

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
CURSOS ESPECIALES DE GRADO**



**“DISEÑO DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL PARA
USO DOMESTICO EN EL SECTOR LAS COCUIZAS DEL MUNICIPIO
MATURÍN DEL ESTADO MONAGAS”**

**Realizado por:
ROCCA MARTÍNEZ GEOVANNY JOSÉ**

**Trabajo de Grado Presentado ante la Universidad de Oriente como
Requisito Parcial para Optar al Título de**

INGENIERO QUÍMICO

BARCELONA, AGOSTO DEL 2011

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
CURSOS ESPECIALES DE GRADO**



**“DISEÑO DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL PARA
USO DOMESTICO EN EL SECTOR LAS COCUIZAS DEL MUNICIPIO
MATURÍN DEL ESTADO MONAGAS”**

**ING. ISVELIA AVENDAÑO
ASESOR ACADEMICO**

BARCELONA, AGOSTO DEL 2011

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
CURSOS ESPECIALES DE GRADO**



**“DISEÑO DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL PARA
USO DOMESTICO EN EL SECTOR LAS COCUIZAS DEL MUNICIPIO
MATURÍN DEL ESTADO MONAGAS”**

Ing. Alexis Cova (M.Sc.)

Ing. Crisanto Mata (M.Sc.)

Jurado Principal

Jurado Principal

BARCELONA, AGOSTO DEL 2011

RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 44 del Reglamento de Trabajo de Grado

“Los trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del consejo de Núcleo respectivo, el cual lo notificará el Consejo Universitario”.

DEDICATORIA

Para Zaida Martínez y Geovanny Rocca (mami y papi), su gran amor y lucha por sacarme adelante, ha sido lo más grande y maravilloso que han hecho en mi vida.
Espero ser digno de tan loable labor.

AGRADECIMIENTOS

A Jehová mi Dios, por nunca abandonarme y guiar mis pasos en el camino del éxito. Solamente él sabe lo que esto significa para mí.

A mis padres, siempre confiaron en mí y jamás se rindieron para que alcanzara esta meta, éste triunfo es de ustedes. ¡Lo Logramos!

A mi hermano, por acompañarme en todo momento, por ser mi amigo y por darme la oportunidad de ser su gran ejemplo, espero seguir haciéndote sentir orgulloso.

A mis tías Rosa, Esmeralda, Belén y Danni. Han sido mis segundas madres, me han querido como un hijo y me han apoyado en todo momento. Espero que también sientan éste logro como el de ustedes.

A mi tío Jesús García, mi segundo padre. Siempre faltarán palabras para describir mi agradecimiento, admiración y sobre todo mi gran estima por usted. Gracias por aceptarme en su vida y ayudarme cuando más lo necesite.

A mis primos Wilmar, Marianella, Lisbeth, Rosalis, Marcelino, José Daniel, Deivis, Deimer, Dariannys y Oscar José. Porque en todo momento siempre han estado a mi lado y nunca me han fallado. Más que primos, son y siempre serán mis hermanos.

A mis sobrinos Moisés, Yailimar, José Félix, Lucía y Deiviannys. Por ser mi inspiración y llenar de alegrías mi camino. Dios los cuide y acompañe siempre.

A mi estrellita, gracias por mantener tu brillo intacto, Teodoro...

A Antonio Amundaray y a mi Negra, bendito sea el momento en que los conocí, nada de esto sería igual sin la presencia y ayuda de ustedes. Estaré eternamente agradecido.

Yaire Vargas, José Rendón y Luis Corobo, gracias por quererme y ayudarme cada vez que lo necesite.

A mis hermanos Octavio y Morgan. Por aceptarme como soy y contar con ustedes en todo momento.

A mis grandes amigos y camaradas de lucha, Tania, Leobelis, María José, Rilimar, Blanco, Jorge, Joseph, Pedro, Daniel, Oscar, Sergio, Chacón, Julio, Andrés, Emil, Jaikall, Héctor, Eduardo, Albert, Simón, Edgar, Carlos, Alejandro, Juan C. Gracias por todo el afecto y consideraciones que tuvieron conmigo a lo largo de todos estos años.

*Símplemente soy la
suma de todo lo que me han
dado.
De corazón, gracias...*

RESUMEN

En el siguiente trabajo se presenta el dimensionamiento de una red de gas natural para uso domestico, mediante la implementación de los modelos matemáticos de las ecuaciones de Weymouth, Panhandle y el método de Hardy Cross, así como también la utilización del simulador Stoner SynerGEE Gas 4.3.2 para la comprobación y optimización de los resultados recogidos con los modelos antes mencionados. Para ello, se describirá la ruta de suministro de gas natural que entra a la ciudad de Maturín y el recorrido de la misma hasta llegar al punto de distribución más cercano de la localidad a gasificar. Se levantará un plano digital con la información del censo catastral de la zona, donde se ubicaran los usuarios residenciales, comerciales, entre otros, con la finalidad de calcular la cantidad de gas requerida para satisfacer la demanda del sector, obteniéndose un valor de la misma de 109232 PCND (de acuerdo con las normas COVENIN), el cual, según las ecuaciones planteadas, podrá ser transportado por una tubería PEAD de 63 mm de diámetros, con caídas de presión y valores de velocidad permisibles. Luego con los perfiles de presión y velocidad aportados por simulador, se procederá al análisis de los escenarios de trabajo más críticos de la red, concretándose el diseño más adecuado para el abastecimiento de la comunidad, lográndose optimizar las cargas en el suministro de gas en un 60% y valores de presión y velocidad, totalmente aceptables con las premisas planteadas en éste proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN	viii
TABLA DE CONTENIDO	ix
CAPITULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Introducción	1
1.2 Planteamiento del problema	3
1.3 Justificación	5
1.4 OBJETIVOS	7
1.4.1 Objetivo General	7
1.4.2 Objetivos Específicos	7
1.5 Antecedentes	8
CAPITULO II	12
FUNDAMENTOS TEÓRICOS	12
2.1 Gas natural	12
2.1.1 Clasificación del Gas Natural	13
2.1.2 Gas Metano (Comercial)	14
2.1.3 Gas Natural Licuado (GNL)	15
2.1.4 Gas Natural Comprimido (GNC)	15
2.1.5 Gas Licuado de Petróleo (GLP)	16
2.1.6 Fracciones Licuables del Gas Natural	16
2.1.7 Importancia del Gas Natural	17
2.1.8 Usos del Gas Natural	18
2.2 Reservas de gas en Venezuela	20

2.3 Proyecto de Gasificación Nacional	22
2.4 Transporte del Gas Natural	23
2.4.1 Gasoductos.....	26
2.4.1.1 Importancia de los Gasoductos	27
2.4.1.2 Clasificación de Gasoductos Dependiendo de la Ubicación ..	27
2.5 Tipos de tuberías.....	27
2.5.1 Tuberías de Polietileno	28
2.5.2 Tuberías de Acero	28
2.5.3 Tuberías de Cobre	29
2.6 Redes de Distribución de Gas Metano	30
2.7 Propiedades físicas de los fluidos	31
2.7.1 Viscosidad	31
2.7.2 Densidad.....	31
2.7.3 Gravedad Específica de un Gas	32
2.8 Regimenes de flujo de fluidos en tuberías.....	32
2.8.1 Flujo Laminar	32
2.8.2 Flujo Turbulento	32
2.8.3 Fluidos Newtonianos	33
2.8.4 Fluidos no Newtonianos.....	33
2.8.5 Fluido Compresible	33
2.8.6 Fluido Incompresible.....	33
2.8.7 Número de Reynolds	34
2.9 Ecuaciones más importantes empleadas para el transporte y distribución de gas natural.....	34
2.9.1 Ecuación para Flujo Isotérmico.....	34
2.9.2 Ecuación de Weymouth	36
2.9.3 Ecuación de Panhandle	38
2.9.5 Factor de Compresibilidad	39
2.9.6. Velocidad de Flujo	41

2.10 Selección de La Ecuación de Flujo	42
2.11. Métodos de cálculos para resolver redes de gas	43
2.11.1 Método de Hardy Cross	43
2.12 Pasos para el Diseño de Sistemas de Transporte y Distribución de Gas Natural	47
2.12.1. Normas, Códigos y Estándares	47
2.12.2. Clasificación de Área por densidad poblacional	47
2.12.3. Presiones del Proceso.....	48
2.12.3.1. Máxima Presión de Operación Permitida	48
2.12.3.2. Presión Normal de Operación	48
2.12.3.3. Presión de Operación Futura	48
2.12.4. Temperatura del Proceso	48
2.12.4.1. Temperatura de Diseño.....	48
2.12.4.2. Temperatura Normal de Operación.....	48
2.12.5. Demanda de gas.	49
2.12.6 Dimensionamiento de la Tubería de Transporte.....	49
2.13. Equipos y accesorios en los sistemas de transporte y distribución de gas natural.....	50
2.13.1 Válvulas	50
2.13.1.1. Válvulas de seguridad	51
2.13.1.2 Válvulas de Bloqueo.....	51
2.13.2. Medidores	52
2.13.3. Regulador	52
2.13.4 Acometidas	52
2.13.5 Estaciones de Regulación y Medición	52
2.14. Herramientas tecnologicas para el diseño de la red de distribución y transporte de gas naturalpara uso domestico.	53
2.14.1. AutoCAD 3D 2010	53
2.15.2. Stoner SYNERGEE 4.3.2	54

CAPITULO III	56
MARCO METODOLÓGICO	56
3.1 Tipo de Investigación.....	56
3.2 Diseño de la Investigación.....	57
3.3 Instrumentos y Técnicas de Recolección de Información.....	57
3.4 Procedimiento Metodológico	58
CAPITULO IV.....	60
DESARROLLO DEL PROYECTO	60
4.1 Documentación de la investigación	60
4.2 Diagnostico de la situación actual	61
4.2.1 Descripción del área a gasificar.....	61
4.2.2 Sistema actual de distribución de gas en el municipio Maturín.....	62
4.3 Bases de diseño para la elaboración de la red de distribución de gas natural para uso domestico.	64
4.3.1 Determinación de la demanda para el área a gasificar.....	64
4.3.2 Presiones de Operación de la Red.	67
4.3.2.1 Caída de presión admisible.....	67
4.3.3 Diámetros de Tuberías.	68
4.3.4 Velocidad Máxima de Operación.....	68
4.3.5 Diseño de las Tuberías.....	68
4.4 Dimensionamiento de la red a partir de los modelos matemáticos planteados.....	69
4.4.1 Ecuación de Weymouth.....	71
4.4.2 Ecuación de Panhandle.....	72
4.4.3 Método de Hardy Cross.....	73
4.5 Modelo de Simulación de la red.....	73
4.5.1 Diseño del plano digital.....	73
4.5.2 Software Stoner SynerGEE Gas 4.3.2.....	75
4.5.2.1 Optimización de la Demanda de Gas.....	76

CAPITULO V.....	77
ANALISIS DE RESULTADOS.....	77
5.1. Características del gas utilizado.....	77
5.2. Demanda del suministro.....	77
5.3. Dimensionamiento de la Red	79
5.3.1. Modelos matemáticos.....	79
5.4. Diámetros para tubería PEAD	80
5.3.2. Método de Hardy Cross	81
5.4. Simulación de la Red.....	83
5.4.1. Optimización de la demanda de gas.....	85
5.4.2. Perfil de presión.....	86
5.4.3. Perfil de velocidades.....	87
5.5. Flujograma con el procedimiento para el diseño de la red.	87
5.5.1. Parte I: Diagnostico del área.....	88
5.5.2. Parte II: Parámetros de diseño	89
5.5.3. Parte III: Calculo de la red a través de los modelos matemáticos	90
5.5.4. Parte IV: Dimensionamiento y optimización de la red.....	91
CONCLUSIONES.....	93
RECOMENDACIONES	94
BIBLIOGRAFÍA.....	96
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:.....	98

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

En los últimos años, el gas natural ha pasado a ocupar una posición relevante en el escenario energético mundial. Sin embargo, a pesar de las cuantiosas reservas gasíferas, que ubican a Venezuela entre los primeros países a nivel mundial en reservas de gas, no había sido posible diseñar políticas dirigidas que proporcionaran una utilización eficiente de esta potencial fuente energética. Muestra de ello es la quema y venteo en los sistemas de alivio de las instalaciones petroleras de hasta un 20% del gas producido y el incremento del consumo de gas licuado del petróleo, como combustible doméstico, distribuido en cilindros presurizados.

Con base a lo estipulado en la constitución de la república, donde se plantea el uso eficiente de los hidrocarburos, además del resguardo del ambiente, el estado venezolano enfoca políticas destinadas al cumplimiento de éste mandato. Teniendo esto en cuenta, a través de PDVSA S.A, y su filial PDVSA GAS se crea el plan de gasificación nacional.

PDVSA GAS, es una empresa encargada de la extracción, manejo, transporte, distribución y comercialización del gas natural en Venezuela principalmente para satisfacer la demanda de gas en el mercado, el cual es transmitido a través de un sistema de tuberías llamado gasoducto, diseñado y construido para operar con la capacidad de distribuir el fluido en función de su composición y comportamiento termodinámico bajo condiciones variables de presión, volumen y temperatura.

Teniendo en cuenta la importancia del gas natural como recurso energético, el bajo impacto que tiene en el ambiental en comparación con otros carburantes y así como de un producto final de gran utilidad para los sectores domestico y comercial, se ha creado el Plan de Gasificación Nacional.

Éste proyecto tiene como objetivo gasificar 23 estados de la república; fortaleciendo las organizaciones del poder popular y favoreciendo el desarrollo comunitario, privilegiando dichas organizaciones. elevando la calidad de vida de la población, dándole prioridad a las comunidades de menores recursos, garantizando así el suministro continuo de este combustible, generando empleos, estableciendo una economía del servicio y tarifas sociales por la construcción de redes de distribución de gas metano, a fin de satisfacer la demanda de estos servicios a los sectores doméstico y comercial, a través de la instalación de 48.900 Km. de infraestructura de redes de distribución, para beneficiar a 3.260.000 familias. Su fecha estimada de culminación es en el cuarto trimestre del año 2016.

Con la finalidad de seguir ampliando el desarrollo del proyecto de gasificación nacional, en el estado Monagas se han planteado iniciar los esfuerzos necesarios para brindar a sus habitantes el anhelado servicio de gas domestico por tuberías; con cuyas construcciones será posible disminuir el consumo de GLP en la región, disponiendo así el volumen del mismo para ser utilizado con fines más lucrativos para la nación.

1.2 Planteamiento del problema

Debido a que el gas natural (GN) ha pasado a ocupar una posición relevante en el escenario energético mundial, con un crecimiento continuo de la demanda. Por su parte, La República Bolivariana de Venezuela, actualmente está considerada como uno de los países más importantes en el contexto mundial, como suplidor de energía gasífera. Según PDVSA Gas, las reservas probadas, sobrepasan los 148 billones de pie cúbicos de gas asociado y 14 billones de pie cúbicos de gas no asociado, más sus reservas probables y posibles, 64 billones de pie cúbicos de gas asociado y 18 billones de gas no asociado lo ubican en el segundo lugar entre los países de América en reservas de gas, el primero de América Latina y octavo a nivel mundial.

