3 Psig), debe ser fabricado bajo las especificaciones de la norma NTC 1746 plásticos, tubos y accesorios termoplásticos para conducción de gases a presión, cuyo antecedente es la Norma ASTM D - 2513 y están garantizadas para el transporte de gas combustible.

Se determinaron inicialmente los diámetros de la tubería que se pueden observar en las convenciones del **Anexo B** de la siguiente manera:

- Polietileno de 1" para la línea secundaria o troncal principal en el casco urbano de San Antonio.
- Polietileno de ¾" para las mallas o anillos de distribución.
- Polietileno de ½" para las líneas individuales o acometidas domiciliarias.
- Polietileno de 2" para la línea que conduce del casco urbano de Anapoima hasta el centro poblado San Antonio.

Según la norma para tubería plástica y los diferentes proveedores que comercializan tubos y accesorios en polietileno, la **Tabla 9** muestra las dimensiones y la presentación del PE 80, usado para dicho proyecto.

**Tabla 9. Características de la tubería de polietileno PE 80**

| PE 80 Tubería Amarilla |     |                            |      |                            |       |              |             |
|------------------------|-----|----------------------------|------|----------------------------|-------|--------------|-------------|
| Diámetro Nominal       | RDE | Diámetro Exterior Promedio |      | Espesor Mínimo de la Pared |       | Presentación |             |
|                        |     | mm                         | pulg | mm                         | pulg  | Rollos (mts) | Tubos (mts) |
| 1/2"                   | 9   | 21,30                      | 0,84 | 2,29                       | 0,090 | 150          |             |
| 3/4"                   | 11  | 26,70                      | 1,05 | 2,41                       | 0,095 | 150          |             |
| 1"                     | 11  | 33,40                      | 1,31 | 3,02                       | 0,119 | 150          |             |
| 1 1/4"                 | 11  | 42,10                      | 1,66 | 3,84                       | 0,151 | 150          |             |
| 2"                     | 11  | 60,30                      | 2,37 | 5,49                       | 0,216 | 150          |             |
| 3"                     | 11  | 88,90                      | 3,50 | 8,08                       | 0,318 | ----         | 10          |
| 4"                     | 11  | 114,30                     | 4,50 | 10,39                      | 0,409 | ---          | 10          |
| 6"                     | 11  | 168,30                     | 6,63 | 15,29                      | 0,602 | ----         | 10          |

**Fuente:** PAVCO. MANUAL TÉCNICO TUBOSISTEMAS CONDUCCIÓN GAS, Guía para la instalación de Tuberías de Polietileno. Bogotá, 2014.

**3.2.3 Trazado de la tubería (troncal y anillos).** Una vez analizada la información anteriormente obtenida se procede a trazar la tubería sobre el plano del centro poblado teniendo en cuenta aspectos como vías principales y secundarias, presencia de ríos, quebradas y puentes, zonas verdes, parques y lotes; con el fin de determinar la cantidad de tubería necesaria para la instalación.

Para realizar el trazado de la tubería sobre el plano de San Antonio se requirió del programa AutoCAD, que permite realizar trazos de diferentes tipos de líneas sobre un plano previamente digitalizado y cargado en este programa, además de esto permite llevar las dimensiones del plano a escala 1:1 lo que permite tener la medida exacta del trazo de la tubería. Este programa también permite la impresión del plano en donde se encuentra el diseño de la red de gas.

Para el trazo de la red de distribución de gas se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- El trazado de la línea principal y de las mallas de distribución únicamente por las vías públicas del Municipio.
- Todas las mallas se conectan entre sí o a la línea principal, es decir que la red de distribución se encuentra cerrada.
- Se dejaron líneas solo en diseño para una futura construcción de zonas aun no pobladas.

- Se tuvieron en cuenta los materiales en los cuales se encuentra la vía pública por donde pasa la red de gas al igual que el tráfico vehicular que existe en esta zona, para no sobrecargar la tubería.
- Debido a las dimensiones de algunas calles, la red se trazó por el centro de la calle, es decir que en algunos casos la tubería no es tendida a ambos lados de una calle.
- Se verifico la ausencia de ríos, parques naturales, propiedad privada y terrenos inestables.
- Mínima afectación a la comunidad y a los servicios públicos en el momento del tendido de la tubería.
- El recorrido del gas desde el casco urbano de Anapoima hasta San Antonio se ve favorecido por la gravedad, debido a la ubicación del centro poblado.

El trazado de la red se puede ver en el **Anexo B**, donde se encuentra el mapa de San Antonio junto con el diseño final de la red de distribución de gas natural con sus respectivas convenciones.

**3.2.3.1 Válvulas de seccionamiento.** Es de gran importancia tener acceso al flujo del gas por medio de las válvulas de corte ya que para alguna emergencia que se presente durante la operación de la red, se pueda cerrar las válvulas y cortar el flujo de gas en un tramo de tubería o en la totalidad de la red.

Debido a que San Antonio es un centro poblado pequeño se determinó como una localidad clase tres, ya que este tipo de localidad describe áreas con desarrollo suburbano y áreas residenciales con más de 46 viviendas en un tramo de 1600 m.

La válvula de seccionamiento de una red de distribución para fines de operación y emergencia debe cumplir con las siguientes condiciones según lo estipulado en la norma NTC 3728.

- Debe estar en un lugar de fácil acceso.
- El mecanismo de operación debe ser fácilmente accesible.
- Como las válvulas van enterradas en una caja, esta debe estar instalada de tal forma que se evite la transmisión de cargas externas a la red.

Para la ubicación de las válvulas de corte en este proyecto se realizó un análisis cualitativo, teniendo en cuenta que en caso de una emergencia se debe aislar una o varias mallas en donde los usuarios se vean en peligro o afectados por la emergencia, esto sin exceder la máxima distancia de separación entre válvulas que es 16 kilómetros y está dada por la norma NTC 3728 y por la clase de localidad determinada anteriormente.

En esta red de distribución por un lado se tienen cuatro válvulas de troncal, es decir que estas válvulas intervienen únicamente la red principal; por otro lado se tienen seis válvulas de anillo, es decir que intervienen los anillos de distribución cortando el flujo de gas hacia una o varias mallas. Se debe tener en cuenta que para efectos de este proyecto no es necesario la instalación de válvulas de alivio ya que la red no se ve expuesta a presiones mayores a la presión de diseño de la tubería y tampoco a presiones superiores a la MPOP que según la norma NTC 3838 es de 7000 mbar (101,5 Psig).

La válvula de bola se determina como válvula de corte para la red de distribución ya que son aquellas las cuales una bola taladrada gira entre asientos elásticos, lo cual permite a circulación directa en la posición abierta y corta el paso cuando se gira la bola 90° y cierra el conducto; son válvulas de ¼ de vuelta. Se recomienda su uso para servicio de conducción y corte, sin estrangulación, para temperaturas moderadas, cuando se necesita resistencia mínima a la circulación y cuando se requiera apertura rápida.

**3.2.4 Pérdidas de presión.** En un sistema de tuberías que transporta un fluido se generan caídas de presión desde donde se alimenta la tubería hasta el destino final del fluido, estas caídas de presión están dadas por:

- Reducciones o cambios en los diámetros internos de la tubería a lo largo de la línea, gasoducto o red de distribución.
- Cambios severos en la dirección del flujo, llevando al uso de accesorios tales como codos y/o té. s.
- Fricción entre la tubería y el fluido debido a una elevada velocidad del fluido.
- Longitudes de tubería muy extensas.
- Nivel del terreno, gravedad a favor o en contra.

El gas por ser un fluido compresible no genera tantas caídas de presión comparado con el agua que es un fluido incompresible, para determinar las caídas de presión se hace uso del modelo propuesto por Müller para presiones mayores a 70 mbar.

La **Ecuación 2** determina las caídas de presión para un caudal Q de gas de una tramo de tubería incluyendo accesorios tales como válvulas, debido a que la red de distribución conecta varias mallas con la línea principal (troncal), hallar la pérdida de presión de cada uno de los tramos sería un proceso repetitivo y muy largo pero como en el presente proyecto se realiza una simulación de la red con Aspen Hysys, este software determina esas caídas de presión de manera más rápida y precisa.

## Ecuación 2. Modelo de Müller

$$Q = \frac{0,13}{G^{0,425}} * \left( \frac{P1^2 - P2^2}{L} \right)^{0,575} * D^{2,725}$$

**Fuente:** PAVCO. MANUAL TÉCNICO TUBOSISTEMAS CONDUCCIÓN GAS, Guía para la instalación de Tuberías de Polietileno. Bogotá, 2014.

Donde:

Q = Caudal, en metros cúbicos por hora  $\left(\frac{m^3}{h}\right)$

G = Gravedad específica del combustible gaseoso (gravedad específica del gas natural 0,6)

P1 = Presión absoluta en el punto de alimentación de la tubería, en bar.

P2 = Presión absoluta en el punto de entrega de la tubería, en bar

L = Longitud de la tubería, en metros (m)

D = Diámetro interno de la tubería, en milímetros (mm)

Con base en los datos obtenidos y anteriormente calculados, el caudal es de 423.6472  $\left(\frac{m^3}{dia}\right)$ , la presión de alimentación es de 60 Psi (4 bar) y los otros datos se tienen pero la presión en el punto de entrega es la incógnita para saber la caída de presión del tramo a estudiar, despejando se tiene la **Ecuación 3**.

## Ecuación 3. Modelo de Müller para P2

$$P2 = \left( P1^2 - \frac{23,82 * LQ^{1,739}}{D^{4,739}} \right)^{0,5}$$

**Fuente:** PAVCO. MANUAL TÉCNICO TUBOSISTEMAS CONDUCCIÓN GAS, Guía para la instalación de Tuberías de Polietileno. Bogotá, 2014.

Para comprobar que por ser gas el fluido transportado las pérdidas de presión son mínimas se realiza el cálculo de la caída de presión en un tramo de 2000 m, con tubería de 2" y con un factor de seguridad del 25% para el caudal de gas.

**Figura 13. Caída de presión para un tramo de 2000 m**

$$P2 = (4,13685^2 - \frac{23,82 * (2000)(22,065)^{1,739}}{54,81^{4,739}})^{0,5}$$

$$P2 = 4,1315 \text{ Bar} = 59,92 \text{ Psi}$$

$$\Delta P = (58,74 - 60) \text{ Psi} = -0,09 \text{ Psi}$$

En la **Figura 13** se determina la caída de presión que genera el flujo de  $22,065 \frac{m^3}{h}$  de gas por medio de una tubería de 2" con diámetro interno de 54,81 mm en un tramo de 2000 m, de esta manera se comprueba que el gas por ser un gas compresible no genera mayores caídas de presión.

