

**DISEÑO Y ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE UN SISTEMA DE
SUMINISTRO DE GAS NATURAL A LA COMUNIDAD ALEDAÑA AL EPF
RECETOR DEL MUNICIPIO DE AGUAZUL (CASANARE)**

**GINA XIOMARA CASTRILLON RODRIGUEZ
PEDRO CASTRO CARRERO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA DEL GAS
BUCARAMANGA**

2013

**DISEÑO Y ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE UN SISTEMA DE
SUMINISTRO DE GAS NATURAL A LA COMUNIDAD ALEDAÑA AL EPF
RECETOR DEL MUNICIPIO DE AGUAZUL (CASANARE)**

**GINA XIOMARA CASTRILLON RODRIGUEZ
PEDRO CASTRO CARRERO**

**Monografía para Optar al Título de
Especialista en Ingeniería del Gas**

**Director
MS.c NICOLAS SANTOS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA DEL GAS
BUCARAMANGA**

2013

Dedicatoria:

A Dios, por su infinito amor.

A mi familia, por su apoyo incondicional y por ser la motivación para emprender todos los proyectos.

Gina Xiomara

Dedicatoria:

Doy gracias a Dios por haberme dado la sabiduría para lograr esta meta tan importante para mi vida.

A mi familia, por ser el principal baluarte que me apoyan y me impulsan para salir adelante de manera incondicional.

De igual manera agradezco al Ing.: EDGAR CASTELBLANCO VARGAS a la empresa EQUION ENERGIA LTDA quienes me apoyaron incondicionalmente con los recursos para lograr este triunfo.

Pedro

Agradecimientos:

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos a:

Nicolás Santos Santos, M. Sc. Ingeniero de Petróleos y Director de la monografía, por sus enseñanzas y valiosa colaboración.

Escuela de Ingeniería de Petróleos, a todo el personal docente de la especialización por los conocimientos y experiencias compartidas. Al personal administrativo por su apoyo en todo momento.

Agradecimiento a EQUION ENERGIA LTDA quien nos permitió la elaboración de nuestra monografía basada en suministro de información que fue de gran importancia para nuestro proyecto.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	14
ALCANCE	15
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
OBJETIVO GENERAL	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO	17
1.1 Condiciones Del Sitio	17
1.2 CÁlculo De Caudal	18
1.3 Caracterización Del Gas.....	21
1.4 Software usado en la simulación	22
1.5 Ecuación de estado usada en la simulación.....	22
1.6 Ecuación usada para cálculos hidráulicos	22
1.7 Criterios para el dimensionamiento de líneas.....	23
2. PROPUESTA GENERAL DEL DISEÑO	25
2.1 Evaluación técnica de necesidad de tratamiento del gas	25
2.2 Sistema de Acondicionamiento del gas.....	28
2.2.1 Calentamiento	30
2.2.2 Regulación	31
2.2.3 Separación	31

2.2.4 Medición	32
2.2.5 Odorización	32
2.2.6 Determinación De Diámetro De Líneas Dentro De La Planta.....	32
2.3 Sistema de Distribución.....	33
2.3.1 Datos de entrada al simulador	36
3. Evaluación económica del proyecto.....	40
3.1 VALOR DE LA INVERSIÓN	40
conclusiones	45
BIBLIOGRAFIA	46
ANEXOS	47

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1.Localización geográfica del municipio de Aguazul.	18
Figura 2.Diagrama de fases gas Recetor.	25
Figura 3. Diagrama de fases gas Recetor.	27
Figura 4. Diagrama de bloques sistema de adecuación del gas.	30
Figura 5.Simulación Del Proceso.	33
Figura 6.Ubicación geográfica veredas Plan brisas, Cunama, Retiro, Volcán blanco, Florida y Charte.	35
Figura 7.Modelo geográfico de la red de distribución.	35
Figura 8. Modelo esquemático de la red de distribución.	36
Figura 9. Resultados simulación.	39

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Condiciones climáticas del sitio.....	17
Tabla 2. Proyección de población por veredas.....	19
Tabla 3. Caudales para diseño de la red de distribución.....	20
Tabla 4. Cromatografía del gas.....	21
Tabla 5. Características del gas.....	21
Tabla 6. Dimensionamiento de Líneas.....	23
Tabla 7. Velocidad Erosional.....	24
Tabla 8. Temperatura de formación de hidratos y condensación.....	26
Tabla 9. Cálculo del scrubber.....	31
Tabla 10. Distancias tramos red de distribución.....	36
Tabla 11. Flujos de diseño red de distribución.....	37
Tabla 12. Resultados Simulación.....	38
Tabla 13. Cantidad de materiales en city gate y la canalización de la tubería de polietileno (PE80). Zona verde.....	40
Tabla 14. Costo total del proyecto.....	44

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A- Diagrama De Flujo De Proceso Adecuación Y Distribución De Gas Natural.....	47
ANEXO B - Diagrama De Tubería E Instrumentación Sistema De Adecuación Del Gas.....	48
ANEXO C– Trazados Detallados De La Red De Distribución	49
ANEXO D – Resultados Detallados Evaluación Hidráulica Red De Distribución	52

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO Y ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE UN SISTEMA DE SUMINISTRO DE GAS NATURAL A LA COMUNIDAD ALEDAÑA AL EPF RECETOR DEL MUNICIPIO DE AGUAZUL (CASANARE).♦

AUTOR: GINA XIOMARA CASTRILLÓN R.
PEDRO CASTRO CARRERO♦♦

PALABRAS CLAVES: Gas natural, red de distribución, ozonización

DESCRIPCIÓN

En este documento se desarrolla el diseño conceptual de una red de distribución de gas natural para las veredas Plan Brisas, Cunama, Florida, Volcán Blanco, Retiro y Charte, teniendo en cuenta que actualmente estas veredas suplen sus requerimientos energéticos por medio de gas propano y/o leña. Para llevar el gas natural a nivel domiciliario, es necesario adecuarlo por medio de algunos procesos como son calentamiento, regulación, separación, medición y odorización. Adicionalmente se realizó una evaluación económica con el fin de determinar la factibilidad de la realización de la red de distribución, teniendo en cuenta que la población beneficiaria no cuenta con un gran número de habitantes.

La propuesta de esta monografía genera un mejoramiento en la calidad de vida de las personas de las veredas Plan Brisas, Cunama, Florida, Volcán Blanco, Retiro y Charte, puesto que el gas natural es más económico y seguro que el gas propano, contribuyendo así al desarrollo y progreso de esta comunidad.

Como ayudas tecnológicas para la realización de la monografía se usaron los software HYSYS V 7.3, PIIPHASE V 7.1 y ArcGIS. El primero como herramienta para desarrollo del diagrama de fases del gas y simulación del proceso de adecuación del gas. El segundo, para la evaluación hidráulica de la red de distribución, y por medio del tercero se determinó el trazado de la red.

♦ Monografía

♦♦ Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Especialización en Ingeniería del Gas. Director: Nicolás Santos.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND ECONOMIC EVALUATION OF A GAS NATURAL SUPPLY TO THE EPF RECETOR SURROUNDING COMMUNITY, CITY AGUAZUL (CASANARE).[♦]

AUTHOR: GINA XIOMARA CASTRILLÓN R.
PEDRO CASTRO CARRERO^{♦♦}

KEY WORDS: Natural Gas, distribution network, odorant

DESCRIPTION

In this paper develops the conceptual desing of a network of natural gas distribution them to Plan Brisas, Cunama, Florida, Volcán Blanco, Retiro y Charte villages. given that these paths currently supplement their energy requirements through propane gas / or firewood. To bring natural gas to household level, it is necessary to adapt through some processes such as heating, regulation, separation, measurement and odorant. Additionally, an economic a evaluation was conducted in order to determine the feasibility of carrying out the distribution network, given that the target people does not have a large population.

The proposal of this paper generates an improvement in the quality of life of people from Plan Brisas, Cunama, Florida, Volcan Blanco, Retiro and Charte villages, since natural gas is cheaper and safer than propane, thereby the development and progress of this community.

As technological aids for the realization of the monograph were used HYSYS software V 7.3, PIIPHASE software V 7.1 and ArcGIS software. The first as a tool for developing the phase diagram of the simulation of the process gas and gas adequacy. The second, for the hydraulic evaluation of the distribution network, and a through the third determined the layout of the network.

[♦] Grade tesis

^{♦♦} Physicochemical Engineering Faculty. Gas Engineering Specialization. Directed by Nicholas Santos.

INTRODUCCIÓN

Desde inicios de la década de los 90's, la política energética tuvo como uno de sus objetivos la masificación del consumo de gas en el interior del país. En 1991 se aprobó el Programa para la Masificación de Consumo de Gas, orientado a impulsar el gas natural como sustituto de energéticos de alto costo, poniendo también en consideración las ventajas ambientales de ésta fuente de energía.

Actualmente en Colombia, se presta el servicio de gas natural a cerca de tres millones ochocientos ochenta y tres mil usuarios (3'883.000), en cuatrocientos siete municipios (407), por medio de un sistema de transporte de gas de 3882 Km, de los cuales 98.4 % se ubican en el sector residencial, 1.5 % en el sector comercial y 0.07% en el sector industrial.