El Presidente de la República Hugo Chávez crea en 2005 el proyecto de Gasificación Nacional, mediante decreto presidencial, todo esto en pro de mejorar la calidad de vida de los venezolanos, como ha sido la principal meta del Gobierno desde que se estableció en el año 1999. Luego de que durante un tiempo estuvo adscrita a PDVSA Gas Comunal, en el año 2009 Gasificación Nacional pasa nuevamente a control de PDVSA Gas como Gerencia General; y en el 2010 la Gasificación es transferida a las Regiones donde la responsabilidad de su construcción en el Estado Monagas es de Exploración y Producción.

La Gasificación hace su aparición en el Estado Monagas en el año 2006, en medio de la política de impulso y empoderamiento de las comunidades, iniciándose los trabajos en el Sector Alto Paramaconi, en la Parroquia los Godos, para la ejecución del proyecto de instalación de 1

kilometro de tubería PEAD incluyendo con la respectiva construcción de casetas de regulación para clientes domésticos. Los trabajos finalizaron a principios del 2008 con la prueba neumática, barrido, limpieza y quema de gas en los tramos instalados; adicionalmente se realizaron trabajos de líneas internas.

Actualmente se están realizando trabajos en el Sector la Cruz, los cuales se iniciaron en el año 2007 para la construcción de 60 Km de tubería de Redes Domésticas y el beneficio de 2.114 familias, alcanzando un avance de aproximadamente 68,33% del proyecto; luego de una larga paralización de la obra en Mayo del 2008, debido a problemas financieros con la contratista encargada del cumplimiento de la misma.

En Maturín existe una Estación de Distrito modelo T-27 en la Av. Bella Vista a la altura de la entrada del sector Alto Paramaconi, del lado derecho sentido Este – Oeste, construida entre el 2007 y el 2009 con una capacidad de brindar servicio de gas directo a 18.000 viviendas; además en ésta ciudad se han instalado 42,95Km de tubería PEAD y 17,99 Km de líneas internas instaladas, 850 familias se benefician del servicio de gas directo.

Con la finalidad de seguir ampliando el desarrollo del proyecto de gasificación nacional para el estado Monagas, se plantea la parroquia Las Cocuizas como próxima área de gasificación domestica. Dicha parroquia, corresponde al municipio Maturín, ubicada al noreste de este municipio con una densidad poblacional (según censo 2001) de cerca de 88000 habitantes, ubicados en aproximadamente 24000 viviendas.

Para llevar a cabo este proyecto se deberá ubicar las líneas de transmisión de gas metano en las cercanías del sector, para así delimitar el

área de estudio y poder determinar los clientes domesticos que harán uso del servicio, con lo que se estimará la demanda para la ejecución de una primera fase de dicho proyecto. Posteriormente con toda la información recopilada se elaborarán los planos de recorrido de la red de distribución de gas domestico tomando en cuenta la longitud y diámetro de cada tramo de tubería, con ayuda del simulador "Stoner Syner Gee Gas" versión 4.3 (Simulador para análisis de estados estacionarios y sistemas de transmisión de gas), el cual ayudará a comprobar el buen funcionamiento del sistema.

1.3 Justificación

En la República Bolivariana de Venezuela se producen, aproximadamente, ciento cuarenta y seis mil barriles diarios (146 MBD) de GLP, los cuales son distribuidos en todo el territorio nacional para ser utilizados de acuerdo con la siguiente tabla.

Tabla Nro. 1.1. Producción de GLP en la República Bolivariana de Venezuela

USO	m³/día
Cilindros presurizados para uso domestico	5184
PEQUIVEN	5616
Refinerías	4176
Exportación	6048

Fuente: Asociación Venezolana de Procesadores de Gas (AVPG) 2009

Todo el GLP que pueda ser sustituido por gas seco y utilizado con fines más lucrativos como la exportación, refinación y otros procesos petroquímicos, generará ingresos adicionales a la nación, aumentando la calidad de vida de los venezolanos.

Por otra parte, el uso de gas seco como combustible doméstico en las ciudades, modifica la comercialización de los demás combustibles domésticos, con repercusiones tanto en las ciudades mismas, como en el país en general.

En Maturín, por ejemplo, como una buena parte de la población estaría siendo atendida con la red de gas, muy probablemente, la comercialización del GLP estará orientada a satisfacer la demanda de combustible doméstico de las poblaciones que actualmente se ven en la necesidad de utilizar fuentes de energía más costosas o de menor calidad (electricidad, querosén, gasoil, leña).

En materia de seguridad, el uso de gas seco también aporta algunos beneficios. Por ser este menos pesado que el aire, si se produjera alguna fuga, existe una menor probabilidad de acumulación de una nube de gas con suficiente potencial de explosión, capaz de producir daños cuantiosos, caso contrario al GLP, que por ser más pesado que el aire, en lugar de desplazarse rápidamente hacia la atmósfera, tiende a acumularse en el área donde se producen las fugas, resultando en una alta probabilidad de ocurrencia de explosiones cuando no existe buena ventilación. Adicional a esto, las presiones con las que operan las redes de gas doméstico oscilan alrededor de 60 lpcm en los alimentadores, pudiendo llegar a alcanzar, como máximo, presiones de hasta 125 lpcm y no más de 0,5 lpcm en las tuberías que llevan el gas desde las tanquillas, ubicadas en el dominio público, hasta

los artefactos dentro de las casas, mientras que los cilindros presurizados en los que se vende el GLP, en su mayoría notablemente deterioradas y con la perisología vencida, pudieran contenerlo a presiones mayores de 130 lpcm y suelen ubicarse dentro o muy cerca de las casas.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Diseñar una red de distribución de gas natural para uso domestico en el sector Las Cocuizas del municipio Maturín del estado Monagas.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Describir el sistema actual de distribución y transporte de gas natural para uso domestico en la ciudad de Maturín.
- Determinar la demanda de gas domestico en el área a gasificar.
- Caracterizar el gas natural a ser transportado.
- Seleccionar la ruta de distribución más conveniente para el transporte del gas domestico.
- Crear un flujograma con la muestra de cálculo para el diseño de una red de distribución de gas natural para uso domestico.
- Realizar los cálculos de diseño de la red de distribución de gas natural a partir de los modelos matemáticos de Panhandle y Weymouth.
- Comparar los resultados obtenidos en el cálculo de la red de distribución con los arrojados por el simulador *Stoner SynerGEE Gas*.
- Establecer el esquema final más conveniente para éste proyecto.

1.5 Antecedentes

A continuación se detallan los aspectos relevantes de los proyectos que han servido como base teórica y práctica para la orientación de esta investigación.

- **Gasificación de la Ciudad de Maturín, una Alternativa para el Desarrollo Regional. PDVSA, (1996).**

Este fue un trabajo realizado por PDVSA con el objetivo de "Obtener desde el punto de vista conceptual, la potencialidad de las necesidades de Gas Metano, cuya fórmula química es CH_4 , en la ciudad de Maturín, la infraestructura necesaria para el transporte y distribución de este hidrocarburo en esta zona y el análisis económico asociado a la gasificación de la región". Los pasos propuestos para la obtención de este objetivo fueron:

- Definir la demanda potencial de consumidores de Gas Metano en Maturín.
- Identificar las fuentes de suministro del gas.
- Dimensionar y especificar la red de gasoductos necesaria.
- Estimación de la inversión.

A partir de los resultados de este trabajo, se pronosticó la demanda como se muestra en la figura 1.1. Respecto a la oferta de gas disponible en las fuentes de suministro, afirmaron que las reservas aseguraban el suministro por un periodo superior a veinte años.

El diseño conceptual de la Ingeniería del Proyecto, contemplaba una red de tuberías de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) de cuatrocientos ocho mil metros (408000 m), distribuidos entre los siguientes diámetros nominales de tubería: 32, 63, 90 Y 110 mm. La figura 1.2, muestra un diagrama esquemático del diseño conceptual de la red.

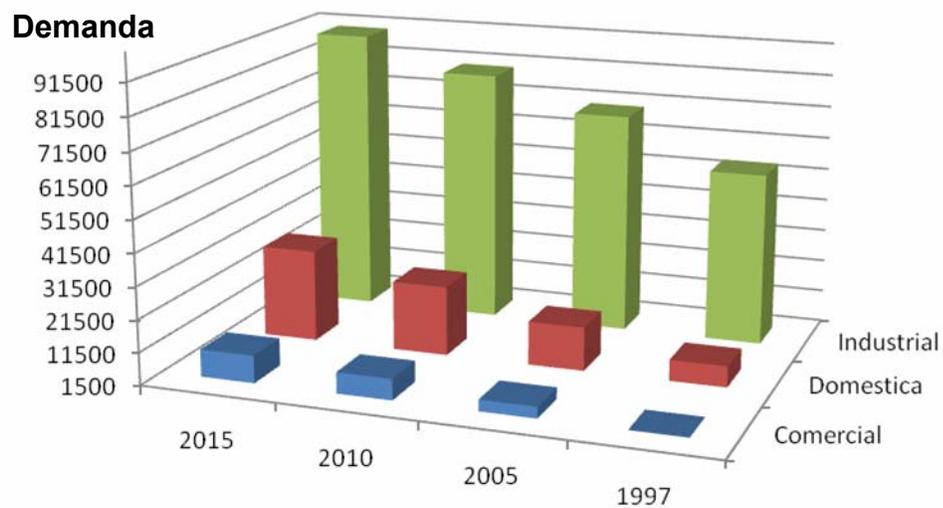


Figura 1.1 Proyección de la Demanda de Gas Domestico en Maturín

Fuente: Gasificación de la Ciudad de Maturín, una Alternativa para el Desarrollo Regional. PDVSA,

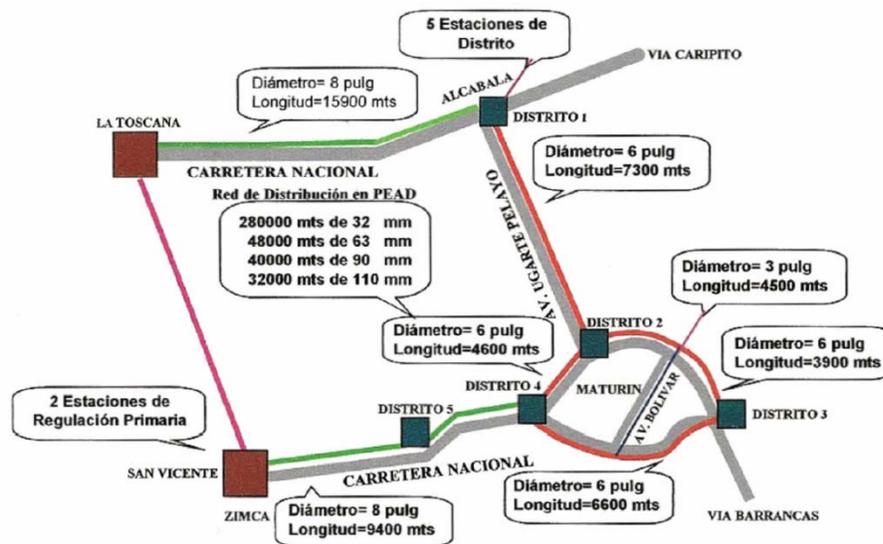


Figura 1.2 Diagrama Esquemático de la Red de Gas de Maturín

Fuente: Gasificación de la Ciudad de Maturín, una Alternativa para el Desarrollo Regional. PDVSA,

- Tabernero D, en el 2005 realizó una **Propuesta para el proyecto de las redes de distribución de gas seco por tubería como combustible domestico en el municipio autónomo de Maturín, estado Monagas**, en éste proyecto se diseño de una red de distribución de gas completamente de polietileno de alta densidad. El mismo comprende tres subsistemas de alta, media y baja presión. El estudio realizado por el autor, está proyectado para un suministro de gas seco en más de 90000 mpcnd a lo largo de 50 años, todo basado en la información suministrada por el instituto nacional de estadísticas.
- Calzadilla T. en el año 2005, realizó un **diseño de un sistema de distribución de gas metano en la ciudad de Anaco, Estado Anzoátegui**, mediante la recolección de información proveniente de

proyectos ya iniciados alrededor de la ciudad, además del cálculo de la demanda actual de gas para clientes industriales, comerciales y domésticos, la cual junto con el mapa cartográfico digital de la zona y con ayuda del simulador de redes de gas Stoner SynerGEE se ubicaron los clientes para generar los distintos sitios por los cuales se trazaron los tramos de tubería, para luego realizar la corrida de la simulación, basada en las ecuaciones para flujo de gas y definir el dimensionamiento de las redes obteniendo un modelo con una longitud de tubería de 4,2 km. para la red industrial de material acero y 400 km. para la red doméstica y comercial de polietileno de alta densidad y con la operación de dos estaciones de distrito (TPL9 Y T-27) con valores mínimos de presión entre 39 y 40 psig, proyectando un sistema de distribución con un consumo óptimo tomando en cuenta un crecimiento de población de más de 20 años.

CAPITULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Gas natural

En términos generales, el gas natural es una mezcla en proporciones variables de elementos de naturaleza tanto orgánica (parafinas) como inorgánica, los cuales pueden clasificarse como: Combustibles, diluyentes y contaminantes.

- ❖ **Combustibles:** Son los hidrocarburos que van desde el Metano hasta el Heptano e incluso hidrocarburos más pesados. Normalmente el Metano es el constituyente de mayor proporción en la mezcla.

- ❖ **Diluyentes:** Son compuestos inertes, no combustibles, considerados como agentes que disminuyen el poder calorífico del gas natural. Los más comunes son: Dióxido de Carbono, Nitrógeno, Oxígeno, Vapor de Agua, Helio, Argón, etc. Dependiendo de la concentración de estos compuestos, puede ser necesaria su remoción para cumplir con las especificaciones de calidad que debe tener el gas natural para su transporte y utilización.

- ❖ **Contaminantes:** Los contaminantes en el gas natural pueden causar daños (por efectos de corrosión) principalmente a las instalaciones metálicas que estén en contacto con el mismo. Para evitar aquello, y además para cumplir con las normas sanitarias que existen internacionalmente, estos deben ser eliminados o mantenidos a muy bajas concentraciones. Algunos de ellos tienen una acción tóxica y perjudicial para el medio ambiente. Los más comunes son: Nitrógeno,

Oxígeno, Vapor de Agua, Sulfuro de Hidrógeno, Disulfuro de Carbono, Sulfuro de Carbonilo, Mercaptanos, Azufre orgánico y libre. Los sólidos que pueden presentarse en el gas se consideran como suciedad y al igual que el contenido líquido deben eliminarse para conformar un gas limpio.

2.1.1 Clasificación del Gas Natural

De acuerdo a su localización en el subsuelo:

- ❖ Gas Asociado. Es el gas que se encuentra en un yacimiento donde predominan los hidrocarburos líquidos. Puede encontrarse disuelto en el petróleo o formando una capa de gas en la parte alta del yacimiento.
- ❖ Gas no Asociado. Llamado también gas libre. Es el producto único o con una proporción baja de hidrocarburos líquidos que se encuentra en el yacimiento.
- ❖ Gas Condensado. Es el gas que se encuentra en un yacimiento mezclado con Hidrocarburos líquidos.

De acuerdo a su composición:

- ❖ Gas Rico (húmedo). Es aquel gas natural del cual se puede obtener apreciables cantidades de hidrocarburos líquidos (C3I debido a que contiene alta proporción de componentes pesados. Es bastante utilizado en la petroquímica y en la elaboración de gasolina natural.