**3.2.5 Construcción y tendido de la red.** La tubería debe ir enterrada para ello se debe hacer una excavación no muy profunda, tender la tubería y por ultimo dejar el terreno en las condiciones antes de la excavación o en una condición mejor, para los costos se tuvo en cuenta la clase de suelo de las diferentes calles por las cuales pasa la red. En la **Tabla 10** se describen los parámetros que se deben tener en cuenta en el momento del tendido de la tubería según la norma NTC 3728.

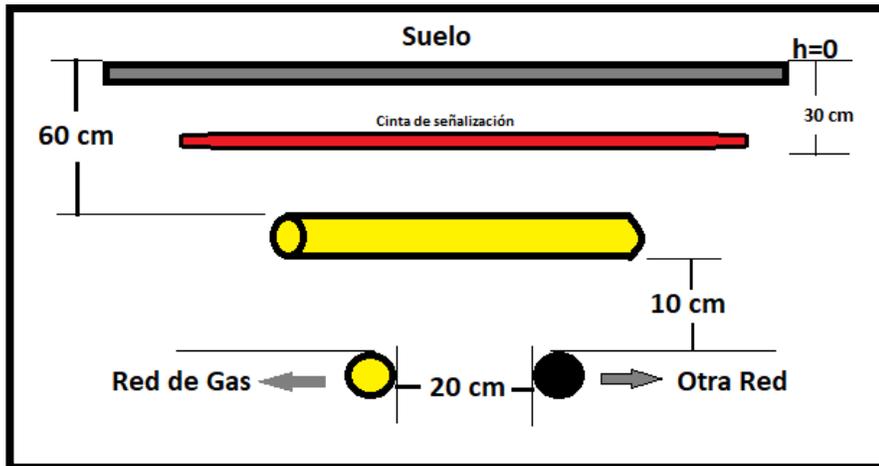
**Tabla 10. Parámetros para el tendido de la tubería**

| LINEAS      | PROFUNDIDAD | INTERSECCIÓN CON OTRAS REDES |                      |
|-------------|-------------|------------------------------|----------------------|
|             |             | PUNTOS DE CRUCE              | RECORRIDOS PARALELOS |
| Primarias   | 100 cm      | 30 cm                        | 30 cm                |
| Secundarias | 60 cm       | 10 cm                        | 20 cm                |

**Fuente:** Instituto colombiano de normas técnicas y certificación. GASODUCTOS LÍNEAS DE TRANSPORTE Y REDES DE DISTRIBUCIÓN DE GAS, NTC 3728. Bogotá, 2011.

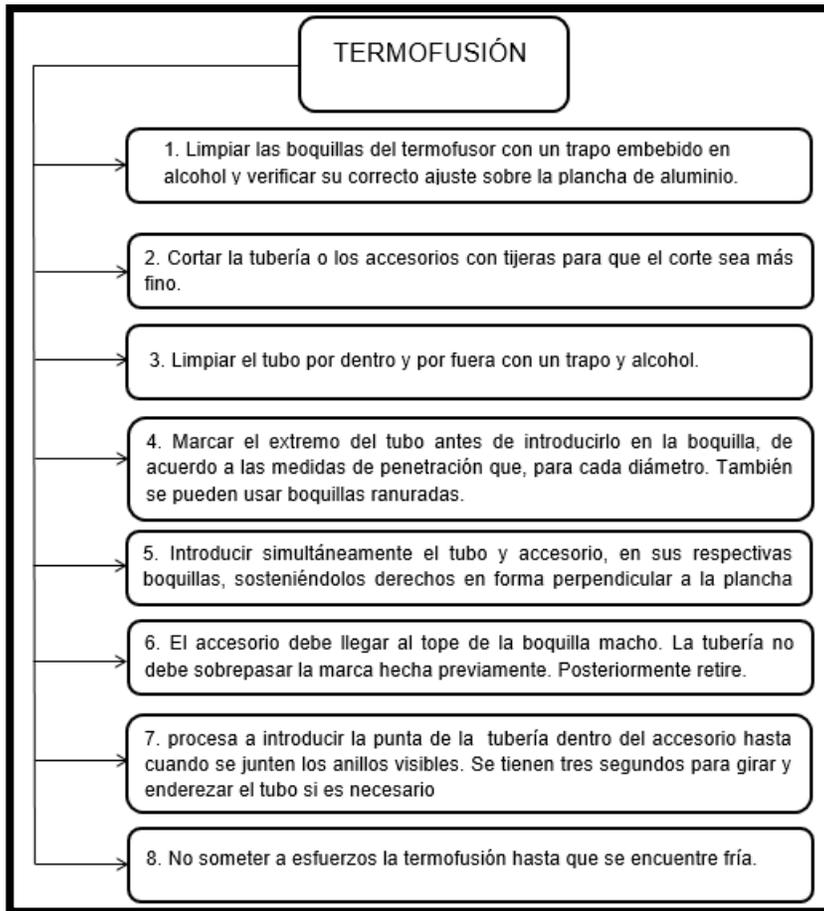
En la **Figura 14** se puede observar los parámetros de la tabla anterior para líneas secundarias que son las que aplican para este proyecto.

Figura 14. Parámetros para el tendido de la tubería



- **Excavación:** Se puede realizar cualquier método manual o mecánico de excavación solo si cumple con los parámetros de profundidad, se debe hacer un reconocimiento a lo largo de la trayectoria de la línea para identificar estructuras que se puedan ver afectadas como tubería de agua, líneas de electrificación, cimentaciones; en caso de ser un terreno rocoso se debe dejar una cama de arena de 10 cm para tender la tubería evitando daños.
- **Señalización:** las tuberías enterradas deben ser señalizadas mediante una cinta con un ancho de mínimo 10 cm, con una leyenda que indique el nombre de la compañía operadora y la palabra "GAS". Esta cinta debe estar enterrada sobre la tubería a una profundidad intermedia (30 cm) entre el lomo del tubo y la superficie del terreno.
- **Rellenos y restauración:** Se debe garantizar que el material de relleno no cause averías a la tubería o a su recubrimiento; se debe realizar una compactación que garantice la estabilidad del terreno; al finalizar la obra las condiciones físicas y ambientales del área deben ser semejantes o mejores que las iniciales.
- **Zanja:** Debe cumplir con lo especificado en la NTC 3742 (instalaciones subterráneas de tubos termoplásticos de PVC) para tendido de tubería plástica, debido al tipo de tubería se debe tener cuidado con las superficies puntiagudas y no se deben dejar caer objetos sobre la tubería.
- **Uniones:** En este caso como se trata de tubería plástica en polietileno y según la norma NTC 3728, la termofusión es el método más seguro para la unión de este tipo de tubería, en la **Figura 15** se puede observar el procedimiento de la unión de tubería por fusión.

**Figura 15. Procedimiento de unión por Termofusión**



En la **Tabla 11** se describen los parámetros finales de la red de distribución que va abastecer de gas natural al centro poblado San Antonio.

**Tabla 11. Parámetros finales del diseño de la red de gas**

| PARÁMETRO                                    | Valor o Descripción   | Longitud  |
|--|-----------------------|-----------|
| Caudal de gas                                | 530 $\frac{m^3}{dia}$ | -----     |
| Tipo de tubería                              | (PEMD) PE 80          | 10.301,80 |
| <b>Diámetro Nom. Línea Principal</b>         | 2 Pulg                | 5.500 m   |
| <b>Diámetro Nom. Troncal</b>                 | 1 Pulg                | 570 m     |
| <b>Diámetro Nom. Anillos</b>                 | 3/4 Pulg              | 3.851,8 m |
| <b>Diámetro Nom. Acometidas individuales</b> | 1/2 Pulg              | 380 m     |
| <b>Presión de entrada</b>                    | 60 Psi                | -----     |

**Tabla 11. (Continuación)**

| <b>PARÁMETRO</b>                  | <b>Valor o Descripción</b> | <b>Longitud</b> |
|-----------------------------------|----------------------------|-----------------|
| <b># Válvulas Línea Principal</b> | 4                          | -----           |
| <b># Válvulas de Troncal</b>      | 2                          | -----           |
| <b># Válvulas de Anillo</b>       | 6                          | -----           |

El caudal de gas tiene un factor de seguridad del 25%, este volumen de gas adicional de gas diario es en caso de una masificación de usuarios nuevos, este porcentaje puede abastecer de gas a 100 viviendas adicionales en caso de que se construyan nuevas casas. El PEMD se refiere a tubería de polietileno de media densidad según norma NTC 1746 y la línea principal hace referencia a la red que conduce desde el casco urbano del Municipio de Anapoima hasta la entrada del centro poblado San Antonio.

## 4. MODELAMIENTO DEL DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCION DE GAS NATURAL EN ASPEN HYSYS

En este capítulo se lleva a cabo la simulación de la red de distribución de gas natural diseñada para el centro poblado San Antonio haciendo uso del software Aspen HYSYS, el cual permite determinar el comportamiento del fluido y las pérdidas de presión que se generan a lo largo de la tubería y en su paso por los accesorios. Primero se realiza el modelamiento de la red principal con el fin de determinar la presión con la cual llega el fluido hasta San Antonio, después de obtener este dato se realiza la simulación en la troncal para determinar la presión a la cual llega el gas natural a los anillos de distribución, adicionalmente a la presión se obtienen datos de temperatura y propiedades termodinámicas del fluido.

### 4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE ASPEN HYSYS

Aspen Hysys es una herramienta tecnológica desarrollada para la simulación de procesos químicos, en 1970 investigadores del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) diseñaron un programa para la simulación de procesos al cual denominaron Sistema Avanzado para Ingeniería de Procesos (ASPEN del inglés *Advanced System for Process Engineering*), dicho software ha sido comercializado desde 1980 por la compañía AspenTech.

**4.1.2 Herramientas del programa.** Hysys posee una base de datos con amplia información la cual permite realizar los cálculos necesarios. Para que el programa realice los cálculos se tiene que proporcionar la información mínima requerida o información de entrada, generalmente son los datos de operación como flujos, temperaturas y presiones. Hay que tener en cuenta la selección del paquete de fluido con que se está trabajando, ya que no todos los paquetes pueden ser utilizados con los diferentes tipos de fluidos, los paquetes son específicos.

Adicionalmente Hysys posee una integración gráfica que permite modelar más de 40 diferentes operaciones unitarias. Algunas de las herramientas o equipos que proporciona el sistema para los diferentes procesos son:

- Acumuladores Flash.
- Columnas de destilación, azeotrópica.
- Columnas de extracción.
- Reactores continuos y Batch.
- Compresores.