Sin embargo, a pesar de lo anterior, hay zonas del país que no son atractivas para la actividad de distribución de gas natural, ya que se encuentran muy apartadas de la red nacional de gasoductos y su demanda es poca. Este es el caso de las veredas Plan Brisas, Cunama, Florida, Volcán Blanco, Retiro y Charte, adscritas al municipio de Aguazul, Casanare, que a pesar de estar ubicadas a pocos kilómetros de centros de explotación y producción de crudo y gas natural (EPF Recetor), aún continúan supliendo sus necesidades de combustible por medio de gas propano en pipetas, el cual es menos seguro y más costoso, comparado con el gas natural.

En el EPF Recetor, el gas "sobrante" no es usado para ninguna actividad, y actualmente se queman 0.10 MMSCFD. De esta cantidad de gas se puede tomar una parte, y dada la cercanía de estas veredas, realizar una red de distribución domiciliaria, con la cual se puede contribuir a mejorar la calidad de vida de la comunidad, a la vez que para la empresa propietaria del campo es un valor agregado su aporte en otros aspectos tales como los sociales y de relaciones con las comunidades aledañas.

Esta monografía se enfocará en desarrollar un diseño para la red de gas domiciliaria para las veredas Plan Brisas, Cunama, Florida, Volcán Blanco, Retiro y Charte, y realizar una estimación de costos para el desarrollo de este proyecto.

ALCANCE

Diseño y estudio de factibilidad económica para suministrar gas natural a la comunidad aledaña al EPF Recetor del municipio de Aguazul (Casanare). Con el fin de suministrar el gas dentro de los lineamientos establecidos para su distribución a nivel domiciliario, se requiere adecuar el gas natural mediante sistemas de separación, medición, regulación de presión y odorización.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente los habitantes de la comunidad aledaña al EPF Recetor del municipio de Aguazul (Casanare) no tienen suministro de gas natural. Se pretende mejorar la calidad de vida de los habitantes de esta zona, y a la vez aprovechar el gas natural que no es consumido en el EPF Recetor, el cual actualmente es quemado.

OBJETIVO GENERAL

Realizar el diseño y el estudio de factibilidad económica del sistema de tratamiento y transporte para proveer gas natural a la comunidad aledaña al EPF Recetor del municipio de Aguazul (Casanare).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un sistema de tratamiento del gas natural del EPF Recetor que lo adecúe para distribución a nivel domiciliario.
- Diseñar un sistema de transporte para llevar el gas desde el EPF Recetor, hasta las veredas Plan Brisas, Cunama, Retiro, Volcán blanco, Florida y Charte.
- Plantear un sistema de distribución domiciliario para proveer gas a las viviendas de las veredas Plan brisas, Cunama, Retiro, Volcán blanco, Florida y Charte.
- Elaborar un diagrama de flujo de proceso, simulación de la planta en Hysys, diagramas de tubería e instrumentación.
- Realizar el estudio de factibilidad económica del diseño del sistema de suministro de gas natural, a la comunidad aledaña al EPF Recetor del municipio de Aguazul.

1. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO

1.1 CONDICIONES DEL SITIO

Las veredas Plan brisas, Cunama, Retiro, Volcán blanco, Florida y Charte se encuentran adscritas al municipio de Aguazul, Casanare. El municipio se encuentra ubicado en el departamento de Casanare al noroccidente de la región de la Orinoquía, abarca una franja de la cordillera oriental de los Andes. Se localiza en las siguientes coordenadas geográficas: 5° 10' 26'' de Latitud Norte con respecto al Ecuador y 72° 33'18'' de Longitud al Oeste del meridiano de Greenwich. Limita al norte con los municipios de Pajarito y Recetor al sur con Tauramena y Maní; al oriente con Yopal y al occidente con Tauramena y Recetor.

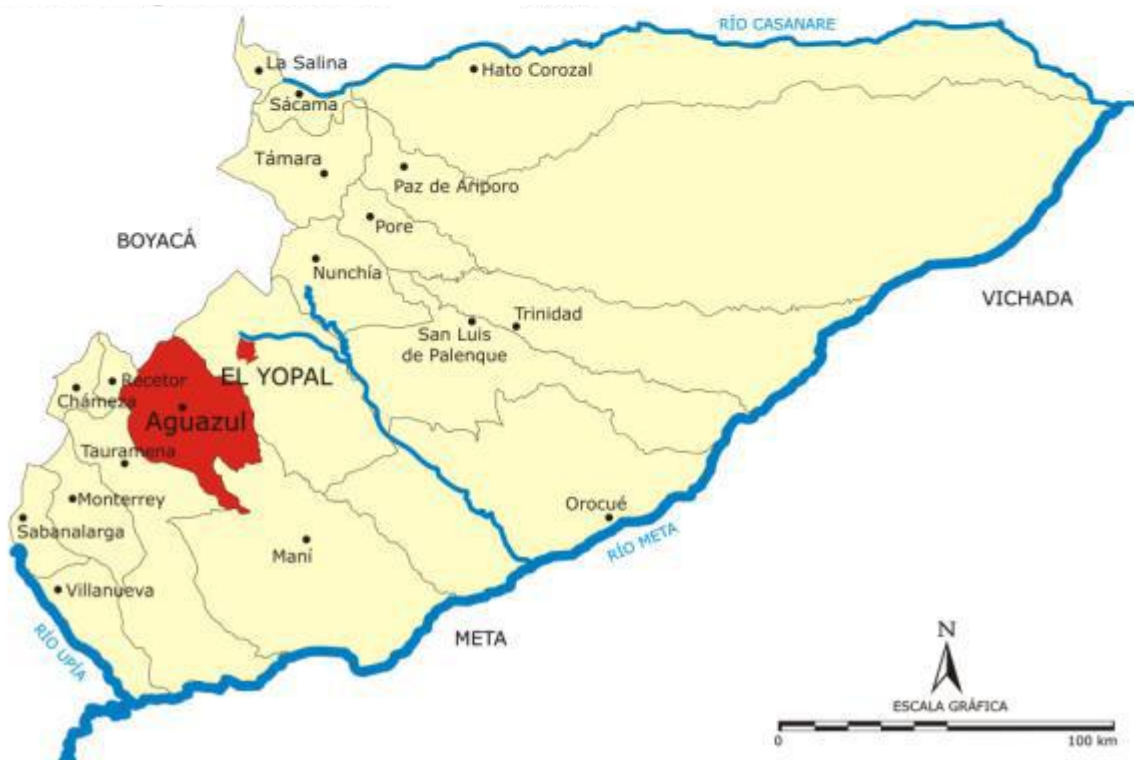
Las condiciones climáticas del sitio donde se plantea el desarrollo de la presente monografía se tomaron de las condiciones reportadas por el aeropuerto más cercano, aeropuerto El Alcaraván, de la ciudad de Yopal. (IDEAM, 2013)

Tabla 1. Condiciones climáticas del sitio.

VARIABLE	VALORES
Temperatura °C (°F)	Min: 21 (69.8)
	Nor: 26 (78.8)
	Max: 33 (91.4)
Humedad relativa	Min: 60 %
	Max: 84 %
Precipitación mm/año	2933

Fuente: IDEAM.

Figura 1. Localización geográfica del municipio de Aguazul.



Fuente: Sociedad Geográfica.

1.2 CÁLCULO DE CAUDAL

Con el fin de estimar el caudal de gas natural a suministrar, es decir, el caudal con el cual se va a realizar el diseño estipulado para esta monografía, son necesarios los datos de población de las veredas y el consumo promedio de gas por persona o por vivienda.

Para obtener los datos de población, se solicitaron en la alcaldía del municipio de Aguazul los datos oficiales de población y del número de viviendas para cada una de las veredas. La información suministrada fue con fecha de 2010. Con estos datos poblacionales se realizó una proyección de población a 20 años, tomando como base un crecimiento de la población del 4,79% anual, que corresponde al incremento de la población según el DANE. (Sociedad Geográfica, 2010).

Tabla 2. Proyección de población por veredas.

Habitantes	Plan	Volcán	Unión			
Año	Brisas	Blanco	Charte	Cunama	Florida	Retiro
2010	152	66	112	150	66	41
2011	159	69	117	157	69	43
2012	167	72	123	165	72	45
2013	175	76	129	173	76	47
2014	183	80	135	181	80	49
2015	192	83	142	190	83	52
2016	201	87	148	199	87	54
2017	211	92	155	208	92	57
2018	221	96	163	218	96	60
2019	232	101	171	229	101	62
2020	243	105	179	239	105	65
2021	254	110	187	251	110	69
2022	266	116	196	263	116	72
2023	279	121	206	276	121	75
2024	293	127	216	289	127	79
2025	307	133	226	303	133	83
2026	321	140	237	317	140	87
2027	337	146	248	332	146	91
2028	353	153	260	348	153	95
2029	370	161	272	365	161	100
2030	387	168	286	382	168	105

Fuente: El autor.