- ❖ Gas Pobre (seco). Es aquel gas natural formado prácticamente por metano (más de 90%). Se utiliza directamente. como combustible o en proyectos de mantenimiento de presión de yacimientos, también en la producción de hidrógeno.
- ❖ Gas Agrio. Es aquel gas natural que tiene un bajo contenido de compuestos de azufre, especialmente sulfuro de hidrógeno.
- ❖ Gas Dulce. Es aquel gas natural que no contiene o contiene muy poco compuestos de azufre, especialmente sulfuro de hidrógeno.

2.1.2 Gas Metano (Comercial)

El Gas Metano es un producto refinado, proveniente del procesamiento del gas natural, compuesto en más de un 70 % por metano (C14), además de etano, propano, butano y otros en menor cuantía, el gas metano es separado de los líquidos y se comercializa vía gasoductos. En la tabla 2.1 se muestra el porcentaje de los componentes del Gas Metano (Comercial), Entre los usos más comunes. del Gas Metano está el de combustible para la generación de electricidad, en la fabricación de aluminio, productos, siderúrgico, cemento y materiales de construcción, papel, cartón, textiles, vidrio, alimentos, etc.

Tabla 2.1. Análisis Cromatografico del Gas Natural

Componente	Intervalo %
Metano	81,64 – 82,21
Etano	7,81 – 8,49
Propano	0,68 – 0,70
Iso-Butano	0,08 – 0,10
Normal Butano	0,10 – 0,15
Iso-Pentano	0,04 – 0,07
Normal-Pentano	0,04 – 0,06
Hexano	0,04 – 0,06
Heptano y más pesados	0,05 – 0,09
Dióxido de Carbono	1 – 8
Sulfuro de Hidrogeno	0 – 1
Nitrógeno	0 – 3

2.1.3 Gas Natural Licuado (GNL)

Es el gas residual formado por metano en estado líquido. Esto se logra a $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ y presión atmosférica. Bajo estas condiciones el metano ocupa un volumen seiscientos (600) veces menor que en forma gaseosa, lo cual permite su transporte en barcos especialmente acondicionados llamados "metaneros". El gas natural licuado se regasifica en los puertos de recepción mediante la aplicación de calor en vaporizadores, para su posterior transporte hacia los centros de consumo industrial, comercial y doméstico.

2.1.4 Gas Natural Comprimido (GNC)

Otra de las formas de comercialización del gas natural es por vía de su almacenamiento, una vez comprimido, en tanques especiales bajo presiones de alrededor de 3500 Lb/pies^2 . Esta modalidad permite transportar con mayor facilidad el gas y no requiere sistemas de vaporización. Su mercado

varía desde el uso automotriz, hasta clientes industriales con el uso de tanques estacionarios, con consumos moderados y que no tengan acceso a redes de gas.

2.1.5 Gas Licuado de Petróleo (GLP)

El gas licuado de petróleo es una mezcla de hidrocarburos en estado líquido formado esencialmente por dos componentes del gas natural, propano y butano, los cuales permanecen en estado líquido a presiones moderadas y temperatura ambiente. El GLP se almacena y transporta en forma líquida. Posee mayor poder calórico que el GNL, siendo sus vapores más pesados que el aire, por lo que tienden a acumularse en las zonas más bajas, contrario a lo ocurre con el gas natural o metano que es más liviano que el aire.

2.1.6 Fracciones Licuables del Gas Natural

Las fracciones licuables del gas natural como son: etano, propano, butano y gasolinas naturales en forma líquida, son condensados en plantas de fraccionamiento que están formadas por torres de separación vertical donde el producto de fondo de una torre es la alimentación de la siguiente.

El proceso de fraccionamiento comienza con la torre Desetanizadora que recibe una mezcla de amplio rango de ebullición de etano, propano, butano y gasolinas naturales donde el producto condensado es el etano, luego sigue la Despropanizadora donde se extrae el propano, la torre siguiente es la Desbutanizadora donde el producto tope son los butanos que alimentaran a la Separadora de Butanos y el producto de fondo son las gasolinas naturales y finalmente se encuentra la Fraccionadora de gasolina

donde el producto de tope es la gasolina y el producto de fondo es un corte de residuos pesados.

Estos productos son de gran utilidad en la industria petroquímica, el etano y el propano, en la producción de etileno y propileno para la producción de plásticos y resinas; los butanos, en la producción de metil-terbutil-éter.

2.1.7 Importancia del Gas Natural

La importancia del gas natural se debe a que es un combustible eficiente, cuyas ventajas superan la disponibilidad, eficiencia y manejo de otros combustibles. Entre algunas ventajas que éste ofrece, se pueden mencionar las siguientes:

- ❖ Es limpio. No produce hollín ni mugre. Por lo tanto, los equipos en que se usa como combustible no requieren mantenimiento especial.
- ❖ Puede manejarse a presiones deseadas de entrega en los sitios de consumo.
- ❖ Su poder calorífico y combustión son altamente satisfactorios.
- ❖ Volumétricamente es susceptible a la compresión o expansión, en función a la relación presión-temperatura que se le desee imponer.
- ❖ Puede ser transportado por sistemas de tuberías madres, troncales y ramales, especialmente diseñadas, que permiten mantener rangos de volúmenes a presiones deseadas.
- ❖ Su entrega a clientes puede ser continua y directa a los artefactos donde debe consumirse, utilizando controles y reguladores, sin requerimientos de almacenaje en sitio o preocupación por volúmenes almacenados en el hogar, la oficina, el taller, la planta o fábrica.

- ❖ La reversibilidad gas-líquido-gas lo hace apto para el envasado en pequeños y seguros recipientes, fáciles de transportar, e instalar para suplir combustibles en sitios no servidos por red de tuberías de distribución. El gas licuado puede también transportarse en barcos, desde áreas remotas de producción y procesamiento a grandes terminales de almacenamiento que surten a industrias y a miles de clientes particulares.
- ❖ Por su eficiencia y poder calórico, su costo por volumen es muy económico.
- ❖ Las características de funcionamiento limpio y eficiente, su rendimiento y precio económico han logrado que cada día se expanda el mercado de gas natural para vehículos (GNV). Se ha comprobado que como combustible, el gas Metano es muchísimo menos contaminante del ambiente que otros como la gasolina y el Diesel.

2.1.8 Usos del Gas Natural

Entre las fuentes de energía, el gas natural se caracteriza por su eficiencia, limpieza y competitividad. El gas natural es también una energía versátil, que se puede emplear tanto en el hogar como en el comercio y la industria.

- ❖ EN EL HOGAR: El gas natural puede utilizarse en los hogares para cocinar, lavar y secar, y obtener agua caliente, calefacción y climatización. Y en el jardín, el gas natural permite cocinar en barbacoas y calentar patios y terrazas.

El gas natural ofrece la máxima economía en la climatización de los hogares, con equipos modulares que pueden adaptarse a gran parte de las

necesidades existentes. En el jardín, las barbacoas de gas natural ofrecen la máxima limpieza, puesto que no producen cenizas ni otros residuos sólidos.

- ❖ EN EL COMERCIO Y LA INDUSTRIA: El gas natural puede utilizarse en cualquier proceso de generación de calor o frío, en la cogeneración de energía térmica y eléctrica, y en la generación de electricidad. La combustión del gas natural permite regular mejor la temperatura de las cámaras de combustión de una extensa gama de equipos y aplicarla directamente al tratamiento de múltiples productos. Como combustible, el gas natural se utiliza en los sectores industriales que necesitan energía térmica limpia, eficaz y económica: hornos, fundiciones, tratamientos térmicos, cubas de galvanizado y calefacción de grandes locales (poli deportivos y naves industriales o comerciales). El gas natural también permite climatizar y generar frío para edificios y cámaras industriales o producir hielo para las pistas de patinaje.

Otra aplicación de actualidad y con un gran futuro es la cogeneración. La cogeneración con gas natural produce conjuntamente energía eléctrica (o mecánica) y calor útil para fábricas, centros sanitarios y hoteleros, y grandes complejos urbanísticos. La cogeneración con gas natural reduce en gran medida la emisión de contaminantes. El gas natural se utiliza cada vez más en la generación de electricidad en centrales térmicas convencionales o de ciclo combinado. Este proceso permite ahorrar energía, y además disminuir los niveles de contaminación.

- ❖ SECTOR PETROQUIMICO: Por su alto contenido en hidrógeno, el gas natural es la materia prima más utilizada en la producción de amoníaco para fertilizantes, así como en otras aplicaciones

petroquímicas. Materia prima, fertilizantes, plásticos, MTBE, alcoholes, aldehídos, acetileno, etc.

- ❖ SECTOR ELECTRICO: Turbogeneradores, turbinas a vapor, plantas de cogeneración y ciclos combinados.

2.2 Reservas de gas en Venezuela

Venezuela cuenta hoy en día con amplias reservas probadas de gas natural ubicándose como el octavo país del mundo con mayores reservas probadas de gas natural y el primero en América Latina, gracias a la importante participación del gas natural en el mercado energético nacional es posible también ahorrar gran cantidad de petróleo.

Las reservas probadas de gas en Venezuela alcanzan los 151 Billones de Pies Cúbicos de gas (BPC), y cuenta con un volumen de 40 billones de reservas posibles y una base de recursos aproximada de 196 billones de BPC, para totalizar un volumen de reservas de 427 billones de pies cúbicos. Según el Ente Nacional del Gas (ENAGAS), adscrito al Ministerio de Energía y Petróleo, de esta manera nuestro país pasará del octavo al tercer lugar como país con mayores reservas de gas en el mundo y el primero en América Latina.

El 50% de éstas se encuentra en nuestra plataforma continental Costa Afuera. Las mayores reservas de gas de Venezuela están ubicadas al norte y noroeste del territorio nacional, en las costas de la plataforma continental caribeña y atlántica, abarcando una extensión de más de 500 mil kilómetros cuadrados.

El 71% de las reservas probadas de gas se encuentran en la zona oriental de nuestro país, el 24% en la zona occidental, el 2.5% en el Norte de la península de Paria, el 2.4% en la Plataforma Deltana y el 0.14% en la zona sur. El 90.8% de estas reservas probadas de Gas Natural corresponden a gas asociado al petróleo y sólo el 9.2% al gas no asociado.

Entre los planes estratégicos de PDVSA, se encuentra el Proyecto de Gas Delta Caribe, cuyo plan contempla una actividad integral que a la par de las explotaciones de los campos petroleros, incorpora nuevas reservas, lo cual significa una intensa actividad exploratoria en la región Costa Afuera de la península de Paria.

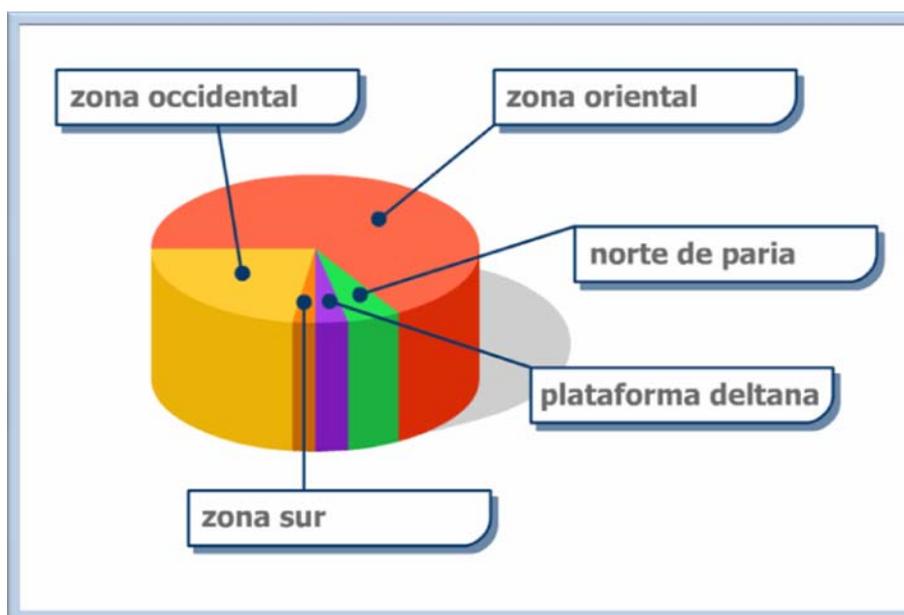


Figura 2.1. Distribución de Reservas Gasíferas en el Territorio Venezolano

Fuente: Sitio Web de PDVSA S.A

2.3 Proyecto de Gasificación Nacional

El Plan de Gasificación Nacional en Venezuela, a través de PDVSA GAS en un periodo comprendido entre los años 2004-2016, enmarcado dentro de los planes de desarrollo endógeno, beneficiara a mas de 3 millones de familias venezolanas con gas metano directo por tubería, el mismo es un hidrocarburo gaseoso, compuesto de carbono e hidrogeno, su fórmula es CH₄, es más ligero que el aire, incoloro, inodoro e inflamable. Por ello, se prevé la instalación de 16.000 kilómetros de redes de tubería PEAD (polietileno de alta densidad) y líneas internas de acero galvanizado en los hogares. Adicionalmente, se garantiza el servicio continuo de gas licuado de petróleo que normalmente es gaseoso a temperatura ambiente y presión atmosférica compuesto principalmente de Propano. Se contempla beneficiara a mas de 500 mil hogares ubicados en los sectores que debido a su topografía, accesibilidad, complejidad técnica, dispersión y baja densidad poblacional, no pueden ser beneficiados con gas directo en el corto plazo, mediante la construcción de 9 plantas comunitarias de llenado de cilindros (bombonas) ubicadas en diferentes estados del país.

El objetivo principal es gasificar sectores de ciudades ubicadas en 12 estados del país. Los estados son los siguientes: Distrito Capital, Miranda, Aragua, Carabobo, Lara, Anzoátegui, Falcón, Guárico, Bolívar, Monagas, Sucre, Nueva Esparta. El alcance de dicho proyecto es satisfacer la demanda de gas metano comercial para los sectores Industriales, Comerciales y Doméstico de las zonas anteriormente mencionada.

2.4 Transporte del Gas Natural

Un sistema de transmisión de gas natural comprende tuberías de alta presión que transportan gas entre puntos de abastecimiento y puntos de distribución a las áreas de consumo. El gas distribuido en las áreas de mercado ingresa al sistema de distribución a presión más baja para ser distribuida a los consumidores finales. El gas también puede ser transportado para su almacenaje o bien para su conexión a otros sistemas de transmisión.

Los sistemas de transmisión consisten de secciones de tubería interconectados y frecuentemente incluyen estaciones compresoras ubicadas a intervalos conforme a las necesidades de variación de presión del flujo de gas a través de las tuberías. La distancia entre estaciones compresoras consecutivas puede ser desde 48 Km a más de 241 Km, dependiendo de las condiciones del flujo como así también de los requerimientos económicos y las condiciones del terreno por donde se desarrolla el sistema. Las presiones de operación máximas de los sistemas de transmisión son generalmente mayores a 3.450 KPa y pueden llegar a los 10.340 KPa.

Los sistemas de transmisión del gas se pueden dividir en: sistema de recolección, facilidades de compresión y tratamiento, sistema de tuberías principales y sistema de distribución. Los gasoductos que comprenden los sistemas de recolección, troncales principales y los sistemas de distribución constituyen un medio muy económico para transportar el gas a largas distancias. En el diseño de gasoductos para transportar gas a largas distancias se deben considerar varios factores, como: naturaleza y cantidad del gas transportado, condiciones operacionales, tipo y perfil del terreno a ser recorrido y la distancia entre los extremos del gasoducto. La inversión inicial

representa los grandes costos asociados al transporte, puesto que los costos de operación son relativamente bajos.