- Turbinas.
- Bombas.
- Intercambiadores de calor.
- Separador.
- Mezcladores.
- Controladores.
- Tuberías.
- Válvulas de Bloqueo y control.

Se debe tener en cuenta que en este proyecto solo se hace uso de tuberías plásticas y válvulas de seccionamiento tipo bola.

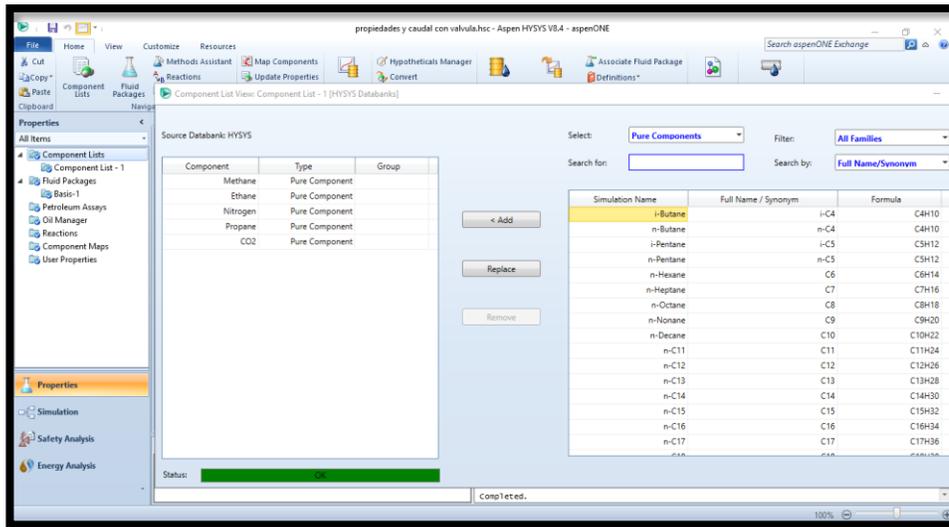
## 4.2 INGRESO DE DATOS EN ASPEN HYSYS

Antes de obtener resultados y llegar a una conclusión, se deben tener claros los mínimos datos requeridos por Hysys para realizar la simulación de las condiciones del proyecto, se hace una descripción de los pasos que se realizaron para ingresar datos tales como, cromatografía de gas natural, presión del fluido, temperatura y caudal de la red.

En Aspen Hysys hay dos secciones en las cuales se introducen los datos requeridos, primero esta “Properties” donde se ingresan los compuesto del fluido a trabajar y se elige el modelo termodinámico; la siguiente sección es “Simulation” donde se insertan los equipos a usar y las concentraciones del fluido que ingresa en los equipos; por último en la tercera sección “Safety Analysis” se puede analizar todos los resultados por medio de los perfiles de cambio de cada uno de las variables.

**4.2.1 Properties.** La base de datos que tiene Hysys permite seleccionar y adicionar los componentes que se requieran para el proyecto, en la **Figura 16** se pueden observar los componentes incluidos en la cromatografía del gas que se va a trabajar, se selecciona el componente y se agrega a la lista dando clic en Add.

Figura 16. Componentes de la cromatografía del gas

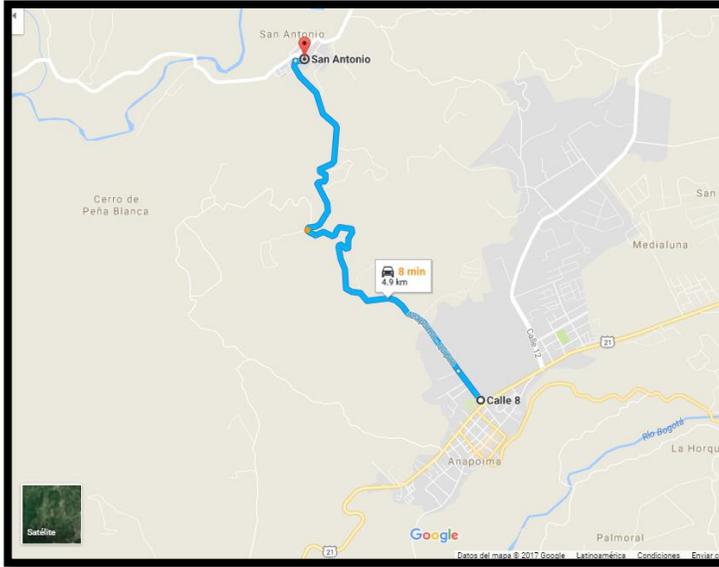


Para seleccionar el modelo termodinámico “Fluid Packages” se toma en cuenta el **Anexo C**, que por medio de un árbol de decisiones determina la ecuación de estado Peng Robinson como la mejor opción para esta simulación ya que se trabaja con gas y este es un fluido no polar ya que no tiene agua en su composición.

**4.2.2 Simulation.** En este proyecto se trabaja solamente con tubería plástica y válvulas de bola On/Off, es decir 100% abierta o 100% cerrada. En esta sección se ingresan los equipos a usar con sus características tales como diámetros, longitud, elevación y tipo de material; las corrientes de materia y energía, junto con la composición del fluido, la presión, temperatura y caudal en la corriente de entrada.

**4.2.2.1 Línea principal.** Primero se realiza la simulación de la línea principal de 5000 m de longitud que conduce el gas natural desde Anapoima hasta San Antonio. En la **Figura 17** se puede observar la ruta que recorre la línea principal, ya que esta va enterrada paralela y a un costado de la carretera pública. En este tramo de la red de gas se ubican válvulas de corte cada 1000 m por seguridad en caso de alguna eventualidad, se utiliza tubería de plástico (polietileno) de 2” de diámetro a lo largo de los 5 km.

**Figura 17. Línea principal desde Anapoima hasta San Antonio**



En Hysys primero se ingresan los datos de las condiciones a las cuales ingresa el fluido y el simulador determina las condiciones a las que sale el fluido en un sistema adiabático ya que se trata de tubería enterrada, en la **Tabla 12** se muestra la composición de gas natural que se va a transportar con base en información dada por la empresa Gas Natural Fenosa.

**Tabla 12. Cromatografía del Gas Natural**

|                 |            |
|-----------------|------------|
| <b>Methane</b>  | <b>93%</b> |
| <b>Propane</b>  | 1,5%       |
| <b>Ethane</b>   | 4%         |
| <b>Nitrogen</b> | 0,5%       |
| <b>CO2</b>      | 1%         |

**Fuente:** Gas Natural Fenosa. HISTORIA DEL GAS, CARACTERISTICAS DEL GAS NATURAL. Bogotá, 2017.

Después de ingresar la composición del gas natural, el simulador automáticamente determina las propiedades térmicas del fluido por medio del modelo termodinámico Peng Robinson (ver **Ecuación 4**), en la **Figura 18** se muestran las propiedades arrojadas por el Hysys.

## Ecuación 4. Ecuación de estado Peng Robinson

$$P = \frac{RT}{V_m - b} - \frac{a\alpha}{V_m^2 + 2bV_m - b^2}$$

$R = \text{constante de los gases (8,31451 J/mol}\cdot\text{K)}$

$$a = \frac{0,45724R^2T_c^2}{P_c} \quad \text{y} \quad b = \frac{0,07780RT_c}{P_c}$$

$$\alpha = \left(1 + \left(0,37464 + 1,54226\omega - 0,26992\omega^2\right) \left(1 - T_r^{0,5}\right)\right)^2$$

$$T_r = \frac{T}{T_c}$$

Donde  $\omega$  es el factor acéntrico del compuesto.

Fuente: Universidad Nacional del Santa. TERMODINÁMICA I, Chimbote-Perú, 2011.

Figura 18. Propiedades del Gas Natural

| Worksheet         | Stream Name  | IN         | Vapour Phase |
|-------------------|--|------------|--------------|
| Conditions        | Molecular Weight   | 17,36      | 17,36        |
| Properties        | Molar Density [kgmole/m <sup>3</sup> ]                       | 0,2142     | 0,2142       |
| Composition       | Mass Density [kg/m <sup>3</sup> ]                            | 3,720      | 3,720        |
| Oil & Gas Feed    | Act. Volume Flow [m <sup>3</sup> /h]                         | 21,99      | 21,99        |
| Petroleum Assay   | Mass Enthalpy [kJ/kg]  | -4540      | -4540        |
| K Value           | Mass Entropy [kJ/kg-C]                                       | 9,891      | 9,891        |
| User Variables    | Heat Capacity [kJ/kgmole-C]                                  | 37,58      | 37,58        |
| Notes             | Mass Heat Capacity [kJ/kg-C]                                 | 2,164      | 2,164        |
| Cost Parameters   | LHV Molar Basis [Std] [kJ/kgmole]                            | 8,343e+005 | 8,343e+005   |
| Normalized Yields | HHV Molar Basis [Std] [kJ/kgmole]                            | 9,180e+005 | 9,180e+005   |
|                   | HHV Mass Basis [Std] [kJ/kg]                                 | 5,287e+004 | 5,287e+004   |
|                   | CO <sub>2</sub> Loading                                      | <empty>    | <empty>      |
|                   | CO <sub>2</sub> Apparent Mole Conc. [kgmole/m <sup>3</sup> ] | <empty>    | <empty>      |
|                   | CO <sub>2</sub> Apparent Wt. Conc. [kgmole/kg]               | <empty>    | <empty>      |
|                   | LHV Mass Basis [Std] [kJ/kg]                                 | 4,805e+004 | 4,805e+004   |
|                   | Phase Fraction [Vol. Basis]                                  | 1,000      | 1,000        |
|                   | Phase Fraction [Mass Basis]                                  | 1,000      | 1,000        |
|                   | Phase Fraction [Act. Vol. Basis]                             | 1,000      | 1,000        |
|                   | Mass Exergy [kJ/kg]  | 230,7      | <empty>      |
|                   | Partial Pressure of CO <sub>2</sub> [kPa]                    | 5,150      | <empty>      |
|                   | Cost Based on Flow [Cost/s]                                  | 0,0000     | 0,0000       |
|                   | Act. Gas Flow [ACT_m <sup>3</sup> /h]                        | 21,99      | 21,99        |
|                   | Avg. Liq. Density [kgmole/m <sup>3</sup> ]                   | 18,11      | 18,11        |
|                   | Specific Heat [kJ/kgmole-C]                                  | 37,58      | 37,58        |
|                   | Std. Gas Flow [STD_m <sup>3</sup> /h]                        | 111,4      | 111,4        |

Se ingresan los datos de caudal, presión y temperatura del fluido, en este caso el programa requiere del caudal molar en Kmol/h, para obtener este dato se realiza el procedimiento que se muestra en la **Figura 19** con base en el caudal anteriormente calculado más el factor de seguridad del 25% y la densidad molar ( $0,2142 \frac{\text{Kmol}}{\text{m}^3}$ ) determinada por Hysys.