De acuerdo a las fuentes bibliográficas consultadas, el consumo promedio para un hogar en el cual vivan 4 personas, y cuyo único electrodoméstico que consuma gas sea una estufa, es de 16 m³/mes/hogar. Este fue el valor que se tomó para calcular el caudal de gas a suministrar. (Universidad Nacional, 2006)

Los caudales calculados se muestran a continuación:

Tabla 3. Caudales para diseño de la red de distribución.

Vereda	Viviendas	Consumo consolidado /Viviendas m3/mes	Consumo consolidado / Viviendas ft³/dia	Consumo consolidado / Viviendas MMSCFD
Plan Brisas	97	1549.888	1824	0.001824
Volcán Blanco	42	672.9778	792	0.000792
Unión Chartre	71	1142.023	1344	0.001344
Cunama	96	1529.495	1800	0.001800
Florida	42	672.9778	792	0.000792
Retiro	26	418.062	492	0.000492
Total MMSCFD	0.007046			

Fuente: El autor.

Para los cálculos hidráulicos se asumió un factor de sobre diseño en el flujo del 10%.

1.3 CARACTERIZACIÓN DEL GAS

El gas que será usado para el diseño de la red de distribución tiene las características mostradas en las siguientes tablas¹:

Tabla 4. Cromatografía del gas

COMPONENTE	FORMULA	% MOLAR
Nitrógeno	N ₂	0,31
Dióxido de Carbono	CO ₂	4,01
Metano	CH ₄	79,05
Etano	C ₂ H ₆	8,87
Propano	C ₃ H ₈	4,55
i-Butano	C ₄ H ₁₀	1,05
n- Butano	C ₄ H ₁₀	1,18
l-pentano	C ₅ H ₁₂	0,41
n-pentano	C ₅ H ₁₂	0,24
Hexano y más pesados	C ₆ +	0,34

Fuente: El autor.

Tabla 5. Características del gas

Gravedad específica	0,7634
Peso Molecular	21,26
Poder calorífico superior	1074,10 Btu/scft

Fuente: El autor.

¹ Datos del gas obtenidos del análisis de una muestra de gas tomada el 24 de Septiembre de 2010, de la succión de un compresor boosting, EPF Recetor. Laboratorio Intertek.

1.4 SOFTWARE USADO EN LA SIMULACIÓN

Para el desarrollo de la presente monografía se usaron dos software para realizar la simulación hidráulica. El proceso de adecuación del gas fue simulado mediante el software HYSYS® V 7.3. La red de distribución fue simulada usando el simulador PIIPHASE® V 9.1.

Para la propuesta del trazado de la red de distribución se uso el software ArcGIS.

1.5 ECUACIÓN DE ESTADO USADA EN LA SIMULACIÓN

Se escogió Peng-Robinson debido a que es una ecuación de estado que ha demostrado a través de años de uso que provee buenos resultados en cuanto a manejo de gas natural. Adicionalmente, algunos autores recomiendan su uso para simulaciones de procesamiento de gas natural. (Chen, 2002)

1.6 ECUACIÓN USADA PARA CÁLCULOS HIDRÁULICOS

En cuanto a los cálculos hidráulicos la ecuación usada para determinar las caídas de presión a través de la red de distribución fue AGA, ya que esta es la que mejor se ajusta a las condiciones que se van a manejar en el desarrollo de la presente monografía. (Shashi, 2005)

La ecuación AGA, dentro de sus parámetros de cálculo, usa un factor “Drag” o factor de resistencia, el cual toma en cuenta la cantidad de accesorios (codos, uniones, etc). Este valor varía entre 0.9 y 0.99. Se tomó un valor de 0.96, según los valores recomendados por bibliografía (Shashi, 2005) para tubería plástica.

Se evaluó el uso de otras ecuaciones para determinar las caídas de presión, sin embargo, se descartó el uso de la ecuación de Weymouth, debido a que el uso de esta ecuación es recomendado para tuberías cortas, a alta presión, con altos flujos y

grandes diámetros. También se descartó el uso de Panhandle debido a que esta ecuación es comúnmente usada en grandes diámetros. (Shashi, 2005) (American Petroleum, 1991)

1.7 CRITERIOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LÍNEAS

Para el dimensionamiento de líneas dentro de la planta se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Caída de presión / 100 ft ($\Delta P/100$ ft)
- Velocidad
- Velocidad erosional

Tabla 6. Dimensionamiento de Líneas

Línea	Velocidad (ft/s)	$\Delta P/100$ ft (psi/100 ft)
Líneas de proceso dentro de planta	60	0,5

Fuente: El autor.

La velocidad erosional es calculada de la siguiente forma (American Petroleum, 1991):

$$V_e = \frac{c}{\sqrt{\rho}} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

V_e = velocidad erosional, ft/s

c = constante empírica. La experiencia en la industria recomienda un valor de 100, para fluidos libres de sólidos y operación continua.

ρ = densidad, lb/ft³

La velocidad erosional calculada, para las distintas condiciones de proceso es:

Tabla 7.Velocidad Erosional

Condiciones		Velocidad
Presión (psig)	Temp (°F)	Erosional ft/s
1300	114	41.50
600	94	62.87
30	48	237.83

Fuente: El autor.

En cuanto al dimensionamiento de líneas para la red de distribución se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Velocidad
- Velocidad erosional

En este caso, el criterio de caída de presión se ve reemplazado por un criterio de ajuste del diámetro al requerido, para llegar al punto final a la presión deseada.

2. PROPUESTA GENERAL DEL DISEÑO

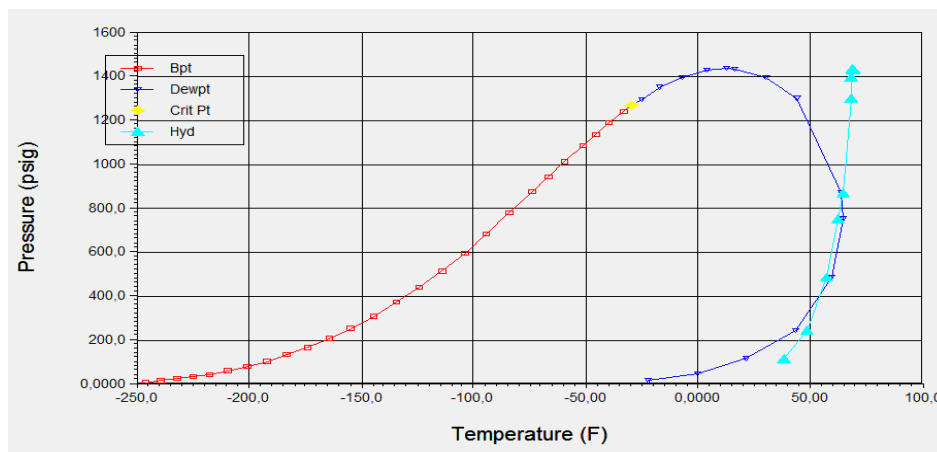
Básicamente, el diseño que se propondrá y se evaluará en esta monografía se puede dividir en dos secciones. Una primera sección de acondicionamiento del gas, y la segunda, la red de distribución. Antes de entrar a describir el diseño realizado para cada una de estas secciones, se realiza una evaluación del tratamiento que pueda requerir el gas.

2.1 EVALUACIÓN TÉCNICA DE NECESIDAD DE TRATAMIENTO DEL GAS

Con el fin de determinar que tratamiento es requerido por el gas, antes de llevarlo a la red de distribución domiciliaria, se realizó una caracterización más detallada del gas, con ayuda del simulador HYSYS® V 7.3.

Al ingresar la cromatografía del gas al simulador, se elaboró el diagrama de fases y la curva de formación de hidratos para el gas Recetor (Ver Figura 2). Mediante esta gráfica es posible determinar y monitorear para todas las condiciones de proceso, si se van a formar hidratos o se va a presentar condensación de líquidos.

Figura 2. Diagrama de fases gas Recetor.



Fuente: El autor.

Al observar la figura 2, podemos establecer que la temperatura cricondentérmica es 65 °F, y la presión cricondenbárica es 1437 psig.

Con ayuda de la Figura 2 se determinó la temperatura de formación de hidratos y condensación para todos los valores de presión que se van a manejar a lo largo del proceso.

Tabla 8. Temperatura de formación de hidratos y condensación

Presión	Temp. formación de hidratos	Temp. Condensación líquidos
1300 psig	68 °F	40 °F
600 psig	60 °F	61 °F
40 psig	30 °F	-0.5 °F
30 psig	-	-8 °F
5 psig	-	-22 °F

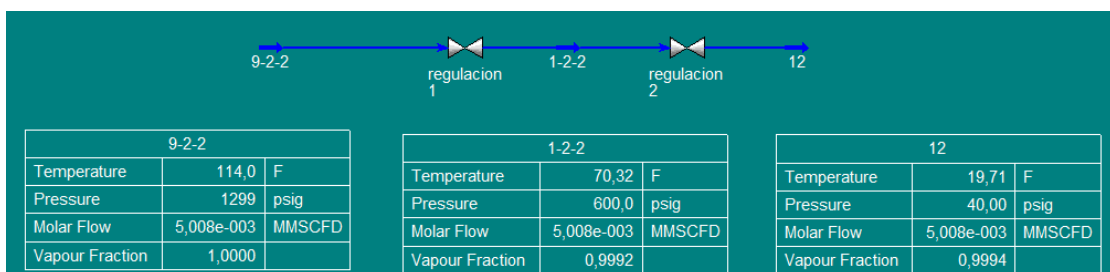
Fuente: El autor.