Los sistemas de recolección están formados por una serie de tuberías de pequeño diámetro que convergen en tuberías de mayores diámetros o troncales principales, los cuales deben tener la capacidad para transportar la producción actual y los crecimientos previstos en el área. El sistema de distribución está conformado por una serie de tuberías de diámetros relativamente pequeños, que sirven para conducir el gas desde el centro de compresión hasta los centros de consumo o clientes. Las partes que conforman estos sistemas de distribución son:

- ❖ Línea Matriz. Conjunto de tuberías y accesorios en acero que permiten transportar el gas desde la estación receptora hasta las estaciones reguladoras.
- ❖ Línea Arteria. Conjunto de tuberías en un gasoducto urbano, que conducen el gas desde las estaciones reguladoras hasta los anillos.
- ❖ Anillo. Tubería que conduce el gas desde una línea arteria a una zona habitada, a la cual se conectan las acometidas para el consumo final.
- ❖ Acometida. Derivación comprendida entre una tubería de la red local de gas, generalmente un anillo, y el medidor de un inmueble que será alimentado con gas. El medidor forma parte de la acometida.
- ❖ Instalación Interna. Comprende las tuberías, válvulas y accesorios utilizados para conducir el gas desde el medidor hasta los aparatos de consumo.
- ❖ Medidor de Gas. Dispositivo utilizado para medir volúmenes de gas.
- ❖ Estación Receptora. Conjunto de aparatos, tuberías, válvulas y accesorios que reciben el gas de un gasoducto troncal o ramal y que

permiten la limpieza, la medición, la regulación de la presión y la odorización del gas.

- ❖ Estación Reguladora. Es el conjunto de aparatos, tuberías, válvulas, reguladores y accesorios que reciben el gas de una línea matriz y que permiten odorizar, disminuir y mantener constante la presión de entrega de gas.
- ❖ Odorización. Acción de agregar una sustancia química de olor característico a un producto inodoro para hacerlo fácilmente detectable en el evento de fugas o escapes.
- ❖ Para tender la tubería en el mar, se usara el sistema de boyas, esto obliga a que las secciones o sartas de tubería se preparen previamente en tierra. Las tuberías usadas como boyas para ayudar la flotabilidad de las líneas submarinas se instalan en el punto medio de las tuberías previamente determinadas.

Usando el sistema de flotamiento de tubería, los cálculos de pesos versus flotabilidad, deben ser calculados correctamente para evitar que la tubería flote superficialmente o se hunda hasta el fondo marino haciendo imposible que las demás sartas de tuberías puedan ser soldadas en tierra para luego ser jaladas por el barco remolcador.

La tubería debe ir flotando cerca del fondo marino para no tener problemas con la navegación artesanal de la zona. A medida que el remolcador se acerque a la plataforma, las ultimas sartas se irán liberando de las boyas para que las mismas se vayan hundiendo hacia el fondo marino y luego ser suficientemente ancladas para soportar tanto los cambios de las corrientes marinas como su flotabilidad.

2.4.1 Gasoductos

Consiste en un conjunto de tuberías y accesorios que permiten la conducción del gas, por las que el gas circula a alta presión, desde el lugar de origen. Se construyen enterrados en zanjas y se entierran a una profundidad típica de 1 metro. Excepcionalmente, se construyen sobre la superficie. Por razones de seguridad, las regulaciones de todos los países establecen que a intervalos determinados se sitúen válvulas en los gasoductos mediante las que se pueda cortar el flujo en caso de incidente. Además, si la longitud del gasoducto es importante, pueden ser necesarias estaciones de compresión a intervalos.

El inicio de un gasoducto puede ser un yacimiento o una planta de regasificación, generalmente situada en las proximidades de un puerto de mar al que llegan buques (para el gas natural, se llaman *metaneros*) que transportan gas natural licuado en condiciones criogénicas a muy baja temperatura (-161°C).

Para cruzar un río en el trazado de un gasoducto se utilizan principalmente dos técnicas, la perforación horizontal y la perforación dirigida. Con ellas se consigue que tanto la flora como la fauna del río y de la ribera no se vean afectadas. Estas técnicas también se utilizan para cruzar otras infraestructuras importantes como carreteras, autopistas o ferrocarriles. El tendido por mar se hace desde barcos especialmente diseñados, los cuales van depositando sobre el lecho marino la tubería una vez soldada en el barco.

2.4.1.1 Importancia de los Gasoductos

La principal ventaja del gasoducto sobre transportes alternativos es su economía y su seguridad. Su impacto ambiental es mínimo, puesto que la zona por la que discurre se restaura y, al cabo de pocas semanas, salvo por la señalización correspondiente, no se distingue su trazado. Antes de tenderlo, se realiza un estudio medioambiental y otro arqueológico.

2.4.1.2 Clasificación de Gasoductos Dependiendo de la Ubicación

- ❖ GASODUCTO URBANO. Conjunto de tuberías y accesorios que conforman una red de distribución de gas, dentro de una población para atender el suministro domiciliario residencial, comercial y/o industrial de este combustible.

- ❖ GASODUCTO TRONCAL. Conjunto de tuberías y accesorios para transportar gas desde las fuentes de abastecimiento hasta las estaciones receptoras, y que alimenta; directamente o a través de ramales, gasoductos urbanos, industrias y termo eléctricas.

- ❖ GASODUCTO RAMAL. Conjunto de tuberías y accesorios para transportar gas, que se deriva de un gasoducto troncal y alimenta gasoductos urbanos, industrias y termoeléctricas. El ramal podrá hacer parte del gasoducto troncal.

2.5 Tipos de tuberías

Una gran variedad de tubos y otros conductos, se encuentran disponibles para el abastecimiento de gases o líquidos a los componentes

mecánicos, o desde una fuente de abastecimiento a una máquina, en la actualidad, existen muchos tipos de tuberías y en base al material de construcción, se pueden nombrar las siguientes:

2.5.1 Tuberías de Polietileno

Normalmente se usa polietileno en las tuberías instaladas hasta la estación de reducción de presión de la industria. Son adecuadas cuando se trata de tuberías enterradas y cuando normalmente las presiones son inferiores a 6 bar.



Figura 2.2. Tubería de Polietileno de Alta Densidad

2.5.2 Tuberías de Acero

Las tuberías de acero se pueden instalar en toda la red de distribución e instalaciones que van desde la estación de regulación hasta el aparato de consumo. Las tuberías de acero siempre deben ser protegidas contra corrosión.



Figura 2.3. Tubería de Acero Galvanizado

2.5.3 Tuberías de Cobre

Las tuberías de cobre también se usan en las instalaciones industriales, normalmente cuando las presiones son inferiores a 6 bar y se recomienda su uso en instalaciones aéreas o visibles.

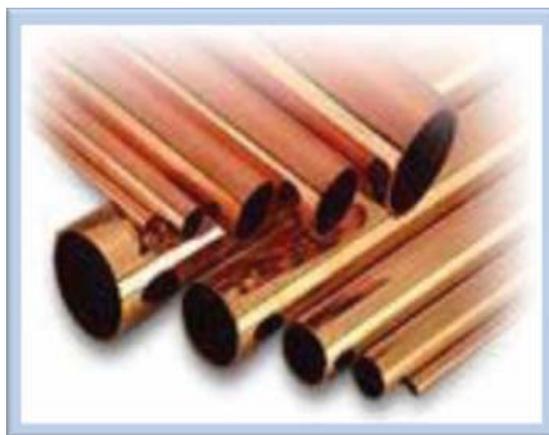


Figura 2.4. Tubería de Cobre

2.6 Redes de Distribución de Gas Metano

Es un arreglo de tuberías interconectadas entre sí en forma de malla o circuito que se utilizan para distribuir el gas directo a clientes domésticos y comerciales en una ciudad o región. El objetivo principal es llevar el gas metano desde los centros de producción hasta los sitios donde se requiere o se consume. La red domestica opera con un rango de presión de 60 psig y están conformadas por tuberías de polietileno de alta densidad (PEAD), sus diámetros son de 32, 63, 90 Y 110 mm, estas poseen un cable espía a lo largo de su recorrido para facilitar su detección y ubicación exacta.

Las tuberías se encuentran enterradas en las aceras o calzadas de las calles, su profundidad oscila entre 0,65 a 0,80 m. medido desde la parte superior del tubo hasta el nivel del suelo, también se construyen acometidas de tipo residencial y/o comercial que tienen una tranquilla donde está alojada la válvula de bloqueo del suministro, denominada F4. Así mismo, en cada esquina de las urbanizaciones, por lo general, existen válvulas para el seccionamiento de las líneas.

Las redes domesticas están totalmente odorizadas, lo cual se realiza en las estaciones de distrito y consiste en darle olor al gas mediante un compuesto químico llamada terbutil-mercaptano, con el fin de proporcionarle al usuario una forma fácil de detectar posibles fugas. Para verificar los niveles de concentración del odorante se tornan muestras mensuales con tubos colorímetros en los puntos más extremos del área de influencia de cada estación de distrito, se considera que el mercaptano es detectable al olfato humano si el valor de la muestra está entre 2.5 y 7 ppm. Un sistema de distribución por redes permite que el servicio llegue en forma continua y segura a los usuarios, sin requerimiento de almacenamiento, por ductos de

alta resistencia como lo son las tuberías. Este sistema en forma general está compuesto por el gasoducto, el ramal principal que se deriva del gasoducto, la estación de distrito y las redes de gas doméstico.

2.7 Propiedades físicas de los fluidos

Para diseñar tramos y red de tuberías donde el fluido que se vaya a transportar sea gas, es imperativo conocer sus propiedades físicas, los diversos modelos matemáticos y sus limitaciones; con la finalidad de predecir el caudal que puede ser transportado a través de la tubería, bajo condiciones de presión y temperatura preestablecidas. Las propiedades físicas que afectan al flujo son principalmente, la viscosidad, la densidad y la gravedad específica.

2.7.1 Viscosidad

La viscosidad es la medida de la facilidad que tiene un fluido, para fluir cuando se le aplica una fuerza externa. El coeficiente de viscosidad absoluta, o simplemente la viscosidad absoluta de un fluido es una medida de su resistencia al desplazamiento o a sufrir deformaciones internas. La viscosidad de un gas aumenta con la temperatura, pero la viscosidad de un líquido disminuye con la temperatura.

2.7.2 Densidad

La densidad de una sustancia es su masa por unidad de volumen. También se define como el inverso del volumen específico. El efecto de la presión sobre la densidad de los líquidos carece de importancia en los problemas de flujo de fluidos; sin embargo, las densidades de los gases y

vapores deben ser consideradas, puesto que éstas varían grandemente con la presión.

2.7.3 Gravedad Específica de un Gas

Se define como la relación entre la densidad de un gas y la densidad del aire a las mismas condiciones de presión y temperatura, o como la razón entre el peso molecular del gas y el peso molecular del aire.

$$G = \frac{\rho(\text{gas})}{\rho(\text{aire})} \Big|_{p,T} = \frac{M(\text{gas})}{M(\text{aire})} \quad \text{Ec. 1}$$

2.8 Regimenes de flujo de fluidos en tuberías.

2.8.1 Flujo Laminar

En el flujo laminar las partículas del fluido se mueven a lo largo de trayectorias lisas en capas o láminas, deslizándose una fina capa sobre la adyacente con solo un intercambio molecular de cantidades de movimiento. En este tipo de flujo la acción de la viscosidad frena la tendencia a la turbulencia.

2.8.2 Flujo Turbulento

El flujo turbulento es el más frecuente en las aplicaciones prácticas de la ingeniería. Esta clase de flujo las partículas del fluido (pequeñas masas moleculares) se mueven siguiendo trayectorias muy irregulares, originando un violento intercambio de cantidad de movimiento de una porción del fluido a otra.

2.8.3 Fluidos Newtonianos

Son fluidos en los cuales la viscosidad, es independiente del esfuerzo cortante o del tiempo. La mayoría de los líquidos y todos los gases pertenecen a este grupo.

2.8.4 Fluidos no Newtonianos

Son fluidos en los cuales la viscosidad, depende del esfuerzo cortante o del tiempo. Ejemplo de estos fluidos son, las lechadas, emulsiones y la mayoría de los líquidos con viscosidad mayor de 20 Pa a baja tasa de esfuerzo cortante.

2.8.5 Fluido Compresible

El flujo se considera compresible, cuando la caída de presión debida al paso de un gas por un sistema, es lo suficientemente grande, en comparación con la presión de entrada, para ocasionar una disminución del 10% o más en la densidad del gas.

2.8.6 Fluido Incompresible

El flujo es incompresible, si la sustancia en movimiento es un líquido, o si se trata de un gas cuya densidad, cambia el valor en el sistema en un valor no mayor al 10%.

2.8.7 Número de Reynolds

Las investigaciones de Osborne Reynolds han demostrado que el régimen de flujo en tuberías (laminar o turbulento) depende de cuatro variables que son: diámetro de la tubería, velocidad de flujo, densidad y viscosidad del fluido. El valor numérico de una combinación adimensional de estas cuatro variables, conocido como el número de Reynolds puede considerarse como la relación de las fuerzas dinámicas de la masa del fluido respecto a los esfuerzos de deformación ocasionados por la viscosidad.

2.9 Ecuaciones más importantes empleadas para el transporte y distribución de gas natural

2.9.1 Ecuación para Flujo Isotérmico

El flujo de gases en tuberías largas se aproxima mucho a las condiciones isotérmicas. La pérdida de presión en tales tuberías es a menudo grande con relación a la presión de entrada, y la solución de este problema cae fuera de los límites de la ecuación de Darcy. Una determinación exacta de las características del flujo dentro de esta categoría puede hacerse utilizando la ecuación para flujo totalmente isotérmico.

$$Q = 38,77 * \left(\frac{T_b}{P_b}\right) * \sqrt{\frac{1}{f_f}} * \sqrt{\frac{(P_1^2 - P_2^2) * d^5}{G * T_f * L_m}} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

Q = Tasa de flujo a condiciones base (PCND)

T_b = Temperatura base o de contrato (normalmente 520 °R)

$P_b =$ Presión base o de contrato (14,7 lpca)

$d =$ Diámetro (pulg)

$P_1 =$ Presión de entrada del sistema (lpca)

$P_2 =$ Presión de salida del sistema (lpca)

$G =$ Gravedad específica del gas (adimensional)

$T_f =$ Temperatura promedio del gas en el sistema a condiciones de flujo ($^{\circ}\text{R}$)

$L_m =$ Longitud de la tubería (millas)

$f_f =$ Factor de fricción de Fanning (adimensional)

Esta ecuación es completamente general para flujo de estado estacionario, y considera adecuadamente variaciones en la energía cinética, presión, y temperatura para cualquier sección de tubería.

Esta fórmula se desarrolla en base a las siguientes hipótesis:

- ❖ Flujo isotérmico.
- ❖ No se aporta ni se realiza trabajo mecánico sobre o por el sistema.
- ❖ La velocidad de flujo o descarga permanece constante con el tiempo.
- ❖ El gas responde a las leyes de los gases perfectos.
- ❖ La velocidad puede ser representada por la velocidad media en una sección.
- ❖ El factor de fricción es constante a lo largo de la tubería.
- ❖ La tubería es recta y horizontal entre los puntos extremos.
- ❖ La aceleración puede despreciarse por ser tubería larga.