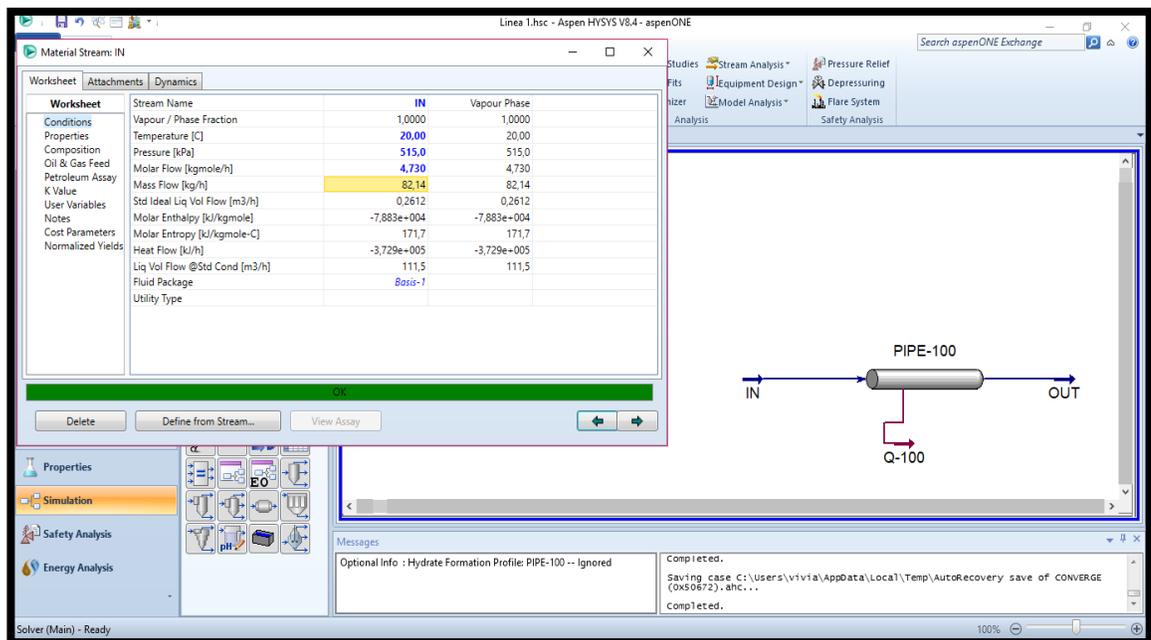
**Figura 19. Cálculo del caudal molar**

$$Q \text{ molar} = 22,083 \frac{m^3}{h} * 0,2142 \frac{Kmol}{m^3}$$

$$Q \text{ molar} = 4,7301 \frac{Kmol}{h}$$

Lo siguiente es ingresar el valor de la presión absoluta, la temperatura y el flujo molar al cual ingresa el fluido a la tubería; en la **Figura 20** se observan los valores ingresados para estos datos.

**Figura 20. Condiciones del fluido a la entrada IN**



Como se puede ver en la **Figura 20** se encuentra el tubo PIPE-100 el cual se compone de cinco secciones cada una de 1000 m de longitud y cuatro válvulas de bola abiertas, con diámetro de 2" y tubería de plástico. La salida de energía Q-100 es cero ya que es un sistema adiabático ya que no está entrando ni saliendo energía, de esta manera el simulador determina automáticamente las condiciones de salida (OUT).

En la **Figura 21** se observan los valores de elevación del terreno, longitud, diámetro de la tubería y de las válvulas, de las cinco secciones que compone la línea principal.

Cada segmento corresponde a 1000 m de tubería o a una válvula de bola, en este caso son nueve segmentos ya que son 5000 metros de tubería plástica con diámetro interno de 54,81 mm y cuatro válvulas de bola plásticas del mismo diámetro que se encuentran seccionando la tubería cada 1000 m en caso de alguna emergencia que se presente, sin elevación del terreno.

**Figura 21. Características y propiedades de la tubería de la línea principal**

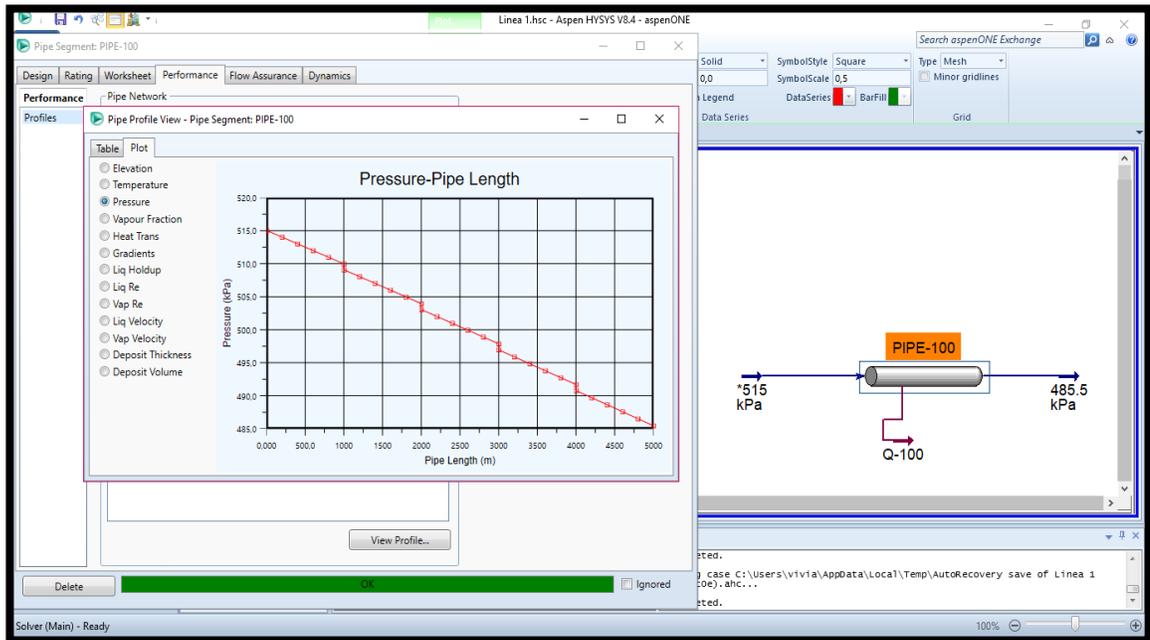
| Property                 | 2   | 3             | 4                 | 5             | 6                 | 7             | 8                 | 9             |
|--------------------------|-----|---------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|
| Segment                  | 2   | 3             | 4                 | 5             | 6                 | 7             | 8                 | 9             |
| Fitting/Pipe             | ll  | Pipe          | Check Valve: Ball | Pipe          | Check Valve: Ball | Pipe          | Check Valve: Ball | Pipe          |
| Length/Equivalent Length | .5  | 1000          | 174.5             | 1000          | 174.5             | 1000          | 174.5             | 1000          |
| Elevation Change         | .0  | 0.0000        | 0.0000            | 0.0000        | 0.0000            | 0.0000        | 0.0000            | 0.0000        |
| Outer Diameter           | .10 | 60.30         | 60.30             | 60.30         | 60.30             | 60.30         | 60.30             | 60.30         |
| Inner Diameter           | .11 | 54.81         | 54.81             | 54.81         | 54.81             | 54.81         | 54.81             | 54.81         |
| Material                 | .19 | PlasticTubing | PlasticTubing     | PlasticTubing | PlasticTubing     | PlasticTubing | PlasticTubing     | PlasticTubing |
| Roughness                | .15 | 1.400e-005    | 1.400e-005        | 1.400e-005    | 1.400e-005        | 1.400e-005    | 1.400e-005        | 1.400e-005    |
| Pipe Wall Conductivity   | .10 | 0.1700        | 0.1700            | 0.1700        | 0.1700            | 0.1700        | 0.1700            | 0.1700        |
| Increments               | .1  | 5             | 1                 | 5             | 1                 | 5             | 1                 | 5             |
| FittingNo                | .1  | <empty>       | 1                 | <empty>       | 1                 | <empty>       | 1                 | <empty>       |

Hasta aquí son los datos principal que requiere Hysys para determinar las condiciones de salida del fluido OUT, en la **Figura 22** se puede observar la presión con la que llega el gas a la puerta de San Antonio y en donde la tubería pasa de ser de dos pulgadas a ser de una pulgada para la línea troncal del centro poblado, también se muestra al lado izquierdo de esta figura el perfil de declinación de la presión a lo largo de los 5000 m de tubería y las cuatro válvulas de seccionamiento.

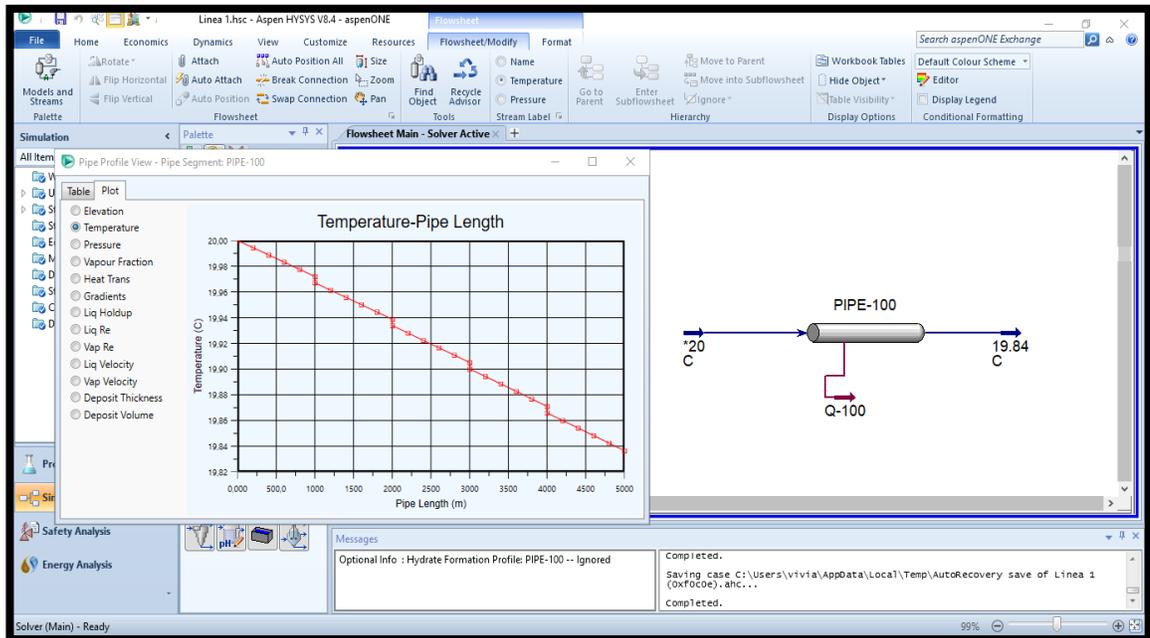
Como se puede observar el gas inicia en Anapoima con una presión de 515 Kpa (74,7 Psia) y la presión con la que llega el fluido a San Antonio es de 485,5 Kpa (70,416 Psia); esto indica una caída de presión de 4,27 Psia debido a longitud, fricción y accesorios en este caso válvulas de bola.