Las condiciones de presión y temperatura en el punto de toma del gas son 1300 psig y 114 °F, por lo cual es necesario regularlo a una presión tal que pueda ser llevado a una red de distribución. Según la NTC 3838 del 2002, la presión máxima de operación permisible para una línea primaria de distribución de media presión es 101,5 psig.

Teniendo en cuenta esto, se está planteando regular el gas en dos etapas, con el fin de hacer menos drástico este proceso. La primera regulación está propuesta de 1300 psig a 600 psig, y la segunda de 600 psig a 40 psig. El valor de 40 psig se estableció teniendo en cuenta los resultados obtenidos de la simulación de la red de distribución.

Sin embargo, al llevar este proceso de regulación al diagrama de fases (Ver figura 2), podemos observar que todo el tiempo estamos trabajando en la zona de gas, a la derecha de la línea de punto de rocío, por lo cual no se espera la presencia de líquidos después de la regulación. Esta información se corrobora al realizar la simulación únicamente de la regulación del gas. Como se puede observar en la figura 3, la fracción molar de vapor después de la regulación es 0,9992. Sin embargo, con el fin de garantizar que solo se va a llevar gas a la red domiciliaria, se tiene prevista la instalación de un scrubber posterior a la regulación, que separa los posibles líquidos que pudieran llegar a formarse.

Figura 3. Diagrama de fases gas Recetor.



Fuente: El autor.

Al revisar las temperaturas resultantes después de la regulación del gas (Ver figura3), y comparar con la curva de formación de hidratos y los valores mostrados en la tabla 8, observamos que tras la primera regulación no tenemos inconvenientes con los hidratos, sin embargo, al realizar la segunda regulación se tiene formación de hidratos en la corriente de gas. También hay que destacar que la temperatura resultante después de la segunda regulación es 20 °F (-6,8 °C), lo cual puede ocasionar congelamiento externo de la tubería, siendo esta una condición indeseable debido a que impide la operatividad de válvulas, aumenta la corrosión externa, entre otras.

Debido a lo anterior, se hace necesario aumentar la temperatura del gas, por medio de la instalación de un calentador aguas arriba de la regulación, con lo cual evitamos los inconvenientes mencionados anteriormente.

Observando la cromatografía del gas vemos que el único parámetro que no cumple con las especificaciones del RUT es el contenido de CO_2 . Este componente causa corrosión y reduce el poder calorífico del gas. Para endulzar el gas existen diversos procesos entre los cuales tenemos: adsorción con lecho sólido, procesos con solventes químicos, procesos de permeación del gas. Todos estos procesos son costosos, ya que requieren más equipos y materias primas. Teniendo en cuenta que la cantidad de gas a tratar es poca y que el único contaminante es el CO_2 , se descartó diseñar un sistema de tratamiento para endulzar el gas. Previendo un aumento en la capacidad corrosiva de éste, por la presencia del CO_2 , se tiene la precaución de especificar el corrosión allowance para las tuberías de acero y los equipos no en 1/16" como es común en la industria, sino de 1/8".

Es importante resaltar que no es obligatorio el cumplimiento del RUT en el caso de esta monografía, puesto que este gas no va a ser incluido ni transportado usando la infraestructura del sistema nacional de transporte.

2.2 SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DEL GAS

En esta sección se presenta la estructura y el dimensionamiento básico del sistema de acondicionamiento.

El gas para la red de distribución será tomado de la succión de la primera etapa de compresión de los compresores de inyección K-2801 A/B. Se dejarán facilidades para la toma de gas desde los dos compresores, previendo que en caso de parada de un compresor el sistema de distribución no se vea afectado. Se escogieron estos dos compresores para la toma del gas debido a su ubicación en planta, ya que son los más cercanos al punto por donde saldrá la línea de distribución.

Se toma el gas de la succión de la primera etapa de compresión, puesto que en este punto, el gas ya ha pasado por un slug cácher, ha sido enfriado, separado, comprimido y separado nuevamente, lo cual es un beneficio y un ahorro en cuanto al acondicionamiento necesario del gas para la red de distribución.

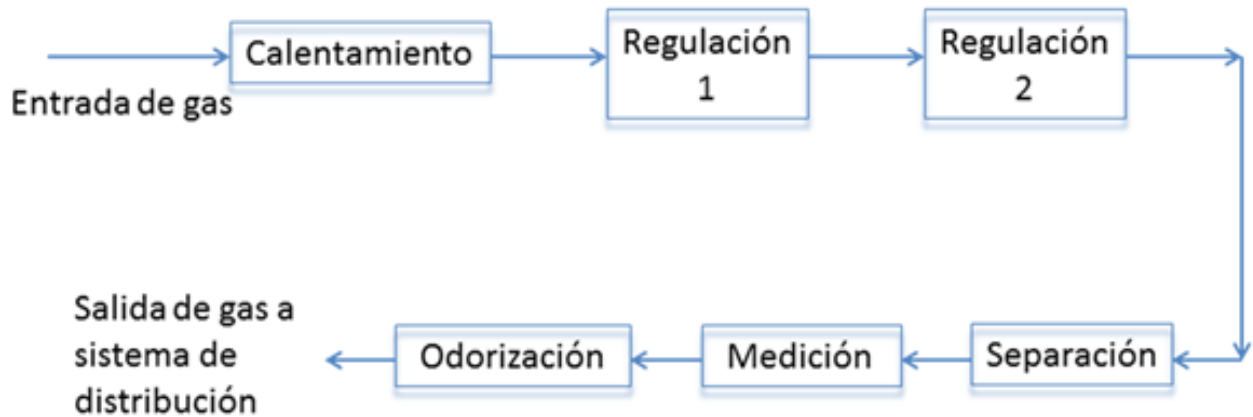
Posteriormente el gas se calienta hasta una temperatura de 135 °F. Esta temperatura permite garantizar que la temperatura luego de regular el gas está por encima de 45 °F. Luego el gas es regulado de 1300 psig a 40 psig, en dos etapas. La primera regulación se realiza de 1300 psig a 600 psig, y la segunda de 600 psig a 40 psig.

Con el fin de garantizar que el gas está libre de líquidos, se pasa a través de un scrubber.

Con el fin de determinar la cantidad de gas enviado a la red domiciliaria, se incluye en el diseño un medidor de gas. Aguas abajo de la medición se contempla un sistema de odorización. Posterior a esto se realiza la transición de tubería de acero a tubería de polietileno, y en este punto se da inicio al sistema de distribución.

En resumen, el diseño conceptual del sistema de adecuación de gas constaría de las siguientes operaciones básicas:

Figura 4. Diagrama de bloques sistema de adecuación del gas.



Fuente: El autor.

2.2.1 Calentamiento

Para la operación de calentamiento se requiere un duty de 252.5 BTU/h, el cual está previsto realizarse mediante un calentador de tipo eléctrico. Se seleccionó esta tecnología teniendo en cuenta el bajo consumo energético y su simplicidad comparado con otras tecnologías (fuego directo, baño de agua o aceite) que requerirían equipos y líneas adicionales, complicando innecesariamente el proceso, y haciéndolo más costoso.

El objetivo de esta operación es subir la temperatura del gas antes de la regulación a 135 °F (57 °C), lo cual permite que después de las dos regulaciones la temperatura final del gas sea 49 °F (10 °C). Con esta temperatura se evita el congelamiento exterior de las tuberías y válvulas, y se estaría cumpliendo con la temperatura mínima de transporte de gas estipulada por el RUT.

2.2.2 Regulación

La regulación se realizará en dos etapas, puesto que el diferencial de presión requerido es muy grande (1260 psi), y esto podría exigir una válvula con características especiales para evitar problemas de cavitación.

2.2.3 Separación

Se seleccionó un scrubber para este proceso, ya que la relación gas / líquido es muy alta. El scrubber se dimensionará de acuerdo al procedimiento presentado en GPSA (Gas Processors, 2004).

Las condiciones para el cálculo del scrubber son:

Tabla 9. Cálculo del scrubber

Densidad gas, lb/ft ³	0.2165
Densidad liquido, lb/ft ³	43.47
K	0.12
Peso molecular gas	21.26

Fuente: El autor.

Por medio de la ecuación:

$$Vt = K\sqrt{\frac{\rho l - \rho g}{\rho g}} \quad \text{Ec. (2)}$$

Se calcula la velocidad terminal. $Vt = 1,7 \text{ ft/s}$

Luego se calcula el área transversal por medio de la ecuación:

$$A = \frac{Qa}{v_t} \quad \text{Ec. (3)}$$

Se obtuvo un valor de área de 0.03 ft²

El diámetro mínimo debe ser de 2.5".

Teniendo una relación L/D de 3, la longitud sería 7,5".

Se aclara que se obtiene un tamaño tan pequeño de scrubber debido a que el flujo de gas es muy bajo.