2.9.2 Ecuación de Weymouth

Existe una amplia gama de modelos matemáticos aplicables al cálculo del flujo de gas en tuberías. Uno de los pioneros en el desarrollo de dichos modelos fue Thomas R. Weymouth, quien a partir de datos operacionales dedujo un modelo para tal fin. Este modelo ha sido intensivamente probado y se han propuesto modificaciones para mejorar su exactitud y utilidad.

Esta ecuación y algunas otras han sido derivadas por Jonson y Berward, a partir de un balance de energía que concluye en que todas estas relaciones caen dentro de la fórmula general:

$$Q = 1,6156 * \left(\frac{T_b}{P_b} \right) * \sqrt{\frac{(P_1^2 - P_2^2) * d^2}{G * T_f * L_m * f}} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

Q = Tasa de flujo a condiciones base (pie³/h)

T_b = Temperatura base o de contrato (normalmente 520 °R)

P_b = Presión base o de contrato (14,7 lpca)

P_1 = Presión de entrada del sistema (lpca)

P_2 = Presión de salida del sistema (lpca)

d = Diámetro (pulg)

G = Gravedad específica del gas (adimensional)

$T_f =$ Temperatura promedio del gas en el sistema a condiciones de flujo ($^{\circ}\text{R}$)

$L_m =$ Longitud de la tubería (millas)

$f =$ Coeficiente de transmisión (adimensional)

El factor de transmisión es función del número de Reynolds (Re). Las investigaciones realizadas en torno al factor de fricción y factor de transmisión, en las ecuaciones utilizadas para el cálculo de la capacidad de caudal de un sistema de redes y tuberías de gas, caen dentro de cuatro (4) clasificaciones. Para Weymouth identificamos una de ellas, que sería donde el coeficiente de fricción es una constante numérica, por tanto:

$$Q = \frac{f}{d^{0.333}} \quad \text{Ec. 4}$$

Este valor expresado en términos del factor de transmisión, quedaría así:

$$\sqrt{\frac{1}{f}} = (11,96)D^{1/6} \quad \text{Ec. 5}$$

Luego si el valor de f , se sustituye en la ecuación 1 y si la tasa de flujo se expresa en pies cúbicos normales por día (PCND) la ecuación de Weymouth se reduce:

$$Q = 433,488 * \left(\frac{T_b}{P_b}\right) * \sqrt{\frac{(P_1^2 - P_2^2) * d^{16/3}}{G * T_f * L_m}} \quad \text{Ec. 6}$$

2.9.3 Ecuación de Panhandle

Tal como se ha explicado en el caso de la ecuación de Weymouth la ecuación de Panhandle, se ha considerado una de las formulas que mayor uso ha tenido en la industria del gas natural para diseño de tuberías.

A diferencia de la ecuación de Weymouth, la ecuación de Panhandle se emplea para diseño de tubería de alta presión y gran diámetro, dónde la tasa de flujo puede variar notablemente.

Esta ecuación es una de las más usadas para el cálculo de largas líneas de transmisión.

$$Q = (435,87) * E * \left(\frac{T_b}{P_b}\right)^{1,0788} * D^{2,6182} * \left[\frac{(P_1^2 - P_2^2)}{G^{0,8539} * T_f * L * Z_f}\right]^{0,5392} \quad \text{E}$$

Donde:

Q = Tasa de flujo a condiciones base (PCND)

T_b = Temperatura base o de contrato (normalmente 520 °R)

P_b = Presión base o de contrato (14,7 lpca)

D = Diámetro (pulg)

P_1 = Presión de entrada del sistema (lpca)

$P_1 =$ Presión de salida del sistema (lpca)

$G =$ Gravedad específica del gas (adimensional)

$T_p =$ Temperatura promedio del gas, por lo general es constante (535°R)

$L =$ Longitud de la tubería (millas)

$Z_p =$ Coeficiente de fricción (adimensional)

$E =$ Eficiencia del gasoducto, la cual depende de la rugosidad y edad del mismo, así como también de las características del gas transportado por lo general se considera un valor de 88,5% como normal

El coeficiente de fricción de Panhandle es función del número de Reynolds:

$$\sqrt{\frac{1}{f}} = (11,9616,5) R_e^{0,01961} \quad \text{Ec. 8}$$

2.9.5 Factor de Compresibilidad

-
- El efecto de la compresibilidad deberá compensarse adecuadamente en tuberías de gas de alta presión, a fin de hacer las predicciones con exactitud. Existen argumentos acerca del mejor método de aplicar el factor Z.
- Al desarrollar la forma general de las diferentes ecuaciones de flujo, así con la ecuación de Weymouth, la aplicación de las leyes para los gases reales:
-

$$P * V = Z * n * R * T$$

Entonces se puede decir:

$$\left(\frac{P}{Z}\right) * V = n * R * T \quad \text{Ec.}$$

Sabiendo que P se refiere a $\left(\frac{P}{Z}\right)$, se puede utilizar el factor de compresibilidad como un promedio (Z_P) y se podría decir que la expresión $(P_1^2 - P_2^2)^{1/2}$ se transforma en:

$$\frac{\sqrt{P_1^2 - P_2^2}}{Z_P} \quad \text{Ec.}$$

Quedando para la ecuación de Weymouth reflejado de la siguiente manera

$$\sqrt{\left(\frac{P_1}{Z_1}\right)^2 - \left(\frac{P_2}{Z_2}\right)^2} \quad \text{Ec.}$$

Este cambio en la ecuación principal, frecuentemente conlleva a errores a la hora de evaluar el Z. Este tipo de complicaciones, de alguna forma pueden también afectar el cálculo de la caída de presión en la tubería, sobre todo cuando se trabaja a altas presiones y longitudes grandes. En vista que cuando se trabaja a presiones bajas y longitudes cortas, el error puede ser aceptable, siempre y cuando no sea mayor al 3%.

2.9.6. Velocidad de Flujo

Al obtener una caída de presión dentro de los parámetros permisibles, se procedía a verificar la velocidad del flujo, teniendo en cuenta que ese valor, no deberá superar los 60 pie³/seg. (Norma COVENIN 928-2008). La ecuación a utilizar para calcular la velocidad es la siguiente:

$$V = \frac{0.00145 \times Q \times T_1}{d^2 \times P_1} \quad \text{Ec. 13}$$

Donde:

$V =$ Velocidad del gas (pie/seg)

$T_1 =$ Temperatura inicial o de entrada al sistema (°R)

$P_1 =$ Presión inicial o de entrada al sistema (lpca)

$Q =$ Tasa de flujo ($\frac{\text{Pie}^3}{\text{seg}}$)

$d =$ Diámetro de la tubería (pulg)

En caso de obtener velocidades mayores a la permisible se supone un diámetro mayor y se repite todo el procedimiento de cálculo y verificación. Una vez obtenido el diámetro adecuado se procede al cálculo del tramo siguiente de tubería y así sucesivamente hasta tener dimensionado todo el sistema de tubería.

2.10 Selección de La Ecuación de Flujo

En las siguientes tablas, se presentan una serie de consideraciones para la escogencia de ecuaciones de flujo para el diseño de sistemas de distribución de gas propuestas por diversos autores.

Tabla 2.2 Consideraciones para aplicar la ecuación de Weymouth.

EXXON	Para tuberías menores de 12".	BUENA
M. Martínez	Para: $2" < D < 16"$	BUENA
I.G.T.	Flujo completamente turbulento, altas presiones y $D < 20"$	BUENA
I.G.T.	Flujo parcialmente turbulento, mediana a alta presión y $d < 20"$.	CONSERVADORA
No se recomienda para diámetros menores de 2".		

Tabla 2.3 Consideraciones para aplicar la ecuación de Panhandle

EXXON	Para tuberías mayores de 12".	RECOMENDABLE
M. Martínez	Para: $4 \times 10^6 < Re < 40 \times 10^6$, $D > 16"$.	BUENA
I.G.T.	Para altas temperaturas, flujo parcialmente turbulento, $Re > 300.000$.	BUENA
I.G.T.	Para distribución, para presiones medianas y altas, $D > 16"$.	RELATIVAMENTE BUENA

En general se puede señalar que para el diseño y operación de los Sistemas de Distribución de Gas se requiere contar con una ecuación que relacione las distintas variables que afectan el flujo de gas. En el régimen

turbulento una de las ecuaciones que mejor se aproxima al comportamiento del gas es la ecuación de Panhandle modificada.

2.11. Métodos de cálculos para resolver redes de gas

El cálculo de la caída de presión para una sola tubería requiere solamente de la aplicación de la ecuación de flujo. Sin embargo, en un sistema de distribución la mayor parte de las tuberías están interconectadas formando una red.

A consecuencia de la interconexión entre los diferentes tramos, el gas puede fluir desde la fuente hasta los nodos de consumo, y en diferentes vías y a distintas tasas de flujo. Por eso, cuando se habla de resolver una red, se quiere especificar el cálculo del caudal en cada tramo y la presión en cada nodo.

A continuación se presentan el método de Hardy Cross, usualmente empleado para el dimensionamiento de las redes de suministro de gas.

2.11.1 Método de Hardy Cross

El fundamento matemático de la mayoría de los métodos de cálculo utilizados en redes de gas tienen su base en la teoría general de Hardy Cross que, a su vez, proviene de una aplicación directa de las leyes de Kirchoff, las cuales establecen:

- En todo nodo, la sumatoria algebraica de los flujos que entran y salen es igual a cero.

- En un circuito cerrado o red, la suma algebraica de las pérdidas de carga es igual a cero.
- La pérdida de carga total (h) para una cierta longitud de tubería (L) y una pérdida de carga unitaria (α) es igual a:

$$h = \alpha * L * Q^n \quad \text{Ec. 14}$$

se puede decir que la resistencia de la tubería, se expresa de la siguiente manera:

$$r = \alpha * L \quad \text{(Ec. 15)}$$

Y por lo tanto

$$h = r * Q^n \quad \text{(Ec. 16)}$$

El procedimiento para cerrar redes de gas se basa en el cálculo de un ajuste (ΔQ_0) para un caudal de flujo (Q_0) previamente asignado, de tal manera que la nueva tasa de flujo, en el tramo referido, será:

$$Q_n = Q_0 + \Delta Q_0 \quad \text{(Ec. 17)}$$

Las leyes de Kirchoff seguirán siendo validas en cada uno de los nodos de la red. La pérdida de carga total con el caudal corregido será:

$$h = r * (Q_0 + \Delta Q_0)^n \quad \text{(Ec. 18)}$$

Entonces para cada nodo:

$$h = r * (Q_0 + \Delta Q_0)^n = r * (Q_0^n + n Q_0^{n-1} * \Delta Q_0 + \dots)$$

(Ec. 19)

Si ΔQ_0 es pequeña comparada con Q_0 todos los términos de la serie posteriores al segundo pueden ser despreciados, entonces la serie queda reducida a:

- $h = r * (Q_0 + \Delta Q_0)^2$

(Ec. 20)

-

Desarrollando la ecuación:

- $h = r * Q_0^2 + 2r * Q_0 * \Delta Q_0 + r * \Delta Q_0^2$

(Ec. 21)

-

Aplicando la Ley de Mallas: ($\sum h = 0$):

$$\sum h = \sum (r * Q_0^2 + 2r * Q_0 * \Delta Q_0) = 0$$

(Ec. 22)

Despejando de la ecuación ΔQ_0 se obtiene la ecuación para el ajuste del caudal:

$$\Delta Q_0 = -\frac{\sum_{i=1}^n r_i * Q_i^2}{2 * \sum_{i=1}^n r_i * Q_i}$$

(Ec. 23)

Usando la ecuación de Weymouth para el cálculo de cada tramo:

$$Q = K * \sqrt{\frac{P_1^2 - P_2^2}{L}}$$

(Ec. 24)

Donde K, es el coeficiente de Weymouth expresado de la forma:

$$K = C * d^{8/3} \quad (\text{Ec. 25})$$

C es llamada la constante de Weymouth y se representa así:

$$C = \frac{(433.488) * T_b}{P_b * \sqrt{G} * \sqrt{T_f}} \quad (\text{Ec. 26})$$

La ecuación 24 se puede expresar de la forma:

$$\Delta P^2 = K^{-2} * Q^2 * L \quad (\text{Ec. 27})$$

Si se comparan las ecuaciones 14 y la 27 se concluye que $n=2$, $\alpha=K^{-2}$ y que la pérdida de carga, es igual a la diferencia de los cuadrados de las presiones ($h=\Delta P^2$).

Para el cálculo de los caudales de cada tramo de la malla, el factor de corrección del caudal queda reducido a la forma:

$$\Delta Q_0 = -\frac{\sum_{i=1}^n Q_i^2 * L_i}{2 * \sum_{i=1}^n Q_i * L_i} \quad (\text{Ec. 28})$$

Para el cálculo de las presiones de cada nodo de la red, el diámetro será una función directa de la caída de presión, como se demuestra en la siguiente Ecuación:

$$\Delta Q_0 = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i^2 \cdot L_i}{K_i^2} \quad (\text{Ec. 29})$$

2.12 Pasos para el Diseño de Sistemas de Transporte y Distribución de Gas Natural

2.12.1. Normas, Códigos y Estándares

Al diseñar, construir, operar y hacer trabajos de mantenimiento de los Sistemas de Transporte y Distribución, se deberá cumplir con las normas y regulaciones aplicables, emitidas por organismos nacionales, estatales y locales de Venezuela. Es aplicable la última edición, incluyendo revisiones, anexos y agendas de todos los códigos y normas indicadas. En caso de conflicto entre las mismas, se aplicará el criterio más estricto y conservador.

2.12.2. Clasificación de Área por densidad poblacional

La intención de la clasificación de área poblacional es lograr una adecuada seguridad de las personas que se encuentran en los alrededores de las instalaciones de la línea de gas. Para el diseño de redes Industriales y doméstica, no se usa este criterio, por las bajas presiones de estos sistemas.

2.12.3. Presiones del Proceso.

2.12.3.1. Máxima Presión de Operación Permitida

Es la presión utilizada para determinar el ajuste de los dispositivos de alivio, cierre o limitadores de presión, instalados para proteger al usuario y al sistema de tuberías en caso de sobrepresión accidental o por falla de algún dispositivo de regulación o aumento de temperatura.

2.12.3.2. Presión Normal de Operación

Utilizada para determinar requerimientos de diámetros de tuberías y limitaciones de caídas de presión.

2.12.3.3. Presión de Operación Futura

Considera dimensionamiento para condiciones futuras, tales como declinación de yacimientos.

2.12.4. Temperatura del Proceso

2.12.4.1. Temperatura de Diseño

Extrema temperatura a la cual estará sujeta la línea durante su operación.

2.12.4.2. Temperatura Normal de Operación.

Utilizada para determinar requerimientos de diámetros

2.12.5. Demanda de gas.

Es el flujo de gas requerido para el funcionamiento a plena carga de un equipo.

2.12.6 Dimensionamiento de la Tubería de Transporte

El dimensionamiento de tuberías engloba lo siguiente:

- ❖ Establecer las condiciones operacionales: flujo, temperatura, presión y Composición del fluido.
- ❖ Considerando criterios de límites de velocidad, calcular el rango de diámetro interior permisible.
- ❖ Calcular el espesor de pared utilizando el criterio de máxima presión de trabajo permisible.
- ❖ Calcular las capacidades máximas y mínimas de acuerdo a los criterios de velocidad.
- ❖ Estimar caída de presión y comparar con caída de presión permitida.
- ❖ Repetir pasos previos hasta alcanzar las mejores condiciones de diseño para la operación esperada.
- ❖ Revisar el dimensionamiento obtenido con el resto de la configuración del sistema en general y de las facilidades de control.