En la **Figura 23** se muestra la temperatura con la cual llega el gas a San Antonio, a pesar de ser un sistema adiabático por tratarse de tubería enterrada durante los 5000 m se pierde 0,16 °C que no es un valor apreciable pero igual se debe tener en cuenta para garantizar el rendimiento del gas.

**Figura 22. Presión de salida en la línea principal y perfil de declinación**



**Figura 23. Temperatura de la línea principal**

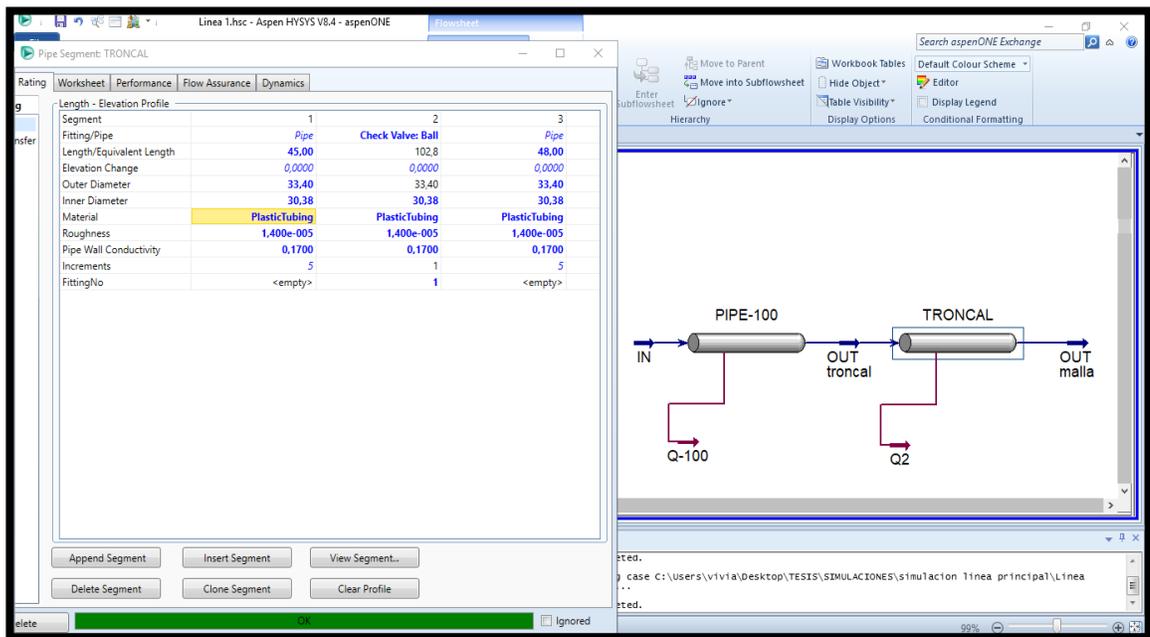


**4.2.2.2 Troncal hacia anillos de distribución.** Teniendo el valor de la presión a la cual llega el gas a las puertas de San Antonio se realiza la simulación de la troncal de tubería de 1", la cual hace entrega del gas natural a las mallas de distribución

que se encuentran conectadas en un circuito cerrado con tubería de ¾” y de las cuales se derivan las acometidas individuales con tubería de ½” para abastecer del servicio de gas natural a los habitantes de San Antonio.

Se ingresa tubería de 1” denominada TRONCAL por medio de una reducción de diámetro ya que pasa de ser tubería de 2” en la Línea Principal a ser tubería de 1” para la línea TRONCAL, inicialmente la Troncal tiene un tramo de 48 m, seguido de una Válvula Troncal y por ultimo un tramo de 45 m hasta llegar a la malla de distribución. Como se muestra en la **Figura 24** a la troncal ingresa el fluido que sale del tramo PIPE-100 (OUT troncal) y al final sales el fluido hacia los anillos de distribución (OUT malla).

**Figura 24. Propiedades y características de la línea Troncal de la red**



En la **Figura 25** y **Figura 26** se pueden observar las condiciones de presión y temperatura a las cuales entra y sale el fluido al tramo de tubería denominada TRONCAL y de la cual posteriormente sale el gas para ingresar a las mallas. Al igual que en las figuras anteriormente mostradas, al lado derecho se muestra gráficamente la tubería y los valores de entrada y salida de la presión y de la temperatura, al lado izquierdo se pueden observar los perfiles de declinación de estas dos variables.

Figura 25. Presión de la línea TRONCAL

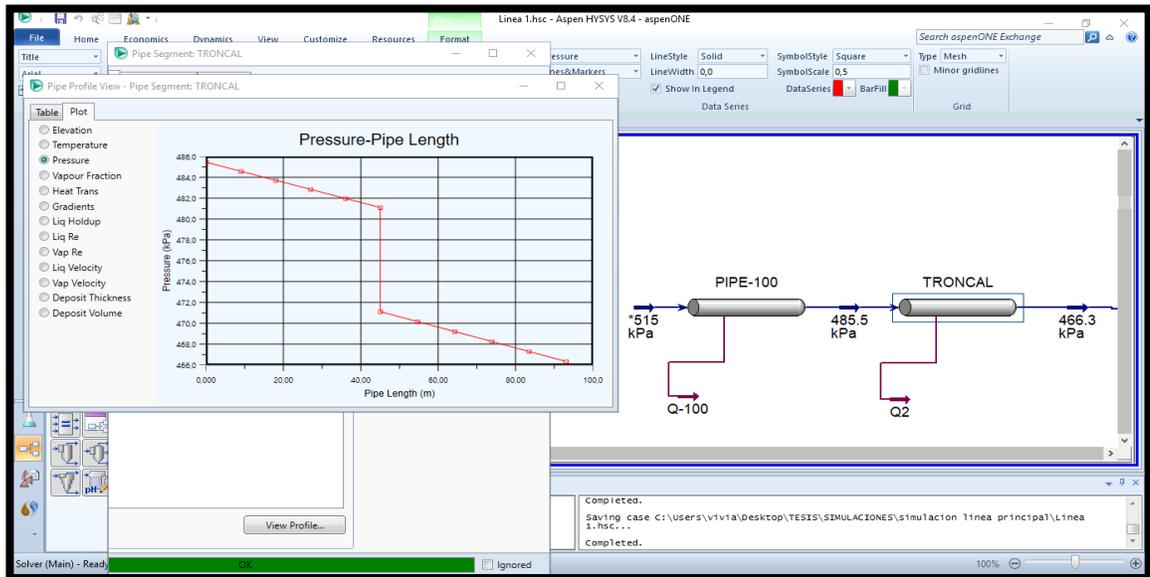
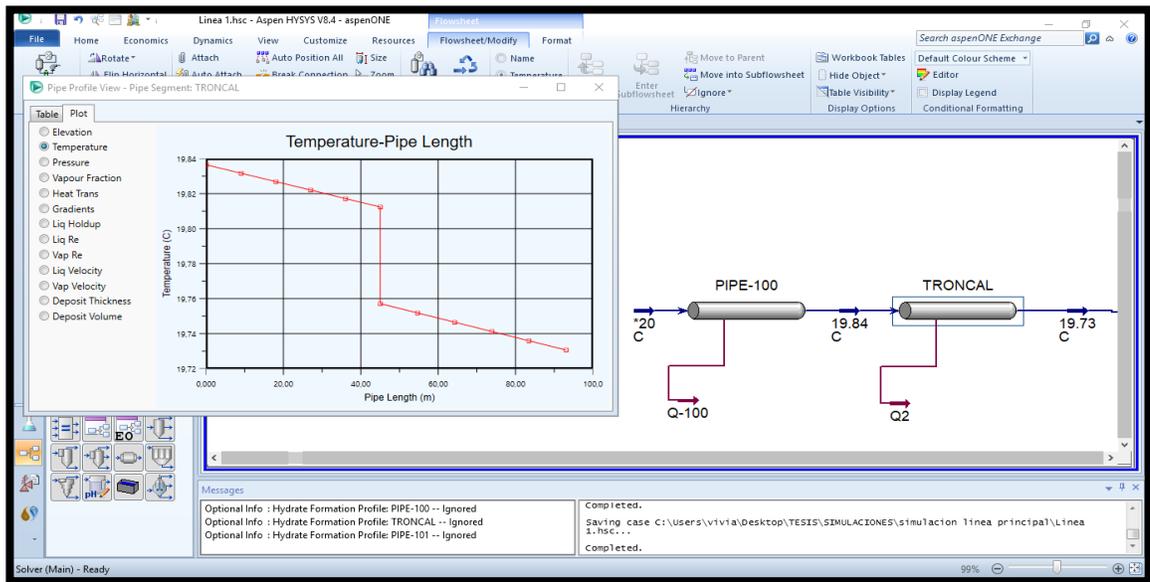
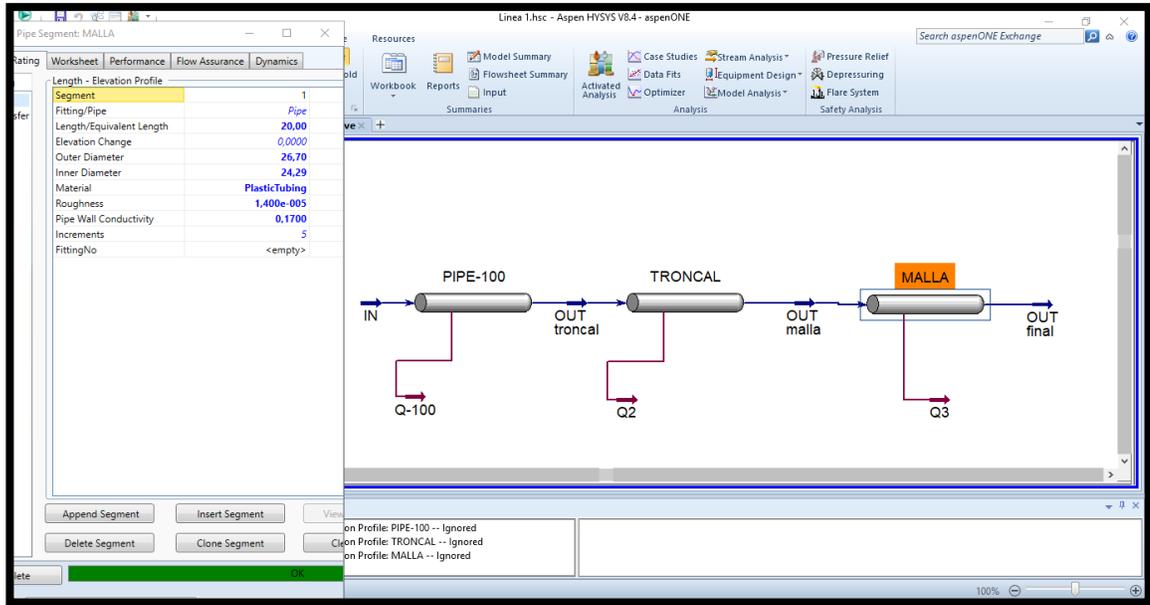