2.2.4 Medición

El sistema de medición seleccionado es placa de orificio, dada la sencillez de su operación, su bajo costo, no se tiene limitación en el proceso por alta caída de presión, está aprobado por la CREG para medición de transferencia y custodia.

2.2.5 Odorización

En cuanto a la odorización se escogió la tecnología de bypass, puesto que dada la cantidad tan pequeña de gas, no vale la pena automatizar más el proceso.

Se usará una rata de odorizante de 0,25 lb/MMSCF, por lo cual para odorizar el gas a suministrar a la red domiciliaria se tendrá un caudal de 0.00194 lb/día de odorizante.

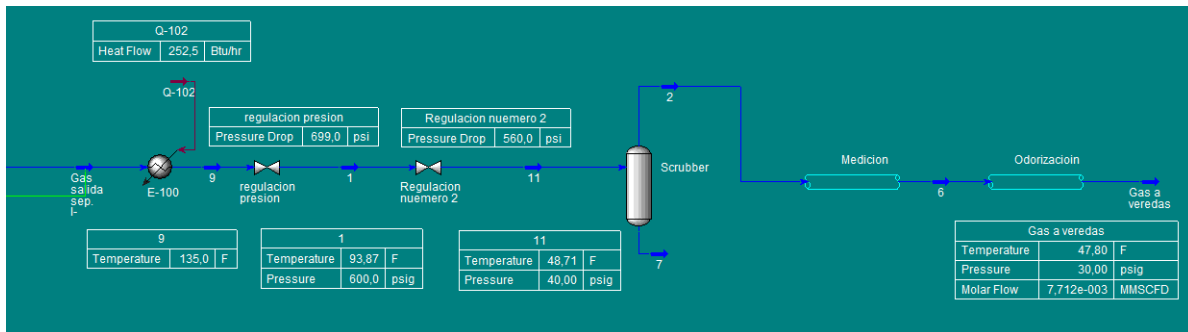
2.2.6 Determinación De Diámetro De Líneas Dentro De La Planta

Para determinar el diámetro de las tuberías dentro de la planta se siguieron los criterios mencionados en el numeral 6.7.

Con una tubería de diámetro nominal 1", sch 80, se tiene que la velocidad del gas es 5 ft/s y la caída de presión es 0.02 psi/100 ft, cumpliendo con los criterios establecidos.

La simulación del proceso realizada en HYSYS V 7.3, se puede observar en la siguiente figura:

Figura 5. Simulación Del Proceso.



Fuente: El autor.

El diseño más detallado se puede observar en el Anexo A, Diagrama de Flujo de Proceso Adecuación y distribución de gas natural, y Anexo B, Diagrama de tubería e instrumentación sistema de adecuación del gas.

2.3 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

En cuanto al sistema de distribución, se propone realizar una red en tubería de polietileno, con configuración en espina de pescado, la cual llevara el gas hasta las seis veredas que compondrán esta red.

Se estableció como punto final de la red de distribución diseñada un nodo en la entrada a cada una de las veredas. Es este punto se instalará una válvula reguladora cuya función es entregar el gas a 5 psig (ICONTEC, 2005). No se consideró en el diseño la acometida para cada vivienda, puesto que para realizar dicha labor es

necesario un levantamiento de información detallado en sitio, y en estas veredas el tema de orden público es de manejo complicado. Tampoco fue posible conseguir información geográfica a través del IGAC, dado que estas veredas se encuentran en sitios muy remotos y de poco interés en general.

Se escogió el polietileno teniendo en cuenta que presenta muchas ventajas respecto a las tuberías de acero al carbono. Entre éstas se destacan:

- Es resistente a la corrosión.
- Es liviano, fácil de transportar.
- De fácil manejo e instalación.
- Es dúctil y resistente al impacto.
- Posee una larga vida útil
- Las uniones son seguras y fáciles de realizar
- Es flexible, permitiendo que las tuberías sean enrolladas y producidas en extensas longitudes, minimizando el número de uniones.

Para el diseño del sistema de distribución se parte de los criterios presentados en la sección de bases de diseño.

El paso inicial para el desarrollo de la red de distribución fue la determinación de los caudales para cada vereda, como se explicó anteriormente en el capítulo de bases de diseño.

Posteriormente, para establecer un posible trazado de la red de distribución, fue necesario ir a cada una de las veredas, con el fin de ingresar los datos de ubicación geográfica al software ArcGIS. Una vez ubicadas las seis veredas, la herramienta genera un trazado para la red de distribución, optimizando las distancias y cruces de ríos, vías, etc. En las siguientes gráficas se puede observar la ubicación geográfica de las veredas.

Figura 6. Ubicación geográfica veredas Plan brisas, Cunama, Retiro, Volcán blanco, Florida y Charte.



Fuente: El autor.

Figura 7. Modelo geográfico de la red de distribución.



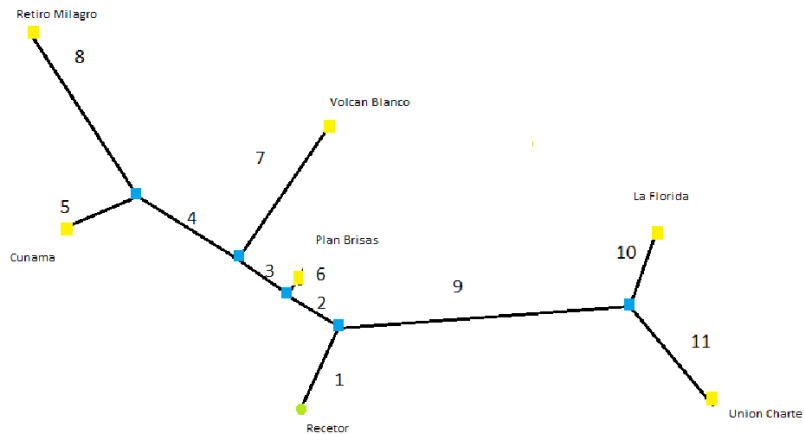
Fuente: El autor.

La red de distribución tiene una longitud de 26.362 metros de tubería. Este dato está corregido con la topografía, es decir, que es la longitud de tubería total real del proyecto. Dicha longitud tiene como límite de batería un nodo de entrada a cada municipio.

Los datos del trazado fueron ingresados al simulador PIPEPHASE V 9.1. Se realizó una evaluación hidráulica de la red con el fin de determinar la presión necesaria en el punto de partida de la red de distribución, determinar la presión de llegada a los

puntos de destino y seleccionar los diámetros óptimos, tanto desde el punto de vista hidráulico, como económico.

Figura 8. Modelo esquemático de la red de distribución.



Fuente: El autor.

2.3.1 Datos de entrada al simulador

- Datos del trazado

Los datos geográficos ingresados al simulador para el cálculo hidráulico de la red de distribución, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 10. Distancias tramos red de distribución.

Tramo	Distancia (m)	ΔH (m)
1	719.9	-169.6
2	1141.4	54.0
3	828.6	24.4
4	1306.4	75.9

Tabla 10. (Continuación)

Tramo	Distancia (m)	ΔH (m)
5	2129.7	-114.6
6	68.4	-2.6
7	4545.1	-273.1
8	4333.4	304.8
9	5870.1	-290.1
10	426.7	-9.2
11	5607.9	-54.1

Fuente: El autor.

Datos más detallados del trazado de cada tramo se pueden observar en el Anexo C.

- Datos de flujo

Los flujos ingresados al simulador fueron calculados y corresponden a los indicados en el numeral 6.2. , con un sobrediseño del 10%.

Tabla 11. Flujos de diseño red de distribución.

Vereda	Consumo MMSCFD
Plan Brisas	0.00200692
Volcan Blanco	0.00087143
Union Chartre	0.00147879
Cunama	0.00198052
Florida	0.00087143
Retiro	0.00054134

Fuente: El autor.

- Parámetros del simulador

Ecuación de Estado	Peng Robinson
Ecuación de flujo	AGA
Rugosidad del tubo	0.000059 in (Shashi, 2005)

- Resultados de la simulación

Como resultado de la simulación se obtiene un valor de presión adecuado para iniciar la distribución, valores de presión en los nodos de salida, es decir, en el punto de entrada a cada vereda, y el diámetro para cada tramo de la red. Dichos resultados se indican en la siguiente tabla:

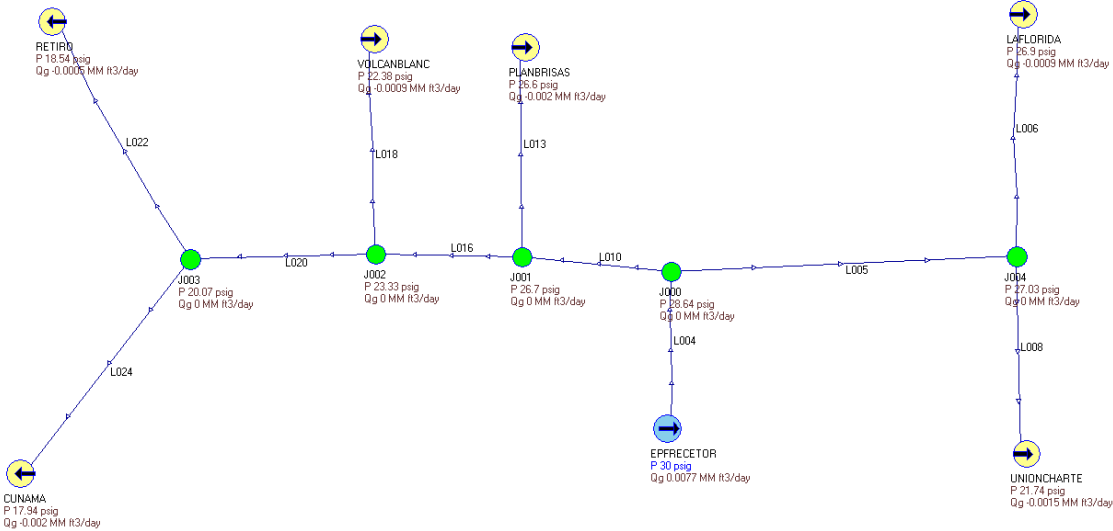
Tabla 12. Resultados Simulación.