- ❖ Diseñar los soportes de la tubería y realizar análisis de esfuerzos, en caso de requerirse.
- ❖ Otros detalles: Materiales para tubería de acero, mínimo espesor de pared, conexiones, derivaciones, revestimiento, Protección Catódica, aislamiento, señalización.
- ❖ Para el dimensionamiento de tuberías se usa un simulador de flujo de gas en tuberías, el cual hace todos los cálculos de los parámetros nombrados anteriormente.

2.13. Equipos y accesorios en los sistemas de transporte y distribución de gas natural.

Las presiones que van a manejar estos sistemas de transmisión de Gas van de 400 psig a 1.000 psig, debido a esto se tienen que incorporar una serie de equipos y accesorios que permiten el transporte de gas a alta presión, así como su monitoreo y control de condiciones. Entre otras cosas, estos equipos van a permitir las acciones operacionales que permiten manejar situaciones extraordinarias, tanto por razones inesperadas, como por situaciones programadas o de mantenimiento. Entre estos equipos podemos mencionar los siguientes:

2.13.1 Válvulas

Son dispositivos utilizados en las tuberías para controlar, abrir o cerrar el suministro de gas a una sección de un sistema de tuberías o a un artefacto.

2.13.1.1. Válvulas de seguridad

Son válvulas de descarga automática y tienen la función de mantener la presión bajo un límite máximo previamente fijado.



Figura 2.5. Válvula de Seguridad

2.13.1.2 Válvulas de Bloqueo

Estas válvulas se diferencian de la anterior porque cortan totalmente el flujo de gas natural que circula por la tubería cuando la presión regulada supera el valor admisible.



Figura 2.6. Válvula de Bloqueo

2.13.2. Medidores

Son equipos que miden el volumen de gas que fluye a través de una tubería.

2.13.3. Regulador

Dispositivo para la regulación de presión, estos son utilizados en las estaciones de regulación, también pueden usarse en las líneas de transmisión.

2.13.4 Acometidas

Tramo de tubería comprendido entre la red de distribución y la derivación del servicio, incluye la válvula de acometida y su correspondiente tranquilla. Pueden tener reguladores o no.

2.13.5 Estaciones de Regulación y Medición

Son instalaciones que tienen la función de filtrar el gas y reducir y estabilizar su presión, manteniéndola constante en su salida, dentro de unos límites previamente determinados, independientemente de la presión de entrada y de los caudales circulantes. Asimismo, incorporan los equipos de medición e instrumentación necesarios para la medida del volumen de gas emitido a través de ellas

2.14. Herramientas tecnologicas para el diseño de la red de distribucion y transporte de gas naturalpara uso domestico.

2.14.1. AutoCAD 3D 2010

Es un programa de diseño asistido por computadora para dibujo en dos y tres dimensiones. Actualmente es desarrollado y comercializado por la empresa Autodesk. El término AutoCAD surge como creación de la compañía Autodesk, teniendo su primera aparición en 1982. AutoCAD es un software reconocido a nivel internacional por sus amplias capacidades de edición, que hacen posible el dibujo digital de planos de edificios o la recreación de imágenes en 3D.



Figura 2.7. Portada de Presentación del AutoCAD 3D 2010

2.15.2. Stoner SYNERGEE 4.3.2

El Software Stoner SYNERGEE 4.3.2, consiste en un programa de simulación específicamente para el modelado y análisis de presiones en estado estacionario y flujo en sistemas de transporte y distribución de gas que surten a un área metropolitana entera. Está en la capacidad de analizar en circuitos cerrados de tuberías: reguladores, válvulas, compresores, estaciones de distrito, velocidad del flujo, etc. y es completamente gráfico; la red que este siendo analizada puede ser creada, manipulada, resuelta y presentada en dos dimensiones.



Figura 2.8. Imagen de Presentación del Simulador

Stoner SynerGEE Gas 4.3.2

El simulador Stoner SynerGEE permite elegir entre una amplia gama de ecuaciones para realizar los cálculos en las redes. Entre las ecuaciones con las que cuenta este simulador, se pueden mencionar:

- Ecuación Fundamental con Factor de Fricción Constante.
- Ecuación Fundamental con Factor de Fricción Dependiente del Flujo.
- Ecuación de distribución del Institute Gas Technology (IGT).
- Ecuación A de Panhandle.
- Ecuación B de Panhandle.
- Ecuación de Spitzglass para Baja para Presión.
- Ecuación de Spitzglass para alta Presión.
- Ecuación de Weymouth.

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de Investigación

De acuerdo al problema planteado, referido al diseño de la red de distribución de gas natural para uso domestico en el sector Las Cocuizas del municipio Maturín, estado Monagas, y en función de sus objetivos, la presente investigación se enmarca dentro de los postulados del tipo de investigación denominado Proyecto Factible.

Balestrini Miriam, (2001), en su obra: ¿Cómo se elabora un proyecto de investigación? (Para los estudios formulativos o exploratorios, descriptivos, diagnósticos, formulación de hipótesis causales, experimentales y los proyectos factibles), explica que el proyecto factible ...“consiste en una proposición sustentada de un modelo operativo factible, orientado a resolver un problema planteado o satisfacer necesidades en una institución o campo de interés nacional”.

En atención a esta modalidad de investigación, el estudio estuvo orientado hacia dos aspectos fundamentales, a fin de cumplir con los requisitos involucrados en un Proyecto Factible. El primero de ellos fue el *“diagnostico de la realidad objeto de estudio”*, que en el caso particular de la presente investigación, no es más que la determinación de la demanda necesaria para suplir el área en estudio. El segundo, consistió en la formulación del *“modelo operativo propuesto”*, el cual se refiere al diseño de las redes de distribución de gas metano para el sector Las Cocuizas del municipio Maturín, estado Monagas.

3.2 Diseño de la Investigación

De acuerdo a los objetivos del presente trabajo, se planteó un diseño de investigación no experimental que combina los postulados de los diseños bibliográficos y de campo.

En la descripción del procedimiento metodológico se apreciará que algunos de los datos necesarios para la investigación fueron necesariamente bibliográficos, por ejemplo, los planos del municipio Maturín, los datos poblacionales, etc. Por otro lado, fue necesaria la observación directa en campo de las condiciones que pudieran modificar el diseño de la red de gas, ejemplo, el ancho de las calles, obras en construcción, migración de comercios, etc.

3.3 Instrumentos y Técnicas de Recolección de Información

En primer lugar se emplearon las técnicas de: observación documental, presentación resumida, resumen analítico y análisis crítico, así como la revisión de los planos del municipio Maturín, para el análisis de las fuentes documentales. En segundo lugar, se emplearon la técnica de la entrevista estructurada, la cual consiste en mantener un margen de libertad en la formulación de preguntas. En tercer y último lugar, se introdujo la técnica de observación directa de algunos aspectos implicados en la aplicación práctica del proyecto. Como instrumentos, tenemos la implementación del paquete de diseño “*AutoCad 3D 2010*” y el simulador “*Stoner SynerGEE 4.3.2*”.

3.4 Procedimiento Metodológico

El plan de trabajo establecido para realizar la investigación fue dividido en varias etapas, con la finalidad de alcanzar los objetivos de forma organizada y en el menor tiempo posible.

Etapas I: Revisión Bibliográfica

La revisión bibliográfica abarcó todo lo referente a las consultas efectuadas a libros, informes, normas, manuales, guías, planos y demás fuentes relacionadas con el tema de estudio.

Etapas II: Diagnostico de la situación actual

Esta etapa esta por dos subcapas; en una de ellas se explica el sistema actual de distribución de gas existente en el municipio Maturín, así como la descripción geopolítica y demográfica del sector al cual se le suministrara el gas; la en otra subcapa se detalla la metodología utilizada para determinar la demanda gas para la puesta en marcha de toda la red.

Etapas III: Bases de diseño para la elaboración de la red de distribución de gas natural para uso domestico.

Luego de determinar las fuentes de suministro de gas, provenientes desde los gasoductos principales, de describir la ruta de acceso y calcular la demanda de gas requerida para la red, se procede a establecer parámetros sumamente importantes en el diseño de dicha red.

- Presiones de operación

- Diámetros de tuberías
- Velocidades máximas de operación

También se procede a determinar el material de las tuberías a utilizar, así como los accesorios que se deben utilizar para la operación óptima del suministro de gas.

Etapa IV: Dimensionamiento de la red a partir de los modelos matemáticos planteados en este proyecto.

En correspondencia con los objetivos que se han planteado en éste trabajo, se pretende calcular y dimensionar la red de distribución de gas a partir de los modelos matemáticos descritos en el en capítulo II, como lo son: *Modelo de Weymouth, el de Panhandle y el método de Hardy Cross.*

Etapa V: Simulación de la red y optimización de los resultados

A partir del paquete de simulación Stoner SynerGEE Gas, el cual, ya ha sido descrito con anterioridad, se procederá a analizar las pérdidas de presión en el sistema de distribución propuesto, así como también, optimizar lo más posible la demanda de gas, las velocidades de suministro y accesorios utilizados en toda la red.

CAPITULO IV

DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1 Documentación de la investigación

Para el desarrollo de este trabajo, se necesito la revisión exhaustiva de las distintas normas y reglamentaciones que delimitarían la investigación, así como también, la consulta de manuales e informes relacionados a este plan. Entre ellas tenemos:

Normativas Nacionales

- Constitución de la Republica Bolivariana de Venezuela.
- Ley orgánica de los Hidrocarburos.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN).
- Normas y reglamentos vigentes, impuestos por la ingeniería municipal de la alcaldía de Maturín

Normas Internacionales

- ASTM A 53M-04 para tuberías de acero galvanizado.
- ASTM D 2657-03 para soldaduras por calentamiento de tuberías y conexiones de polietileno.

Documentos Complementarios

- PDVSA, Especificaciones Generales para la Construcción de Derivaciones y Estaciones de Regulación y Medición de Gas para Clientes Industriales.
- PDVSA, Especificaciones Generales para la Construcción de Gasoductos.
- Trabajos de investigación previos, que están relacionados con la investigación.

4.2 Diagnostico de la situación actual

4.2.1 Descripción del área a gasificar

Las Cocuizas, sector urbano que corresponde una de las diez parroquias que integran el municipio Maturín, constituida por el área que circunda la poligonal que se origina en la Av. Alirio U. Pelayo con el cauce del Río Guarapiche, al sur de la parroquia Santa Cruz, al oeste se encuentra la parroquia San Simón, la cual contempla el casco histórico del municipio, al este se tiene la parroquia La Pica.

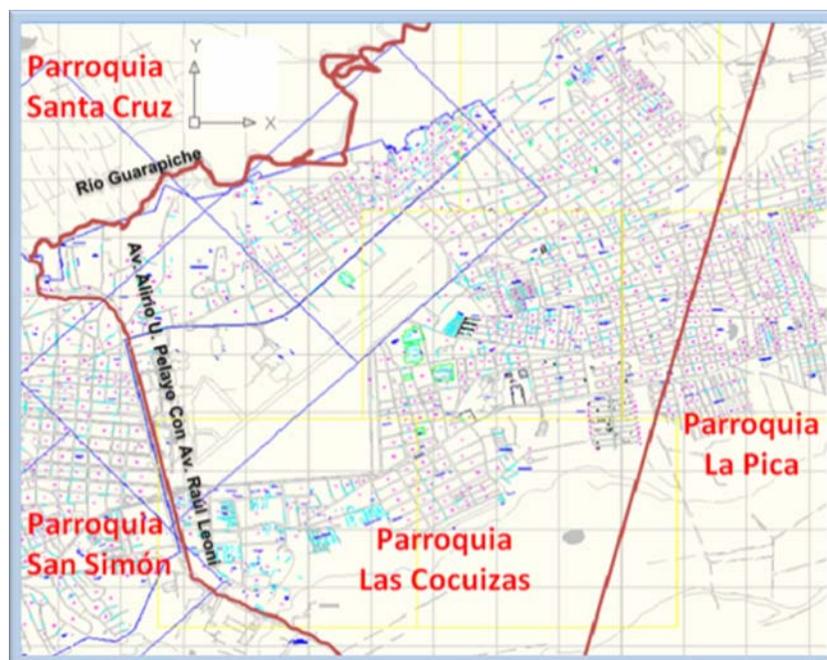


Figura 4.1. Ubicación de la parroquia Las Cocuizas

La parroquia Las Cocuizas está dividida en sectores o barriadas, algunos de los cuales ya se han realizado proyecciones en cuanto al suministro de gas doméstico. Es de destacar que actualmente se encuentran

un aproximado de 2400 edificaciones (Viviendas, comercios, instituciones, etc.) a gasificar, beneficiando cerca de 88000 habitantes.

En la primera fase de éste estudio, se propone realizar el diseño y construcción de las redes de suministro de gas, en las primeras nueve calles de ésta parroquia en sentido Noroeste – Noreste.

4.2.2 Sistema actual de distribución de gas en el municipio Maturín.

La ciudad de Maturín, actualmente cuenta con una estación principal de regulación (estación de Distrito), ubicada a las afueras de la localidad, específicamente en la Zona Industrial (ZIMCA), en el sector San Vicente; dicha estación, es una instalación que tiene la función de filtrar el gas y de reducir y estabilizar su presión, manteniéndola constante a la salida de la misma, dentro de los límites previamente determinados, independientemente de la presión de entrada y de los caudales circulantes.

El gasoducto principal que suministra la estación de regulación, es una derivación de la línea principal que conecta Quiriquire con el complejo gasífero Muscar, ubicado al norte del estado Monagas. Ésta bifurcación está localizada en la población de La Toscana y describe una ruta de 24 kilómetros en línea recta hasta ZIMCA. El suministro de éste tramo es a través de una tubería de acero con un diámetro de 20 (20) pulgadas y una presión de 600 psig, transportando así 5 MMPCND con una presión promedio de 450 psig.

Luego de ser regulado el flujo de gas a una presión de 250 psig, por la estación de distrito, es transportado a lo largo de 5 kilómetros tubería de acero, con diámetro de 6 pulgadas, desde la zona industrial hasta una

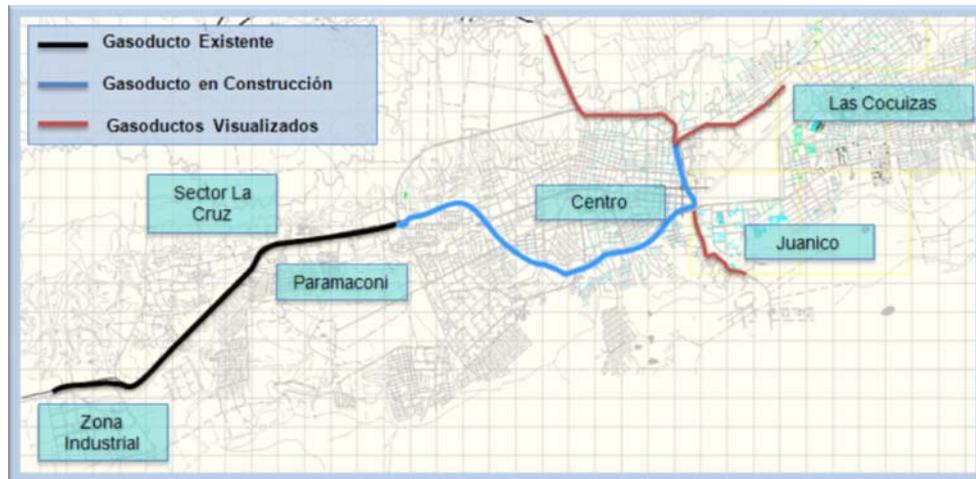


Figura 4.3. Ruta de gasoductos en la ciudad de Maturín

La figura 4.3, presenta tres (3) futuras rutas, para la construcción de nuevas líneas de gasoductos, con lo que se pretende expandir la gasificación doméstica a más sectores de la población. Para la implementación de éste trabajo de investigación es necesario prestar atención a la derivación visualizada para la parroquia Las Cocuizas, ya que es de especial importancia la construcción de ésta troncal en el éxito de los objetivos planteados en éste trabajo.