Figura 26. Temperatura de la línea TRONCAL



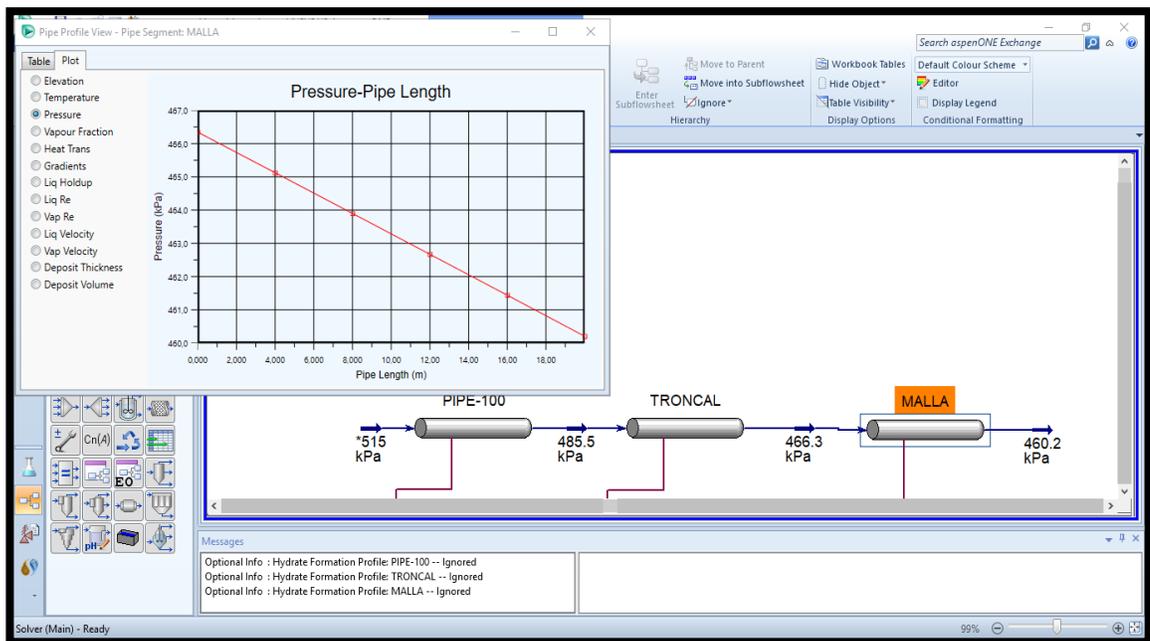
Determinando las condiciones de salida del fluido de la troncal hacia los anillos de distribución se procede a ingresar un tramo de la malla (ver **Figura 27**) con tubería de  $\frac{3}{4}$ " por medio de una reducción para finalmente determinar la presión y temperatura a la cual llega el gas natural a los anillos y posteriormente a las viviendas. Se ingresó un tramo de 20 m dentro de la malla para determinar la presión y temperatura del fluido dentro de los anillos con el cambio de diámetro.

**Figura 27. Propiedades y características de un tramo de los anillos de distribución**

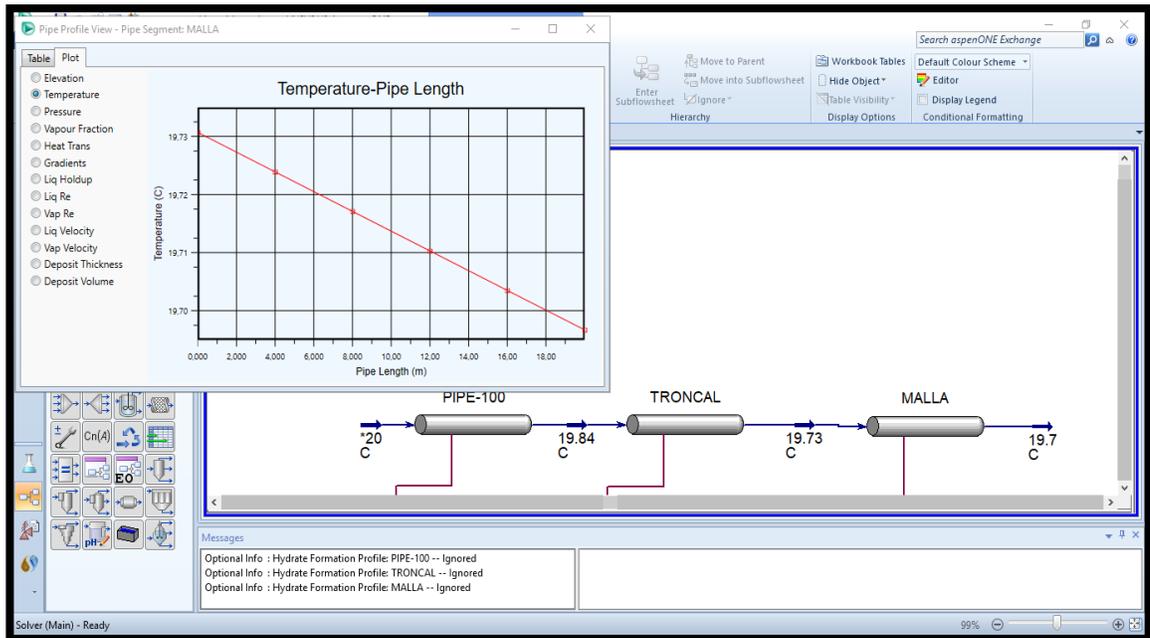


En la **Figura 28** y **Figura 29** se muestran los valores de presión y temperatura a los cuales se encuentra el gas dentro de los anillos de distribución, del mismo modo se pueden observar los perfiles de declinación de presión y temperatura.

**Figura 28. Presión en la MALLA**



**Figura 29. Temperatura en la MALLA**



Finalmente se comprobó que el fluido por ser gas natural no genera grandes caídas de presión en la red de distribución y que no supera la MPOP (101,5 Psig), en la **Tabla 13** se muestran los valores de entrada y salida de presión y temperatura para cada uno de los tramos de la red de distribución, al igual que la caída que se genera para estas dos variables

**Tabla 13. Valores de presión y temperatura en la red de distribución**

|                        | PRESIÓN (Psia) |        |            | TEMPERATURA (°C) |        |            |
|------------------------|----------------|--------|------------|------------------|--------|------------|
|                        | Entrada        | Salida | $\Delta P$ | Entrada          | Salida | $\Delta T$ |
| <b>Línea Principal</b> | 74,7           | 70,416 | 4,284      | 20               | 19,84  | 0,16       |
| <b>Línea Troncal</b>   | 70,416         | 67,63  | 2,786      | 19,84            | 19,73  | 0,11       |
| <b>Malla</b>           | 67,63          | 66,74  | 0,89       | 19,73            | 19,7   | 0,03       |

Se puede observar que la caída de presión y temperatura de mayor valor se genera en la Línea principal ya que es una tubería de 5000 m con diámetro de 2” y una reducción de 2” a 1”; en la Línea Troncal la caída de presión se reduce a la mitad ya que es un tramo de 93 m antes de llegar a los anillos de distribución con tubería de ¾” y una reducción de 1” a ¾”; por ultimo para ingresar a la malla se tiene una tubería de ¾” y se ingresa 20 m hacia adentro de la malla para determinar la presión dentro de los anillos y la caída de presión dentro de la malla es muy baja (0,89 Psia) al igual que la temperatura (0,03 °C).

## 5. ANÁLISIS FINANCIERO

El gas natural domiciliario ha sufrido una masificación en su uso debido a las múltiples ventajas que les brinda a sus usuarios sin embargo existen sectores del país que aún no cuentan con el servicio que es considerado como un beneficio para la población.

San Antonio es un centro poblado que se encuentra ubicado en el Municipio de Anapoima en el Departamento de Cundinamarca, donde actualmente no se cuenta con una red de distribución que abastezca de gas natural domiciliario a la población, por lo tanto los habitantes se ven obligados a usar otros combustibles para la cocción de los alimentos como lo son el Gas Licuado del Petróleo o más conocidos como los cilindros de GLP y la leña, los cuales no brinda las mismas ventajas que el gas natural. Con este proyecto se pretende realizar el diseño de la ampliación de la red de distribución de Gas Natural de Anapoima hasta el centro poblado.

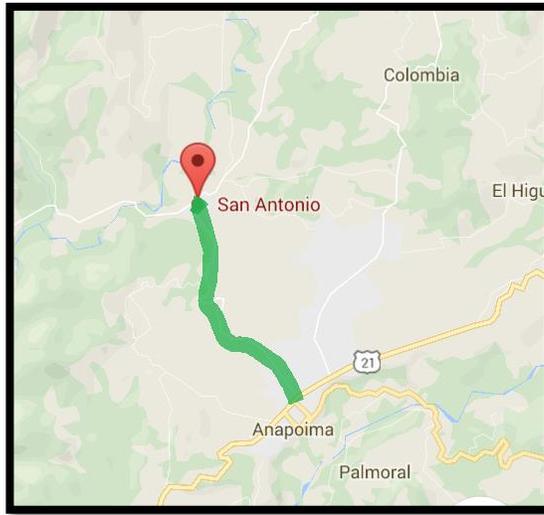
Con este proyecto se pretende realizar el diseño de la red de distribución de gas natural con el cual se abastecerán las viviendas del centro poblado San Antonio, actualmente existe una red de distribución de gas natural en el casco urbano de Anapoima así que se va a tomar un punto de esta red para realizar la ampliación hasta San Antonio, en ésta red se diseña todo lo relacionado con tuberías, accesorios, válvulas de paso, línea troncal, mallas de distribución y todo lo necesario para que el gas sea conducido desde el centro de regulación hasta los anillos que conforman la malla, el diseño no comprende la instalación interna de cada vivienda. Por medio de la simulación usando el software Aspen Hysys se va a garantizar que la presión de la red se mantenga dentro de los parámetros legales de Colombia y llegue a las viviendas del centro poblado de manera segura. En la red diseñada la tubería sigue un trayecto por espacios públicos, como lo son andenes, carreteras y linderos, lo cual hace que no sea necesario pedir derechos de servidumbre; si llegado el caso la Alcaldía decide llevar a cabo el proyecto ésta misma se encargará del trámite de los permisos y las licencias de construcción.