Tramo	Diámetro nominal (in)	Presión inicial (psig)	Presión final (psig)	Vel máx. (ft/s)
1	1"	30.0	28.6	6.2
2	3/4"	28.6	26.7	7.6
3	1/2"	26.7	23.3	9.7
4	1/2"	23.3	20.1	7.9
5	1/2"	20.1	17.9	5.1
6	1/2"	26.7	26.6	5.3
7	1/2"	23.3	22.4	2.3
8	1/2"	20.1	18.5	1.8
9	3/4"	28.6	27.0	5.1
10	1/2"	27.0	26.9	2.3
11	1/2"	27.0	21.7	4.5

Fuente: El autor.

Los resultados gráficos de la simulación se pueden observar en la siguiente figura. Resultados más detallados se encuentran en el anexo D.

Figura 9. Resultados simulación.



Fuente: El autor.

3. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

3.1 VALOR DE LA INVERSIÓN

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

Tabla 13. Cantidad de materiales en city gate y la canalización de la tubería de polietileno (PE80). Zona verde.

ITEM	DESCRIPCION	UNID.	CANT	VR. UNIT. DIRECTO	VR. TOTAL	VR. UNID. CONSTRUCTIVA (IPT 2013)
1	MATERIALES					
1.1	Tubería polietileno 1/2"	ML	19.246,20	\$ 1.624,00	\$ 31.255.828,80	
1.2	Tubería polietileno 3/4"	ML	7.011,50	\$ 2.204,00	\$ 15.453.346,00	
1.3	Tubería polietileno 1"	ML	719,90	\$ 3.712,00	\$ 2.672.268,80	
1.4	Unión polietileno 1/2"	UN	130,00	\$ 3.011,00	\$ 391.430,00	
1.5	Unión polietileno 3/4"	UN	47,00	\$ 2.804,00	\$ 131.788,00	
1.6	Unión polietileno 1"	UN	4,00	\$ 6.416,00	\$ 25.664,00	
1.7	Unión polietileno 3/4" x 1/2"	UN	3,00	\$ 8.867,00	\$ 26.601,00	
1.8	Unión polietileno 1" x 3/4"	UN	2,00	\$ 12.023,00	\$ 24.046,00	
1.9	Tee polietileno 1/2"	UN	2,00	\$ 4.997,00	\$ 9.994,00	
1.10	Tee polietileno 1"	UN	1,00	\$ 10.892,00	\$ 10.892,00	
1.11	Tee polietileno 3/4 x 1/2"	UN	1,00	\$ 6.344,00	\$ 6.344,00	
1.12	Tapón polietileno 1/2"	UN	6,00	\$ 3.184,00	\$ 19.104,00	
1.13	OBRA CIVIL			\$ 0,00		
1.14	Replanteo general	M2	450,00	\$ 3.016,00	\$ 1.357.200,00	
1.15	Apertura y conformación del derecho de vía del gasoducto	ML	26.977,60	\$ 12.038,00	\$ 324.756.348,80	
1.16	Base en recebo común	M3	220,00	\$ 27.144,00	\$ 5.971.680,00	
1.17	Excavación a mano en conglomerado	M3	23,94	\$ 30.160,00	\$ 722.030,40	

Tabla 13. (Continuación)

ITEM	DESCRIPCION	UNID.	CANT	VR. UNIT. DIRECTO	VR. TOTAL	VR. UNID. CONSTRUCTIVA (IPT 2013)
1.17	Excavación a mano en conglomerado	M3	23,94	\$ 30.160,00	\$ 722.030,40	
1.18	Concreto ciclópeo 3000 psi	M3	23,94	\$ 271.440,00	\$ 6.498.273,60	
1.19	Placa base, en concreto de resistencia 3000 PSI e=0,15 reforzado 37000	M2	75,05	\$ 90.480,00	\$ 6.790.524,00	
1.20	Viga de amarre en concreto para cimentación de resistencia 3000 psi	M3	16,63	\$ 392.080,00	\$ 6.520.290,40	
1.21	Acero de refuerzo grado 37	KG	891,66	\$ 3.770,00	\$ 3.361.558,20	
1.22	Mejoramiento del terreno con material granular triturado sin compactar	M3	36,00	\$ 37.700,00	\$ 1.357.200,00	
1.23	TUBERIA POLIETILENO 1/2" excavación de profundidad de 60cm y ancho 25cm según norma ISO 3828. instalación y taponamiento de red de la tubería.	ML	19.246,20	\$ 15.484,00	\$ 298.008.160,80	\$ 12.245,53
1.24	TUBERIA POLIETILENO 3/4" excavación de profundidad de 60cm y ancho 25cm según norma ISO 3828. instalación y taponamiento de la red de la tubería	ML	7.011,50	\$ 15.484,00	\$ 108.566.066,00	\$ 13.202,53
1.25	TUBERIA POLIETILENO 1" excavación de profundidad de 60cm y ancho 25cm según norma ISO 3828. instalación y taponamiento de la red de la tubería	ML	719,90	\$ 17.836,00	\$ 12.840.136,40	\$ 15.389,12

Tabla 13. (Continuación)

ITEM	DESCRIPCION	UNID.	CANT	VR. UNIT. DIRECTO	VR. TOTAL	VR. UNID. CONSTRUCTIVA (IPT 2013)
1.26	Caseta para equipos eléctricos y de instrumentación	UN	1,00	\$ 3.770.000,00	\$ 3.770.000,00	
1.27	Cruces subfluviales de río a cielo abierto luz > 20 ML	ML	30,00	\$ 328.663,00	\$ 9.859.890,00	
1.28	Mojón abscisado de señalización rural	UN	69,00	\$ 180.752,00	\$ 12.471.888,00	
1.29	Reparación de cercas restitución de cultivos y praderas en el derecho de vía del gasoducto	M2	679,95	\$ 33.408,00	\$ 22.715.769,60	
2	OBRA MECANICA					
2.1	Fabricación de isométrico, montaje mecánico e instalación de válvula ESDV 1" ANSI 600 con BYPASS 1"	UN	1,00	\$ 39.440.000,00	\$ 39.440.000,00	
2.2	Fabricación de isométrico, montaje mecánico e instalación en paralelo de válvulas PCV de 1/2" ANSI 600	UN	2,00	\$ 61.538.000,00	\$ 123.076.000,00	
2.3	Fabricación y montaje mecánico de separador bifásico scrubber ANSI 150 con accesorios y válvula LCV 1"	UN	1,00	\$ 108.576.000,00	\$ 108.576.000,00	
2.4	Caseta para equipos eléctricos y de instrumentación	UN	1,00	\$ 3.770.000,00	\$ 3.770.000,00	
2.5	Fabricación de isométrico, montaje mecánico e instalación de válvula ESDV 1" ANSI 150 cn BYPASS de 1"	UN	1,00	\$ 20.207.200,00	\$ 20.207.200,00	

Tabla 13. (Continuación)

ITEM	DESCRIPCION	UNID.	CANT	VR. UNIT. DIRECTO	VR. TOTAL	VR. UNID. CONSTRUCTIVA (IPT 2013)
2.6	Fabricación de isométrico, montaje mecánico e instalación de válvula ESDV 1" ANSI 600 con BY PASS DE 1"	UN	1,00	\$ 33.176.000,00	\$ 33.176.000,00	
2.7	Fabricación de isométrico, montaje mecánico y calibración de válvula controladora de presión PCV 1" ANSI 300 con BYPASS 1"	UN	2,00	\$ 37.096.800,00	\$ 74.193.600,00	
2.8	Fabricación de isométrico, montaje mecánico, instalación y calibración de skid de regulación y medición ANSI 150	UN	1,00	\$ 39.208.000,00	\$ 39.208.000,00	
2.9	Fabricación de isométrico, montaje mecánico, instalación y calibración de sistema de odorización ANSI 150	UN	1,00	\$ 19.024.000,00	\$ 19.024.000,00	
2.10	Soporte en tubería acero 2 1/2"	UN	93,00	\$ 135.720,00	\$ 12.621.960,00	
2.11	Prueba radiográfica en punto unión soldadura	UN	78,00	\$ 115.675,00	\$ 9.022.650,00	
2.12	Conexión a tierra city gate	UN	1,00	\$ 8.273.557,00	\$ 8.273.557,00	
			TOTAL COSTOS DIRECTOS		\$ 1.366.183.289,80	
			ADMINISTRACION 10%		\$ 136.618.328,98	
			IMPREVISTOS 5%		\$ 68.309.164,49	
			UTILIDAD 15%		\$ 204.927.493,47	
			IVA 16% (UTILIDAD)		\$ 32.788.398,96	
			VALOR TOTAL		\$ 1.808.826.675,70	

Fuente: El autor.