4.3 Bases de diseño para la elaboración de la red de distribución de gas natural para uso doméstico.

4.3.1 Determinación de la demanda para el área a gasificar

Conociendo el área de de estudio, se procedió a la realización de un censo catastral, con la finalidad de cuantificar las viviendas (residenciales,

con comercios y edificios), locales comerciales e instituciones educativas que requieran del servicio de gas directo.

Tabla 4.1. Conformación del área de gasificación

Tipo de Edificación	Cant.
Viviendas Residenciales	297
Aptos. para Edif. (1)	39
Aptos. para Edif. (2)	4
Vivienda con Comercio de Comida Rápida	2
Viviendas con Empanaderas	8
Instituciones Educativas	1
Restaurant	1

Para determinar la cantidad de gas requerido para satisfacer la demanda de la población, se procede a la revisión y seguimiento de la norma venezolana COVENIN 928-2008: *“Sistemas de Tuberías para el Suministro de Gas Metano Comercial o GLP en Edificaciones Residenciales, Comerciales, Otros Tipos de Edificación y Mixtas”*; en su apéndice A, establece la demanda requerida para cada tipo de edificación, en concordancia a los equipos que estas utilizan. (Ver anexo B.2)

Tabla 4.2. Valores utilizados para el cálculo de la demanda de gas.

Equipos o Artefactos	pie³/h
Cocinas Residenciales	32 a 65
Cocinas Restaurant	114
Quemador Rectangular	90
Quemador Redondo	15
Cocina doble horno	242

La tabla 4.2, muestra los datos extraídos de la norma COVENIN para estimar el caudal de gas, para el caso específico de cocinas residenciales, se tomó el valor 50 pie³/h, ya que éste se encuentra en el rango suministrado.

En cuanto al hábito de uso diario por edificación se toman parámetros acordes a las realidades de cada caso, todo esto, luego de entrevistar a los pobladores de la zona.

Tabla 4.3. Hábitos de uso diario del servicio de gas

Edificación	Uso (horas)
Viviendas Residenciales	6
Empanaderas	8
Comercio de Comida Rápida	10
Restaurant	10
Panadería	10
Institución Educativa	8

A continuación se presenta la estimación del flujo de gas, requerido para la satisfacer la demanda del sector.

Tabla 4.4. Demanda de Requerida para la Red de Distribución de Gas Domestico

Edificaciones	Cant.	pie ³ /h	Consumo (horas)	Consumo (pie ³ /día)
Viviendas Residenciales	340	50	6	102000
Empanaderas	8	15	8	960
Comida rápida	2	90	10	1800
Restaurant	1	114	10	1140
Panadería	1	242	10	2420
Institución Educativa	1	114	8	912
			Total	109232

La norma COVENIN 928-2008, en su apéndice A, también establece que, *“la demanda hay que multiplicar por el factor de simultaneidad, para obtener el consumo probable en cada tramo”*. En atención a éste requisito, el valor por el cual se multiplica la demanda es igual a **0.35**, el cual corresponde para 125 viviendas en adelante (ver anexo B.3). Arrojando un valor total para el caudal de gas, igual a **38231.2 pie³/día**.

4.3.2 Presiones de Operación de la Red.

La Norma Venezolana COVENIN 928: 2008 "Las presiones máximas de operación permitidas en los sistemas de tuberías para el suministro de metano comercial o GLP de ocupación residencial, comercial y mixta son las siguientes.

- 413,69 kPa (60 psi), entre la salida de la válvula de acometida en la estación de regulación primaria o única de ocupación residencial y comercial surtidas con metano comercial.
- 3,47 kPa (0,5 psi) entre la salida de la única estación de regulación y la válvula de conexión a los equipos que utilizan metano comercial o GLP en estado gaseoso en ocupación residencial.

4.3.2.1 Caída de presión admisible

Para el estudio en cuestión, solamente se permitirá una caída de presión que no supere el 2.5% para los sistemas que trabajen con 0,5 psig y un 10% para los que operen con 60 psig.

4.3.3 Diámetros de Tuberías.

Los sistemas de tuberías interna deberán ser de un diámetro mínimo de 1/2". Se deberán emplear diámetros superiores en dependencia de la demanda de los diversos artefactos, las distancias a recorrer en el trazado de la tubería y la presión requeridas, de forma tal que se logre cubrir la demanda, con el flujo y la presión necesaria para el funcionamiento de los diversos equipos a gas. Se deberán considerar de igual forma futuras ampliaciones del sistema.

Para los sistemas externos, los diámetros mínimos serán de 20 mm para las tuberías de polietileno de alta densidad, 12,75 mm para las acero. Estas deben cubrir con el resto de especificaciones técnicas que se requieran.

4.3.4 Velocidad Máxima de Operación.

Las líneas de gas monofásico deben ser de buen tamaño para que la presión final resultante sea lo suficientemente alta para satisfacer los requisitos de las piezas de los equipos. Según la norma COVENIN 928-2008, el valor de la velocidad no debe ser mayor a 60 pie³/seg y la ecuación 13 es la que se debe utilizar para el cálculo.

4.3.5 Diseño de las Tuberías.

Generalmente para el diseño de tubería se utiliza la siguiente división: tuberías de acero para los ramales de alimentación de las Estaciones de Medición y Regulación (EMR) o Estaciones de Distrito (hasta 617 psig), tuberías de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) para las redes de

distribución domésticas (hasta 60 psig), y tuberías de acero galvanizado o cobre rígido para la instalación dentro de las edificación (0.5 psig). La tubería de cobre se emplea únicamente para la construcción de las redes internas en el inmueble del cliente, entre la válvula de servicio del cliente y el artefacto.

Las tuberías PEAD deberán cumplir con las normas nacionales, según dicta la COVENIN 1997-83 y que soporten presiones nominales de 150 psig. Los diámetros nominales de usos más comunes son: 32 mm, 63 mm, 90 mm y 110 mm.

4.4 Dimensionamiento de la red a partir de los modelos matemáticos planteados.

Antes de entrar en profundidad al dimensionamiento de la red de gas, se realizó un trazado digital del área a gasificar, donde se incluyen las edificaciones y la ruta de recorrido de la red de distribución, así como también la ubicación de la ERM.

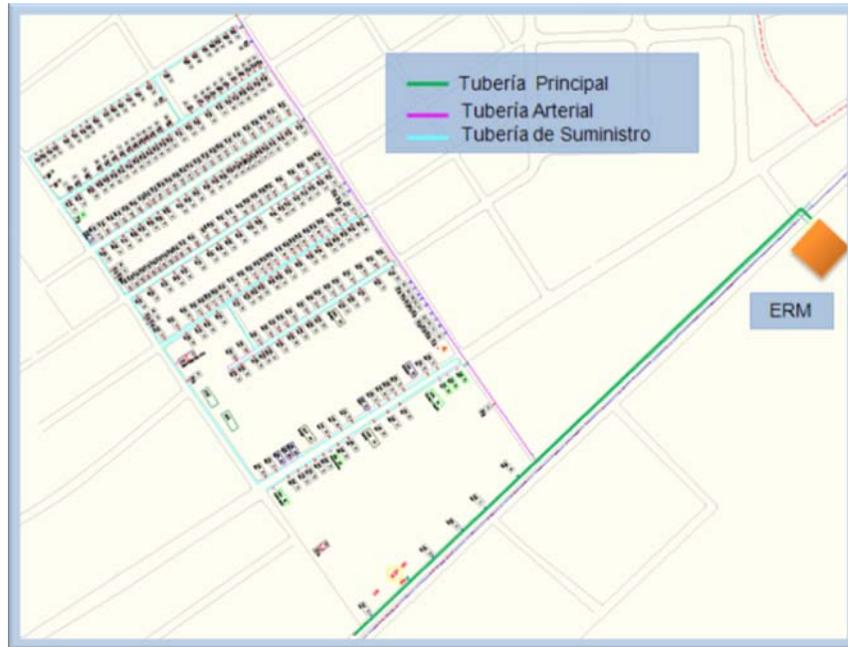


Figura 4.4. Trazado de la red de distribución de domestico

En la imagen anterior, se puede detallar la ubicación de ERM que se encargara del suministro de gas a 60 psig, contando con un tramo principal referido en color verde, una línea denominada arterial de color morado, que será empalmada en caliente a la tubería principal, ésta a su vez llevara el gas a los ramales siguientes, ubicados en forma de anillos que bordean las manzanas de las calles, los cuales están identificados con el color azul.

Debido a que existiría un consumo directo de edificaciones cercana a la tubería principal, las acometidas de las mismas, serán instalas en caliente a dicha tubería. Teniendo un consumo de 13320 pie³/día, este valor, se encontrará reflejado en el caudal de entrada para el sistema de mallado, que será igual a 95912 pie³/día.

El sistema de distribución que será evaluado, es el que se presentan a continuación:

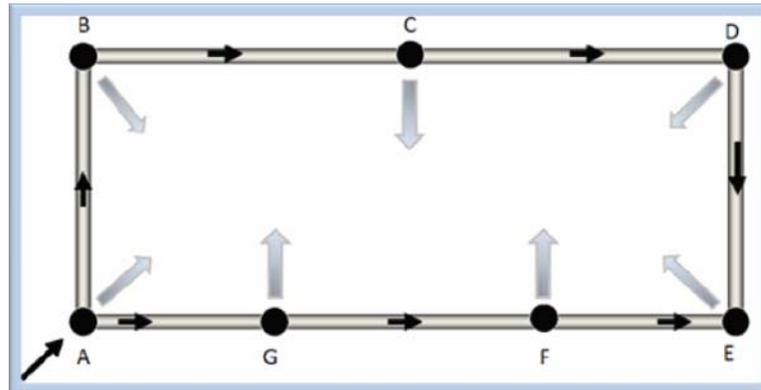


Figura 4.5. Sistema de distribución a evaluar

Tabla 4.5. Caudales correspondientes a cada tramo de tubería

Tramo	Longitud (millas)	Caudal (pie ³ /día)
A-B	0,118	72500
B-C	0,040	49088
C-D	0,042	34688
D-E	0,039	1668
E-F	0,040	1248
F-G	0,260	8262
G-A	0,160	12162

4.4.1 Ecuación de Weymouth.

Utilizando la ecuación número 6, descrita en el capítulo 2, se procedió a despejar el diámetro de la misma y calcular éste, considerando los siguientes parámetros:

Tabla 4.6. Datos para la resolución de la ecuación de Weymouth

Caudal Q (PCND)	38231,2
Temperatura Base Tb (°R)	520
Presión Base Pb (lpca)	14,7
Presión de entrada P1 (lpca)	74,7
Presión de salida P2 (lpca)	15,2
Gravedad específica G (adim)	0,68
Temperatura promedio Tf (°R)	580
Longitud L (millas)	1,295

Arrojando como resultado un diámetro de **2,1 pulg.**

4.4.2 Ecuación de Panhandle.

Como segundo modelo matemático, utilizado para el dimensionamiento del diámetro de la tubería que se requiere para cubrir la demanda de gas, se utilizó la ecuación 7 y la data que se presenta a continuación.

Tabla 4.7. Datos para la resolución de la ecuación de Panhandle

Caudal Q (PCND)	38189,2
Temperatura Base Tb (°R)	520
Presión Base Pb (lpca)	14,7
Presión de entrada P1 (lpca)	74,7
Presión de salida P2 (lpca)	15,2
Gravedad específica G (adim)	0,68
Temperatura promedio Tf (°R)	580
Longitud L (millas)	1,295
Eficiencia E	0,92
Coefficiente de compresibilidad Z	0,99

El resultado obtenido es igual a **1,80 pulg.**

4.4.3 Método de Hardy Cross.

Analizando las alternativas anteriores y teniendo un sistema de mallado propuesto, con el método de Hardy Cross se procede ajustar los caudales en los tramos de la red de distribución y estudiar las pérdidas de presión en los mismos.

Utilizando los valores correspondientes a la tabla 4.5, se procede al ajuste de los caudales por medio de la ecuación 28. Las caídas de presión estarían referencias a partir de la ecuación 27. Los resultados arrojados se muestran en la sección 5.2.2.

4.5 Modelo de Simulación de la red.

Antes de entrar al ambiente de simulación del Stoner SynerGEE, se debe dibujar un plano digital con la ayuda del programa AutoCAD 3D 2010, donde se refieran de forma expedita las ubicaciones de las edificaciones a gasificar, el conjunto de materiales y accesorios requeridos para tal fin.

4.5.1 Diseño del plano digital

Este plano digital, se debe realizar de forma obligatoria, ya que el simulador encargado de modelar la red de distribución de gas, requiere de éste tipo de información para completar su rutina. Para un buen manejo al momento de exportar los datos desde AutoCAD para le Stoner SynerGEE, se deben cumplir los siguientes pasos.

- En AutoCad, todos los materiales que vayan a ser ubicados en el plano digital, deben crearse en forma de capas, éstas funcionan como

grupos de objetos que pueden mostrarse, ocultarse y manipularse de la manera que se necesite.

- Con la comprobación del censo catastral, se proceden a crear las capas que describen las edificaciones, divididas en cinco sectores: viviendas residenciales, viviendas con comercios, comercios, instituciones y residencias multifamiliares (edificios).
- Se ubican las tuberías en conformidad con el primer trazado propuesto, (ver figura 4.4). al igual que para las viviendas, cada tubería se le establece una capa, no deben ser trazadas como líneas sino con polilíneas.
- Las acometidas deben colocarse exactamente sobre la línea.
- Los elementos de la red tales como: válvulas, acometidas, reguladores, deben ser insertados en el dibujo como bloques.
- No se debe interrumpir la continuidad de la línea de la tubería cuando se inserten los elementos de la red (válvulas y reguladores).