Para la evaluación financiera y determinación del costo total del proyecto, en éste capítulo se usa la Metodología del valor presente neto (VPN) como un indicador financiero, la unidad monetaria de valor corriente es el peso colombiano (COP) y para efectos del proyecto se maneja una Tasa de Interés de Oportunidad del 20% anual, ésta evaluación tiene un horizonte de trabajo de cinco meses con periodos mensuales. Adicionalmente se realizara un análisis de los costos de inversión del diseño realizado por los autores.

Dado que el proyecto se presenta como una inversión social, éste no genera ganancias para el municipio; tiene como fin el bienestar y desarrollo de los habitantes del sector y así mismo del Municipio de Anapoima.

A continuación en la **Figura 30** se puede observar el área de interés del proyecto:

**Figura 30. Ruta Anapoima-San Antonio**



## 5.1 ANÁLISIS DE COSTOS DE INVERSIÓN

Los costos de inversión también llamados costos pre-operativos, son aquellos los cuales incurren en la adquisición de los activos necesarios para poner el proyecto en funcionamiento. <sup>2</sup>

Para el análisis de costos del proyecto, como se mencionó anteriormente éste tiene un horizonte de trabajo de cinco meses, los cuales se clasificaron como cinco fases, en ésta fases se van a realizar las actividades de desarrollo y puesta en marcha de la red de gas natural.

---

<sup>2</sup> Sitio web de la Universidad ESAN {online} Disponible en URL <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2016/06/costos-de-inversion-y-de-operacion-en-la-formulacion-de-un-proyecto/>

**Tabla 14. Periodo uno**

| ACTIVIDAD  | COSTO UNITARIO (COP) | CANTIDAD | COSTO TOTAL (COP) |
|--|----------------------|----------|-------------------|
| 5500 metros de tubería de 2"   | 700.000              | 46       | 32.200.000        |
| Poliválvula 2"   | 55.000               | 7        | 385.000           |
| Obra básica, excavación de 2500m en material común a cielo abierto con profundidad | 1.621                | 2.500    | 4.052.500         |
| Tape y compactación con material proveniente de la excavación                      | 1.791                | 2.500    | 4.477.500         |
| Instalación de tubería para diámetro de 2" 2500m                                   | 1.900                | 2.500    | 4.750.000         |
| Construcción de caja para poliválvulas en mampostería                              | 157.318              | 4        | 629.272           |
| Alquiler equipo termofusión  | 1.500.000            | 2        | 3.000.000         |
| Tapón ½"   | 7.184                | 463      | 3.326.192         |
| Union ¾"   | 17.850               | 34       | 606.900           |
| Union 2"   | 28.000               | 47       | 1.316.000         |
| Union 1"   | 21.480               | 8        | 171.840           |
| Módulo de gas comprimido   | 9.000.000            | 1        | 9.000.000         |
| <b>TOTAL</b>   |                      |          | <b>63.915.204</b> |

**Fuente:** Gas Natural Fenosa, Atinfer., Extrucol.

**Tabla 15. Periodo dos**

| ACTIVIDAD  | COSTO UNITARIO | CANTIDAD | COSTO TOTAL       |
|--|----------------|----------|-------------------|
| Obra básica, excavación de 3000m en material común a cielo abierto | 1.621          | 3.000    | 4.863.000         |
| Tape y compactación con material proveniente de la excavación      | 1.791          | 3.000    | 5.373.000         |
| Instalación de tubería para diámetro de 2" 3000m                   | 1.900          | 3.000    | 5.700.000         |
| tubería de 1" (rollos de 150m c/u)                                 | 605.115        | 5        | 3.025.575         |
| Tubería de 3/4" (rollos de 150m c/u)                               | 417.690        | 32       | 13.366.080        |
| Poliválvula 1 "  | 37.000         | 5        | 185.000           |
| Reducción de 1" a 3/4"   | 8.128          | 3        | 24.384            |
| Reducción de 2" a 1"   | 12.380         | 2        | 24.760            |
| Reducción de 3/4" a 1/2"   | 4.760          | 450      | 2.142.000         |
| Prueba neumática y gasificación de tubería para diámetro de 2"     | 900            | 6.875    | 6.187.500         |
| Tee 3/4"   | 1.954          | 25       | 48.850            |
| <b>TOTAL</b>   |                |          | <b>40.940.149</b> |

**Fuente:** Gas Natural Fenosa, Atinfer, Extrucol.

**Tabla 16. Periodo tres**

| ACTIVIDAD  | COSTO UNITARIO | CANTIDAD | COSTO TOTAL       |
|--|----------------|----------|-------------------|
| Tubería de 1/2" (rollos de 150m c/u)                             | 227.359        | 4        | 909.436           |
| Poliválvulas 3/4"  | 22.000         | 7        | 154.000           |
| Construcción de caja para poliválvulas en mampostería            | 157.318        | 8        | 1.258.544         |
| Obra básica, excavación en material común a cielo abierto        | 1.621          | 9.900    | 16.047.900        |
| Instalación de tubería para diámetro de 3/4"                     | 1.717          | 1.445    | 2.481.065         |
| Instalación de tubería para diámetro de 1/2"                     | 1.300          | 125      | 162.500           |
| Instalación de tubería para diámetro de 1"                       | 1.400          | 713      | 998.200           |
| Tape y compactación con material proveniente de la excavación    | 1.791          | 720      | 1.289.520         |
| Reposición en concreto de una resistencia de 2500 PSI            | 27.410         | 1.890    | 51.804.900        |
| Prueba neumática y gasificación de tubería para diámetro de 3/4" | 613            | 1.445    | 885.785           |
| Prueba neumática y gasificación de tubería para diámetro de 1/2" | 700            | 125      | 87.500            |
| Prueba neumática y gasificación de tubería para diámetro de 1"   | 800            | 713      | 570.400           |
| <b>TOTAL</b>   |                |          | <b>76.649.750</b> |

Fuente: Gas Natural Fenosa, Atinifer, Extrucol.

**Tabla 17. Periodo cuatro**

| ACTIVIDAD  | COSTO UNITARIO | CANTIDAD | COSTO TOTAL       |
|--|----------------|----------|-------------------|
| Obra básica, excavación en material común a cielo abierto        | 1.621          | 870      | 1.410.270         |
| Instalación de tubería para diámetro de 3/4"                     | 1.717          | 2.408    | 4.134.536         |
| Instalación de tubería para diámetro de 1/2"                     | 1.300          | 213      | 276.900           |
| Prueba neumática y gasificación de tubería para diámetro de 3/4" | 613            | 2.408    | 1.476.104         |
| Prueba neumática y gasificación de tubería para diámetro de 1/2" | 700            | 213      | 149.100           |
| Reposición en concreto de una resistencia de 2500 PSI            | 27.410         | 870      | 23.846.700        |
| <b>TOTAL</b>   |                |          | <b>31.293.610</b> |

Fuente: Gas Natural Fenosa, Atinifer, Extrucol.

**Tabla 18. Periodo cinco**

| ACTIVIDAD   | COSTO UNITARIO | CANTIDAD     | COSTO TOTAL       |
|---|----------------|--------------|-------------------|
| Obra básica, excavación en material común a cielo abierto con profundidad de 70cm | 1.621          | 1.290        | 2.091.090         |
| Instalación de tubería para diámetro de 3/4"                                      | 1.717          | 770          | 1.322.090         |
| Instalación de tubería para diámetro de 1/2"                                      | 1.300          | 113          | 146.900           |
| Tape y compactación con material proveniente de la excavación                     | 1.791          | 840          | 1.504.440         |
| Rotura y retiro de escombro en cualquier material                                 | 18.749         | 1.063        | 19.930.187        |
| Prueba neumática y gasificación de tubería para diámetro de 3/4"                  | 613            | 963          | 590.319           |
| Prueba neumática y gasificación de tubería para diámetro de 1/2"                  | 700            | 113          | 79.100            |
| Reposición en tableta o adoquin   | 40.367         | 450          | 18.165.150        |
|   |                | <b>TOTAL</b> | <b>43.829.276</b> |

**Fuente:** Gas Natural Fenosa, Atinfer, Extrucol.

A continuación se presenta la **Tabla 19** en la cual se pueden observar los costos de inversión del proyecto.

**Tabla 19. Costos de Inversión**

| PERIODO | DESCRIPCIÓN   | COP        |
|---------|---------------|------------|
| 1       | <b>Fase 1</b> | 63.915.204 |
| 2       | <b>Fase 2</b> | 40.940.149 |
| 3       | <b>Fase 3</b> | 76.649.750 |
| 4       | <b>Fase 4</b> | 31.293.610 |
| 5       | <b>Fase 5</b> | 43.829.276 |

## 5.2 EVALUACIÓN FINANCIERA

Para realizar esta evaluación y determinar la viabilidad financiera del proyecto se utiliza la Metodología del Valor Presente Neto (VPN).

**5.2.1 El Valor Presente Neto (VPN).** Se define como aquel indicador que expresa en pesos de hoy tanto los ingresos futuros como los egresos futuros, lo cual facilita la decisión desde el punto de vista financiero, de realizar o no un proyecto”<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> BACA C., Guillermo. Ingeniería Económica. Bogotá D.C.: Fondo educativo panamericano, 2000. P.197

El VPN es el promedio ponderado de los flujos de efectivo para un proyecto de inversión, este indicador trae a pesos de hoy los egresos e ingresos futuros que genera el proyecto, define si el proyecto es atractivo para el inversionista; se hace la evaluación usando la tasa de interés de oportunidad (TIO).

### Ecuación 5. Valor Presente Neto

$$VPN(i) = \sum F_n(1+i)^{-n} = F_0 + F_1(1+i)^{-1} + F_2(1+i)^{-2} + \dots + F_n(1+i)^{-n}$$

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

Dónde:

VPN: Valor Presente Neto.

F: Flujo Neto de Caja.