Tabla 14.Costo total del proyecto

TOTAL		
COSTOS DIRECTOS		\$ 1.366.183.289,80
ADMINISTRACION 10%		\$ 136.618.328,98
IMPREVISTOS 5%		\$ 68.309.164,49
UTILIDAD 15%		\$ 204.927.493,47
IVA (UTILIDAD)	16%	\$ 32.788.398,96
VALOR TOTAL		\$ 1.808.826.675,70

Fuente: El autor.

CONCLUSIONES

- Se realizó un análisis técnico para determinar el tipo de tratamiento requerido para adecuar el gas Recetor para ser distribuido a nivel domiciliario. Como resultado se obtuvo que dadas las características y composición del gas, y que no se ingresará al sistema nacional de transporte, el proceso de endulzamiento no es necesario.
- Se planteó un diseño de proceso de adecuación del gas natural, donde se incluye calentamiento, regulación, separación, medición y odorización, para ser llevado a la red de distribución. Las tuberías al interior planta serán de 1”.
- Se elaboró la simulación del proceso de adecuación propuesto por medio de HYSYS V 7.3
- Se realizó un diagrama de tubería e instrumentación a nivel conceptual del proceso de adecuación.
- Se desarrolló un modelo de una red de distribución de gas natural para llevar gas a las veredas Plan Brisas, Cunama, Retiro, Volcán blanco, Florida y Charte. Esta red de distribución tendrá diámetros nominales de 1”, ¾” y ½”, de tubería de polietileno.
- Se elaboró un diagrama de flujo de proceso, en el cual se plasma el diseño completo, desde la adecuación del gas hasta el punto final de la red de distribución.
- Se realizó una evaluación económica del diseño propuesto, con el fin de establecer si es factible su realización. Como resultado se concluye que dada la poca cantidad de gas, no es rentable la instalación de un sistema de adecuación y distribución de gas.

BIBLIOGRAFIA

American Petroleum, I. (1991). *API Recommended practice 14E*. American Petroleum Institute.

Chen, C. (2002). Applied thermodynamics for process modeling. *AIChE Journal Vol 48 N. 2* , 194 - 200.

Gas Processors, S. (2004). *Engineering Data Book*. Tulsa, Oklahoma: Gas Processors Suppliers.

ICONTEC, N. 2. (2005). *Instalaciones para suministro de gas destinadas a usos residenciales y comerciales*. Bogotá.

IDEAM, I. d. (Mayo de 2013). *ideam.gov.co*. Recuperado el 2013, de <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/index.jsf>

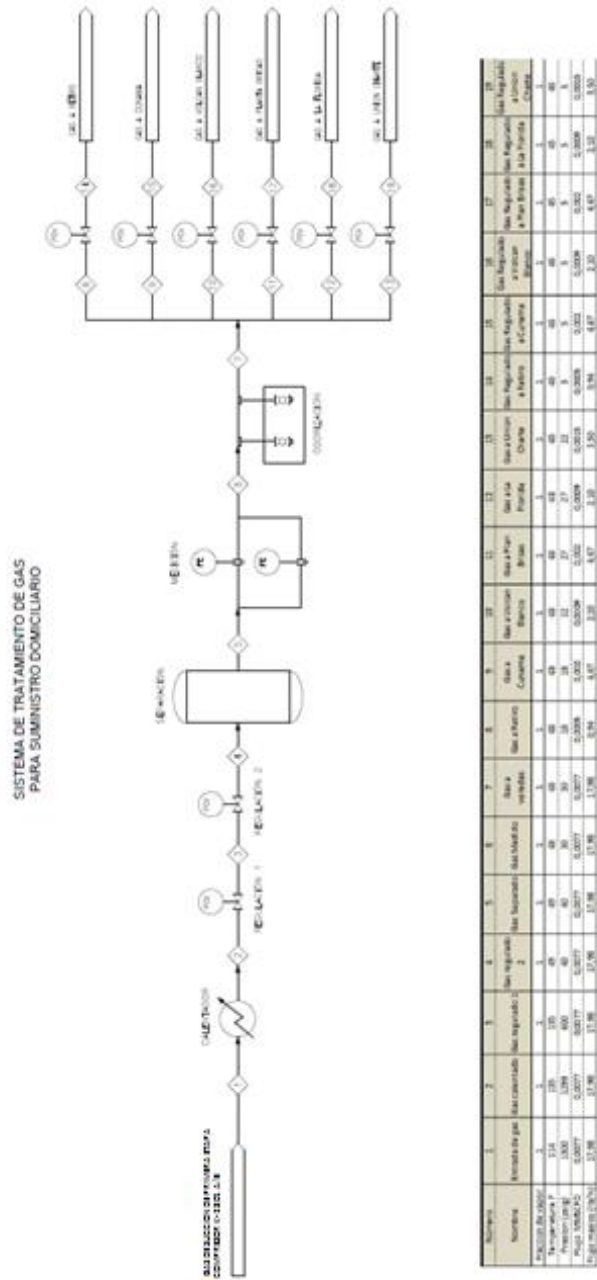
Shashi, M. (2005). *Gas Pipeline Hydraulics*. Taylor & Francis Group.

Sociedad Geográfica, C. (25 de Diciembre de 2010). <http://aguazul-casanare.gov.co>. Recuperado el 2013

Universidad Nacional, C. (1 de Junio de 2006). *siel.gov.co*. Recuperado el 2013, de http://www.siel.gov.co/siel/documentos/documentacion/Demanda/Residencial/Consumo_Final_Energia.swf

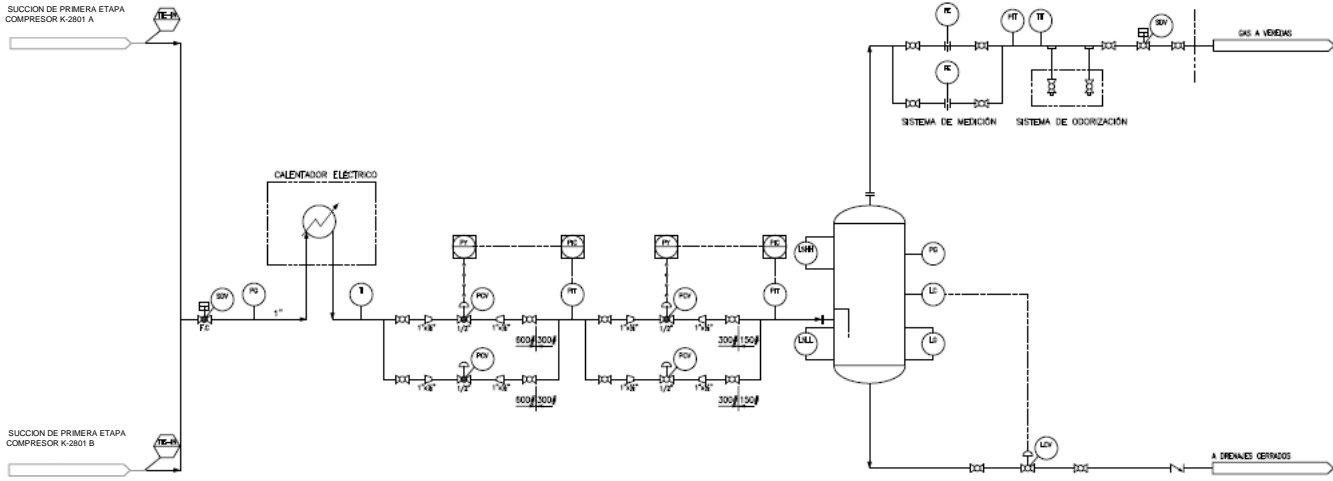
ANEXOS

ANEXO A- Diagrama De Flujo De Proceso Adecuación Y Distribución De Gas Natural.



ANEXO B - Diagrama De Tubería E Instrumentación Sistema De Adecuación Del Gas.