$i$  : Tasa de Interés de Oportunidad.

n: Periodo

Teniendo en cuenta que se utiliza la Metodología del Valor Presente Neto VPN su resultado se interpreta como a pesos de hoy cuánto cuesta el proyecto.

**5.2.2 Tasa Interés de Oportunidad (TIO).** Está definida como “la tasa de interés más alta que un inversionista sacrifica con el objeto de realizar un proyecto”<sup>4</sup>. Para fines del proyecto la TIO es del 20% anual.

Hay que tener en cuenta que la TIO se tiene anual y para efectos del proyecto se necesita mensual, usamos la siguiente ecuación para convertirla en una tasa mensual equivalente.

### Ecuación 6. Tasa de Interés Equivalente

$$i_e = \sqrt[n]{(1+i)} - 1$$

---

<sup>4</sup> BACA C., Guillermo. Ingeniería Económica. Bogotá D.C.: Fondo educativo panamericano, 2000. P.197

Dónde:

$i_e$  = interés efectivo

$n$  = periodo

$i$  = interés periódico

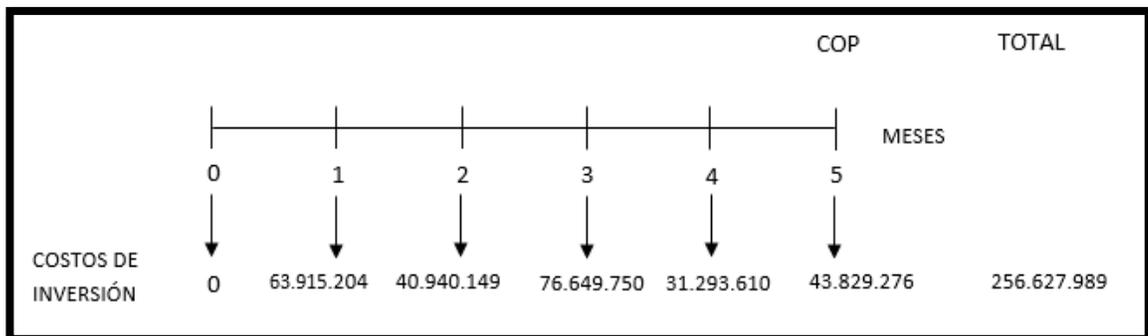
A continuación reemplazamos los datos en la **Ecuación 6** para así obtener la tasa equivalente mensual de la TIO.

$$i_e = \sqrt[12]{(1 + 0.20)} - 1$$

$$i_e = 0.015309$$

**5.2.3 Flujo de Caja.** El flujo de caja hace referencia a las salidas y entradas netas de dinero que tiene una empresa o proyecto en un período determinado. A continuación se muestra el flujo de caja del proyecto:

**Figura 31. Flujo de Caja**



$$VPN(0.015309)$$

$$\begin{aligned} &= 0 - 63.915.204 * (1 + 0.015309)^{-1} - 40.940.149 * (1 + 0.015309)^{-2} \\ &- 76.649.750 * (1 + 0.015309)^{-3} - 31.293.610 * (1 + 0.015309)^{-4} \\ &- 43.829.276 * (1 + 0.015309)^{-5} \\ &=-245.972.459 \end{aligned}$$

### 5.3 CONCLUSIÓN DE LA EVALUACIÓN FINANCIERA

Desde el punto de vista financiero, el costo a pesos de hoy de la red de distribución de Gas Natural en el centro poblado San Antonio del Municipio de Anapoima, es COP 245.972.459; este es el valor que tendría que tener la Alcaldía Municipal de

Anapoima para realizar la instalación de la red de distribución de gas y el resultado del VPN es negativo debido a que es un proyecto de inversión social sin generación de ingresos.

## 6. CONCLUSIONES

- La falta del servicio de Gas Natural domiciliario en San Antonio es debido a que la Alcaldía Municipal de Anapoima no invierte en proyectos de interés social para el desarrollo de pequeños territorios como lo es el centro poblado, es por ello que tampoco cuenta con el servicio de agua las 24 horas del día.
- De las encuestas realizadas se obtuvo que el 97% (184 viviendas) de los encuestados están muy interesados en adquirir el servicio de Gas Natural domiciliario porque conocen sus ventajas, seguridad y economía ya que el gasto mensual supera los \$50.000 en compra de GLP.
- La red de gas queda conformada por 5000 m de tubería de 2" en la línea principal; para la troncal con tubería es de 1", para los anillos tubería de  $\frac{3}{4}$ " y para las acometidas individuales tubería  $\frac{1}{2}$ " de tipo polietileno (PE 80) lo anterior evidencia que se cumplen con las especificaciones de la norma NTC 1726;
- Teniendo en cuenta que el consumo del gas natural para San Antonio es únicamente para la cocción de alimentos, se determina que la red va a operar con un caudal de  $530 \frac{m^3}{dia}$  que irá a 60 Psi y 20°C y con esto se garantiza suministro de gas natural al centro poblado.
- Los resultados de la simulación en Aspen Hysys muestran que las pérdidas de presión están relacionada con la longitud y reducción de diámetro de la tubería porque la mayor pérdida se ve en la línea principal ya que es la de mayor longitud; porque cuando ingresa a la troncal la caída de presión se reduce a la mitad de la primera caída y cuando ingresa a la malla la caída se reduce a 1/3 de la anterior.
- La red sufre una disminución en la temperatura inferior a los 0,2°C, lo cual hace referencia a un *sistema* adiabático.
- Desde el punto de vista financiero, el costo de la red de distribución de gas natural diseñada, en pesos de hoy COP 131.508.847, este es el dinero que debe tener la Alcaldía de Anapoima para instalar la red de distribución de gas natural, como inversión social.

## **7. RECOMENDACIONES**

- No instalar la tubería que se encuentra en línea punteado ya que no hay edificaciones para el cual se pueda prestar el servicio de gas natural, teniendo en cuenta que en el futuro habrán posibles usuarios
- Realizar una ampliación de la red de distribución hacia poblados cercanos a San Antonio, como San Agustín ya que no cuenta con el servicio de gas natural.
- Realizar las acometidas internas de la vivienda para el suministro de gas natural teniendo en cuenta la norma NTC 2505.

## BIBLIOGRAFIA

Alcaldía Municipal de Anapoima Cundinamarca. {online} Available: <http://www.anapoima-cundinamarca.gov.co/index.shtml>

BACA C., Guillermo. "Ingeniería Económica", Fondo Educativo Panamericano. Ed. Educativa. Octava edición, Bogotá D.C., 2000.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de grado de investigación. NTC 1486. Bogotá D.C.: Instituto colombiano de normas técnicas y certificación, 2008. 1-36 p.

\_\_\_\_\_. Referencias bibliográficas. Contenido, forma y estructura. NTC 5613. Bogotá D.C.: INCONTEC, 2008.

\_\_\_\_\_. Gasoductos, presiones de operación permisibles para el transporte, distribución y suministro de gases combustibles. NTC 3838. Bogotá D.C.: INCONTEC, 2007.

\_\_\_\_\_. Instalaciones para suministro de gas combustible destinadas a usos residenciales y comerciales. NTC 2505, Cuarta actualización. Bogotá D.C.: INCONTEC, 2006.

\_\_\_\_\_. Gasoductos, líneas de transporte y redes de distribución de gas. NTC 3728, Cuarta actualización. Bogotá D.C.: INCONTEC, 2006.

\_\_\_\_\_. Plásticos tubos y accesorios termoplásticos para conducción de gases a presión. NTC 1746. Bogotá D.C.: INCONTEC, 1999.

\_\_\_\_\_. Referencias documentales para fuentes de información electrónicas. NTC 4490. Bogotá D.C.: INCONTEC, 1998.

Manual Técnico Tubosistemas Conducción de gas, PAVCO, Bogotá D.C, Colombia, 2014.

Unidad de Planeación Minero Energética, "Caracterización energética de los sectores residencial, comercial y terciario", Ministerio de Minas y Energía, Bogotá D.C, 2007.

## **ANEXOS**

**ANEXO A.  
GASODUCTO URBANO DE GAS NATURAL COLOMBIA MUNICIPIO DE  
ANAPOIMA. (Ver en CD-ROM)**

**ANEXO B.**  
**RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL PARA CENTRO POBLADO SAN**  
**ANTONIO. (Ver en CD-ROM)**

**ANEXO C.  
DON'T GAMBLE WITH PHYSICAL PROPERTIES FOR SIMULATIONS. (Ver en  
CD-ROM)**

|  |  |              |
|--|--|--------------|
| <br>Fundación<br>Universidad de América | FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA   | Código:      |
|  | PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA   | Versión 0    |
|  | Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres | Julio - 2016 |

## AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES

Nosotras **Melissa Cabrera Beltrán** y **Angie Viviana Martínez Hernández** en calidad de titulares de la obra "Diseño de la ampliación de la red de distribución de gas natural en el centro poblado San Antonio de Anapoima", elaborada en el año 2016, autorizamos al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que nos corresponden y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autores manifestamos conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autores establecemos las siguientes condiciones de uso de nuestra obra de acuerdo con la **licencia Creative Commons** que se señala a continuación:

|  |  |              |
|--|--|--------------|
| <br>Fundación<br>Universidad de América | FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA   | Código:      |
|  | PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA   | Versión 0    |
|  | Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres | Julio - 2016 |

|   |  |                                     |
|---|--|-------------------------------------|
|  | Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.   | <input type="checkbox"/>            |
|  | Atribución – no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.  | <input checked="" type="checkbox"/> |
|  | Atribución – no comercial – compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma. | <input type="checkbox"/>            |

Licencias completas: [http://co.creativecommons.org/?page\\_id=13](http://co.creativecommons.org/?page_id=13)

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a sus autores.

De igual forma como autores autorizamos la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

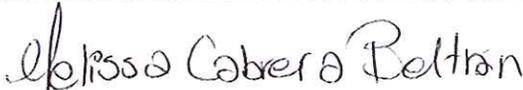
| AUTORIZAMOS   | SI | NO |
|---|----|----|
| La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso    | X  |    |
| La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación | X  |    |

| Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso. | SI | NO |
|---|----|----|
|   |    | X  |

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá, a los 27 días del mes de Octubre del año 2017.

#### LOS AUTORES:

##### Autor 1

|                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| <b>Nombres</b>                        | <b>Apellidos</b>   |
| Melissa                               | Cabrera Beltrán  |
| <b>Documento de identificación No</b> | <b>Firma</b>   |
| 1026281884                            |  |

|                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| <b>Nombres</b>                        | <b>Apellidos</b>   |
| Angie Viviana                         | Martínez Hernández   |
| <b>Documento de identificación No</b> | <b>Firma</b>   |
| 1010219932                            |  |