SISTEMA DE SUMINISTRO DE GAS DOMICILIARIO



ANEXO C– Trazados Detallados De La Red De Distribución

	Longitud Acumulada (m)	Elevación (m)
Tramo 1	-	809.62
	719.95	640.05
Tramo 2	-	640.04
	251.52	651.79
	498.44	663.78
	911.97	677.65
	1,100.88	691.59
	1,141.40	694.04
Tramo 3	238.21	694.04
	476.42	705.79
	586.80	709.89
	714.92	720.18
	820.91	718.35
	828.63	718.40
Tramo 4	83.36	718.40
	166.71	730.07
	240.62	734.92
	376.01	741.65
	432.52	742.07
	490.20	744.63
	599.59	756.44
	692.95	765.59
	924.90	763.34
	1,114.66	778.22
	1,222.89	793.80
	1,306.42	794.26

	Longitud Acumulada (m)	Elevación (m)
Tramo 5	141.50	794.26
	283.00	805.00
	481.05	819.09
	618.39	837.12
	894.33	868.03
	1,175.83	911.19
	1,280.94	915.51
	1,316.98	918.04
	1,375.78	914.62
	1,434.02	904.72
	1,552.78	871.00
	1,655.74	841.90
	1,890.41	806.98
1,994.69	797.15	
2,129.69	803.45	
Tramo 6	-	694.04
	68.43	691.41

ANEXO C. (Continuación)

	Longitud Acumulada (m)	Elevación (m)
Tramo 7	-	718.40
	346.75	720.96
	458.57	736.16
	574.71	734.73
	639.78	751.18
	720.70	761.61
	762.51	758.69
	1,002.28	805.33
	1,168.34	840.49
	1,246.82	854.77
	1,455.94	889.79
	1,633.77	913.40
	1,883.00	932.63
	2,156.21	963.96
	2,187.15	961.34
	2,349.69	941.15
	2,374.97	938.78
	2,882.33	869.53
	3,012.95	847.63
	3,086.59	842.25
	3,194.26	843.00
	3,466.50	823.65
	3,662.99	808.38
	3,887.13	786.80
	4,116.02	757.33
	4,201.87	748.85
	4,285.21	735.15
4,356.96	715.77	
4,419.06	700.53	
4,487.80	691.80	
4,515.94	692.42	
4,545.05	690.91	

	Longitud Acumulada (m)	Elevación (m)
Tramo 8	-	794.26
	359.03	801.35
	501.80	820.63
	760.31	849.49
	878.40	862.71
	1,031.84	883.20
	1,105.54	858.62
	1,231.27	868.79
	1,390.73	886.92
	1,449.37	886.47
	1,484.89	883.29
	1,518.39	888.13
	1,560.30	905.11
	1,605.31	904.92
	1,694.36	912.10
	1,796.73	910.10
	1,885.85	926.63
	2,064.94	918.71
	2,162.34	920.70
	2,329.01	939.06
	2,477.33	948.05
	2,580.72	972.37
	2,697.58	965.17
	2,808.04	988.58
	3,101.31	1,007.71
	3,183.07	1,019.30
	3,221.74	1,017.49
	3,277.75	1,022.45
	3,392.84	1,046.55
	3,470.98	1,044.86
3,549.26	1,048.04	
3,645.08	1,058.80	
3,770.83	1,078.50	
4,311.88	1,104.90	
4,333.38	1,099.09	

ANEXO C. (Continuación)

	Longitud Acumulada (m)	Elevación (m)
Tramo 9	-	640.04
	334.58	624.51
	1,004.42	588.04
	1,127.36	586.82
	1,342.97	576.03
	1,662.56	589.98
	1,874.03	558.37
	2,137.83	542.14
	2,604.49	528.21
	2,864.66	514.98
	3,140.84	503.45
	3,413.43	495.75
	3,683.82	488.20
	3,951.45	473.59
	4,163.00	467.31
	4,383.36	457.84
	4,563.49	402.97
	4,692.83	379.43
	4,759.62	376.04
	4,795.96	380.55
4,839.98	390.99	
4,875.64	391.18	
5,575.32	382.08	
5,814.11	368.00	
5,870.12	349.91	
Tramo 10	-	349.91
	95.24	353.76
	152.30	352.60
	212.65	348.22
	259.95	351.09
	294.49	354.12
	330.57	355.10
	399.11	344.06
	424.91	340.67
	426.72	340.73

	Longitud Acumulada (m)	Elevación (m)
Tramo 11	1.34	349.91
	153.45	349.44
	305.57	359.62
	579.10	333.66
	736.63	336.65
	1,108.27	365.38
	1,309.08	389.28
	1,549.57	350.72
	1,728.56	368.61
	1,886.46	388.68
	1,979.11	395.89
	2,090.27	386.86
	2,273.42	358.20
	2,350.55	368.02
	2,484.30	367.05
	2,536.02	363.49
	2,746.64	355.78
	3,214.47	308.23
	3,383.53	319.09
	3,491.39	319.61
	3,792.62	337.42
	4,165.47	353.78
	4,316.84	351.75
	4,478.16	341.40
	4,793.38	323.03
5,254.37	291.87	
5,607.97	295.80	

ANEXO D – Resultados Detallados Evaluación Hidráulica Red De Distribución

LINK SUMMARY									
RATE, PRESSURE AND TEMPERATURE SUMMARY									

FROM(F)									
AND									
TO(T)									
LINK	NODE	----ACTUAL FLOW RATES*---			PRESS:	PRESS:	TEMP:	---HOLDUP*---	
		GAS	OIL	WATER	(PSIG)	DROP	(F)	GAS	LIQ
		(MMCFD)	(BPD)	(BPD)		(PSIG)		(MM	(STB)
								SCF)	

L004	EPFR(F)	0.0025	0.0	0.0	30.0*		48.0		
	J000(T)	0.0027	0.0	0.0	28.6	1.4	80.0	3.46E-5	0.0
L005	J000(F)	0.0008	0.0	0.0	28.6		80.0		
	J004(T)	0.0009	0.0	0.0	27.0	1.6	80.0	0.0002	0.0
L006	J004(F)	0.0003	0.0	0.0	27.0		80.0		
	LAFI(T)	0.0003	0.0	0.0	26.9	0.1	80.0	6.20E-6	0.0
L008	J004(F)	0.0005	0.0	0.0	27.0		80.0		
	UNIO(T)	0.0006	0.0	0.0	21.7	5.3	80.0	7.65E-5	0.0
L010	J000(F)	0.0019	0.0	0.0	28.6		80.0		
	J001(T)	0.0020	0.0	0.0	26.7	1.9	80.0	3.17E-5	0.0
L013	J001(F)	0.0007	0.0	0.0	26.7		80.0		
	PLAN(T)	0.0007	0.0	0.0	26.6	9.59E-2	80.0	9.88E-7	0.0
L016	J001(F)	0.0012	0.0	0.0	26.7		80.0		
	J002(T)	0.0014	0.0	0.0	23.3	3.4	80.0	1.15E-5	0.0
L018	J002(F)	0.0003	0.0	0.0	23.3		80.0		
	UOLC(T)	0.0004	0.0	0.0	22.4	0.9	80.0	5.89E-5	0.0
L020	J002(F)	0.0010	0.0	0.0	23.3		80.0		
	J003(T)	0.0011	0.0	0.0	20.1	3.3	80.0	1.66E-5	0.0
L022	J003(F)	0.0002	0.0	0.0	20.1		80.0		
	RETI(T)	0.0002	0.0	0.0	18.5	1.5	80.0	5.14E-5	0.0
L024	J003(F)	0.0009	0.0	0.0	20.1		80.0		
	CUNA(T)	0.0009	0.0	0.0	17.9	2.1	80.0	3.27E-5	0.0

* - INDICATES KNOWN PRESSURE
 ** VOLUME REPORTED AT USER STANDARD CONDITIONS
 *** RATE REPORTED AT ACTUAL TEMPERATURE AND PRESSURE CONDITIONS

VERSION 9.1
 SIMULATION SCIENCES, INC.
 PROJECT

PIPEPHASE
 OUTPUT

PAGE 3

BASE CASE

VELOCITY SUMMARY

LINK	DEVICE NAME	DEVICE TYPE	MIXTURE VELOCITY (INLET/OUTLET) (FPS)	VELOCITY (FPS)	CRITICAL VELOCITY (FPS)	PRESSURE GRADIENT (INLET/OUTLET) (PSIFT)	PRESSURE DROP (PSIG)
L004	P001	PIPE	5.90	6.23	1302.91	-5.8E-4 -5.8E-4	-1.4
L005	P009	PIPE	3.14	3.26	1326.32	-8.2E-5 2.07E-4	-1.6
L006	P010	PIPE	2.27	2.28	1326.66	-1.3E-4 -1.5E-4	-0.1
L008	P011	PIPE	3.85	4.41	1326.44	-2.7E-4 -3.3E-4	-5.3
L010	P002	PIPE	7.22	7.55	1325.70	-5.1E-4 -5.2E-4	-1.9
L013	P006	PIPE	5.25	5.26	1326.57	-4.3E-4 -4.3E-4	-9.594E-2
L016	P003	PIPE	8.94	9.71	1324.96	-1.2E-3 -1.3E-3	-3.4
L018	P007	PIPE	2.49	2.56	1327.18	-7.4E-5 -2.0E-5	-0.9
L020	P004	PIPE	7.22	7.89	1326.87	-6.8E-4 -7.4E-4	-3.3
L022	P008	PIPE	1.70	1.77	1327.70	-5.8E-5 1.82E-4	-1.5
L024	P005	PIPE	4.73	5.04	1327.42	-2.9E-4 -3.5E-4	-2.1