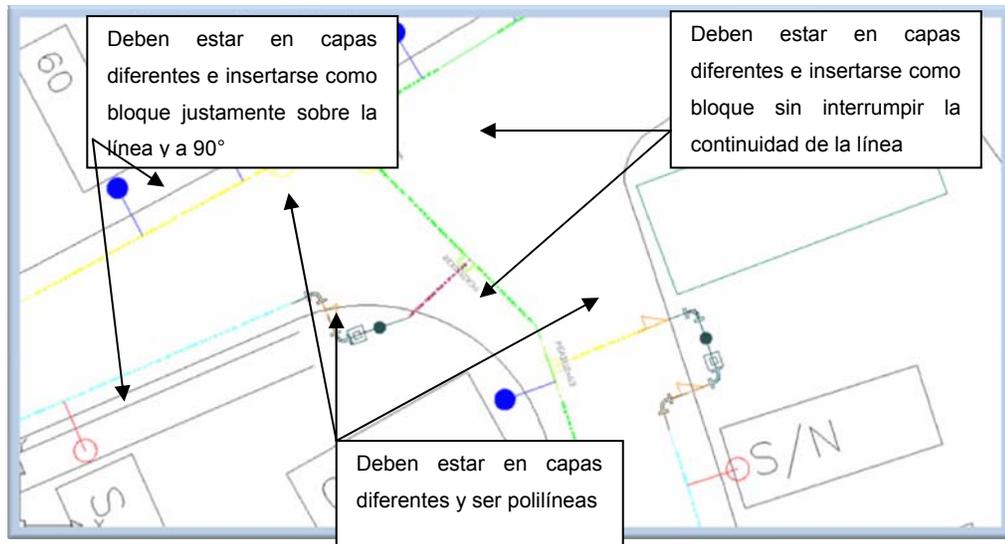


Figura 4.6. Adecuación de archivo CAD para migrar al software de simulación

4.5.2 Software Stoner SynerGEE Gas 4.3.2

- Luego de abrir el simulador, se deben cargar los archivos llamados Workspace y Warehouse.
- Como siguiente paso, se procede a cargar los modelos de ajuste según las especificaciones de cada empresa, para éste estudio, la gerencia de gasificación tiene varios modelos establecidos, donde entre otras cosas, especifican las características del gas con el que se va a trabajar y las cargas en el suministro mismo, de acuerdo al tipo de edificación.
- Se procede a la conversión de los archivos de AutoCAD al ambiente del simulador.

- Al momento de cargar cada uno de los archivos CAD, se realiza una comprobación de la conversión, esto se hace con la finalidad de minimizar los errores que se puedan ocasionar.
- Después de revisar que el sistema no tenga errores en su conversión, el paso siguiente es definir las condiciones de operación de cada componente (tuberías: diámetros y presiones de operación; reguladores: presiones de operación; reducciones: direcciones; derivaciones: caudales).
- Finalmente se corre el modelo diseñado y se verifica que la solución que el simulador suministre, sea la correcta.

El Stoner SynerGEE Gas, es capaz de mostrar mapas de presión y velocidad del fluido con el que se trabaja, éstos fueron de gran utilidad al momento de analizar los resultados que se obtienen al finalizar la simulación.

4.5.2.1 Optimización de la Demanda de Gas

Como ya se dijo anteriormente, la gerencia de gasificación de PDVSA Gas, contiene modelos de ajuste, prediseñados, tomando en cuenta las realidades del país y la experiencia en labores de éste tipo, que ayudan a especificar un suministro acorde a las demandas correspondientes. Luego de utilizar estos modelos, se obtuvo una optimización de la demanda en más de un 60 %, (suministro de gas realizado por el simulador, en 1760 pie³/horas).

CAPITULO V

ANALISIS DE RESULTADOS

Considerando los objetivos que están planteados en el proyecto de gasificación nacional, donde dictamina que el servicio de gas directo debe tener como prioridad las poblaciones más humildes del país y que las instalaciones de éste servicio deben suministrar de éste recurso a la mayor cantidad de pobladores; se ha propuesto la comunidad de Las Cocuizas como la siguiente zona para gasificar, siendo esto un punto favorable, ya que se estaría dando fiel cumplimiento de las metas pautadas a nivel nacional. Por ser la tercera parroquia más poblada del municipio Maturín y por tener una población de clase social media baja.

5.1. Características del gas utilizado

La siguiente tabla, muestra las características del fluido que se utilizó para el desarrollo de éste trabajo.

Tabla 5.1. Características del gas analizado

Gravedad Especifica	0,68
Peso Molecular (lb/mol)	19,59
Temperatura Pseudocrítica (°R)	345,15
Presión Pseudocrítica (psi)	659,46
Poder Calorífico (BTU/pie ³)	1000

5.2. Demanda del suministro

La parroquia Las Cocuizas, es una localidad urbana con una población cercana a los 90000 habitantes, como se mencionó anteriormente, la

mayoría de sus pobladores pertenecen a una clase económica media baja, donde gran parte de éstos utilizan el comercio informal como una solución a sus problemas financieros, siendo la venta de alimentos el denominador común entre aquellos que ven éste recurso como un medio para ayudarse.

Teniendo esto en cuenta se ha tomado como promedio en la demanda para las viviendas residenciales un valor igual a 50 pie³/horas, también se ha considerado un patrón en el horario de consumo para éste tipo de edificaciones igual a seis (6) horas diarias, especificados de la siguiente manera:

Tabla 5.2. Hábitos de consumo

Actividad	Horas
Desayuno	1
Almuerzo	2
Merienda	1
Cena	1
Total	6

Se debe destacar que los artefactos utilizados para estimar la demanda en las viviendas residenciales, fueron los relacionados a cocinas de uso domestico (cuatro hornillas y un horno).

Para los otros tipos de edificaciones, se tomo en cuenta el horario laboral descrito por los entrevistados. En lo que respecta a los equipos utilizados por los comercios y los que utilizan las instituciones educativas, se tomaron en cuenta aquellos que se aproximan a la descripción suministrada por los encuestados, ejemplo, para las ventas de empanadas se utilizan “reverberos” y según la norma COVENIN 928-2008, en su apéndice A,

muestra con estas características, un quemador redondo de $\frac{1}{2}$ " con una carga en el suministro de $15 \text{ pie}^3/\text{horas}$.

5.3. Dimensionamiento de la Red

5.3.1. Modelos matemáticos.

En lo que respecta al dimensionamiento de la red, se utilizó el modelo matemático de Weymouth y el planteado por Panhandle. De acuerdo a los datos aportados, con cada uno de estas ecuaciones, se obtuvieron diámetros de tuberías relativamente iguales, cabe destacar que de acuerdo a la teoría, la mejor ecuación que se ajusta para un buen diseño de la red, es la ecuación de Weymouth, ya que la mayoría de los autores estudiados la recomienda para diámetros menores a 12 pulgadas, que es el caso del estudio planteado; mientras que la ecuación de Panhandle es dependiente de la turbulencia del fluido, es totalmente recomendable para diámetros mayores a 12 pulgadas y es bastante buena en sistemas de alta presión ($P > 125 \text{ lpcm}$). Las tablas 5.3 y 5.4, nos muestran los criterios de selección utilizados para la escogencia del modelo matemático utilizado.

Tabla 5.3. Consideraciones para aplicar la ecuación de Weymouth.

EXXON	Para tuberías menores de 12".	BUENA
M. Martínez	Para: $2" < D < 16"$	BUENA
I.G.T.	Flujo completamente turbulento, altas presiones y $D < 20"$	BUENA
I.G.T.	Flujo parcialmente turbulento, mediana a alta presión y $d < 20"$.	CONSERVADORA
No se recomienda para diámetros menores de 2".		

Tabla 5.4. Consideraciones para aplicar la ecuación de Panhandle

EXXON	Para tuberías mayores de 12".	RECOMENDABLE
M. Martínez	Para: $4 \times 10^6 < Re < 40 \times 10^6$, $D > 16"$.	BUENA
I.G.T.	Para altas temperaturas, flujo parcialmente turbulento, $Re > 300.000$.	BUENA
I.G.T.	Para distribución, para presiones medianas y altas, $D > 16"$.	RELATIVAMENTE BUENA

Luego de conocer el modelo más conveniente, se dedujo que el valor del diámetro que debe utilizarse es el de **2.1 pulg.** Seleccionándose el inmediatamente superior al arrojado **2.482 pulg** (ver tabla 5.4).

5.4. Diámetros para tubería PEAD

Tuberías PEAD	
Diámetro (Pulg)	Diámetro (mm)
1,261	32
2,482	63
3,546	90
4,334	110

Si bien los resultados arrojados en el cálculo del diámetro para la red, utilizando la ecuación de Weymouth, colocan como un buen sistema a utilizar, las tuberías PEAD con diámetro de 63 mm. Sin embargo, se recomienda dimensionar con tuberías PEAD de 90 mm y ramificaciones de 63 mm. Todo esto pensando en las variaciones futuras que pueda tener el área a gasificar (crecimiento poblacional, edificación de nuevas estructuras, etc.).

Un parámetro importante en el diseño de la red es el de la velocidad del gas, luego de haber seleccionado el diámetro de la tubería, utilizando la ecuación 13, se obtiene un valor para la misma igual **1,57 pie/seg**, el cual es totalmente aceptable, cumpliendo así, con los requisitos planteados en la norma.

5.3.2. Método de Hardy Cross

Uno de los estudios más importantes, que se tiene que hacer para el dimensionamiento de una red de suministro de gas, es el de las caídas de presión en el sistema, mediante éste tipo de análisis, se garantiza que el flujo llegue a todos los puntos de la red a las presiones y velocidades especificadas. Para tal cometido, se utilizó el método de Hardy Cross y los resultados obtenidos son los que se muestran en tabla 5.3.

Antes de estudiar las pérdidas de presión en la tubería, se comprobó si los caudales supuestos en cada tramo de tubería fueron los correctos y son presentados a continuación:

Tabla 5.5. Cálculos para el ajuste de caudales en los tramos de la malla propuesta

TRAMOS	Longitud (L) (millas)	Caudal (Q) (PCND)	Caudal (Q) (MMPCND)	$Q \cdot L$	Q^2	$Q^2 \cdot L$
A-B	0,118	72500	0,0725	0,008555	0,00525625	0,000620238
B-C	0,040	49088	0,049088	0,00196136	0,00240963	9,62792E-05
C-D	0,042	34688	0,034688	0,001455855	0,00120326	5,05007E-05
D-E	0,039	16668	0,016668	0,000646052	0,00027782	1,07684E-05
E-F	0,039	1248	0,001248	4,91712E-05	1,5575E-06	-6,13657E-08
F-G	0,260	8262	0,008262	0,00214812	6,8261E-05	-1,77478E-05

G-A	0,160	12162	0,012162	0,00194592	0,00014791	-2,36663E-05
				0,016761478		0,00073631

$$\Delta Q_0 = - \left(\frac{0,00073631}{2 \cdot 0,016761478} \right)$$

$$\Delta Q_0 = -0,022$$

Debido que ΔQ_0 es menor que 0.001, se concluye que los caudales supuestos son los correctos y se procede a estudiar las caídas de presión en los tramos de la tubería.

Considerando la ecuación 24

$$Q = K * \sqrt{\frac{P_1^2 - P_2^2}{L}}$$

Donde **K** ha sido definido por la ecuación 25

$$K = C * d^{8/3}$$

C se llama constante de Weymouth, calcula con la ecuación 26, se tiene

$$K = 772,14 * (2,482)^{8/3}$$

$$K = 8719,68$$

De la ecuación 24 se despeja $(P_1^2 - P_2^2)$

$$P_1^2 - P_2^2 = \left(\frac{Q \cdot \sqrt{L}}{K} \right)^2$$

Con la ecuación anterior se puede determinar la presión de entrega en los puntos de suministro de gas que se han planteado.

Tabla 5.6. Distribución de presión en los nodos

TRAMOS	Longitud (L) (millas)	Caudal (Q) (PCND)	$\frac{Q^2 \cdot L}{K^2}$	P_2 (lpcm)
A-B	0,118	72500	8.1570	59,9320
B-C	0,040	49088	1,2676	59,9214
C-D	0,042	34688	0,6647	59,9159
D-E	0,039	16668	0,1425	59,9147
E-F	0,039	1248	7,98E-04	59,9147
F-G	0,260	8262	0,2334	59,9123
G-A	0,160	12162	0,3113	59,9100

La tabla anterior, nos muestra que las caídas de presión son aceptables en todos los puntos de suministro de la red y ajustadas a lo descrito en la sección 4.3.2.1.

5.4. Simulación de la Red

Para estudiar con mayor precisión el diseño de la red distribución, se emplea el simulador *Stoner SynerGEE Gas*, pudiendo ver con mayor detalle las variaciones de la presión y la velocidad a lo largo de la red.

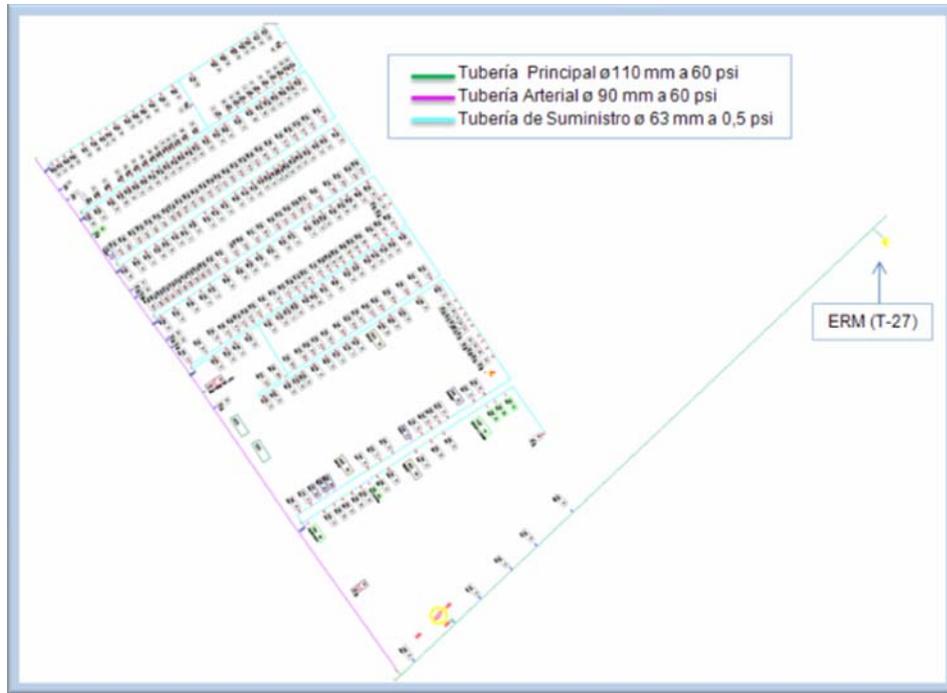


Figura 5.1. Objetos cargados en el plano digital (AutoCAD 3D 2010)

Tomando en cuenta los modelos especificados por la gerencia de gasificación de PDVSA Gas Monagas, se propone utilizar una ERM modelo T-27, con una capacidad de suministro de 18000 viviendas residenciales, de donde el gas es transportado a la red de distribución por medio de una tubería PEAD de diámetro 110 mm, con una presión de 60 psig, de ésta se deriva con una silla PEAD de 110x90 mm a una tubería del mismo material y con diámetro de 90 mm denominada arterial, que será la encargada de alimentar seis anillos formados con tubería PEAD de 63 mm, que rodean la misma cantidad de manzanas del sector.

Las presiones en el sistema, están dadas de la siguiente manera: para la tubería de 110 y 90 mm, una presión de 60 psig; para los ramales de 63 mm se trabaja con 0,5 psig, ya que son las que suministran el flujo de gas a la vivienda. Se utilizan seis reguladores modelo CR – 4000, para bajar la presión de entrada a los ramales de suministro; el CR – 4000, está diseñado para aguantar una carga de 120 viviendas. Para éste modelo de red, el regulador propuesto estaría operando con una eficiencia cercana al 50%.

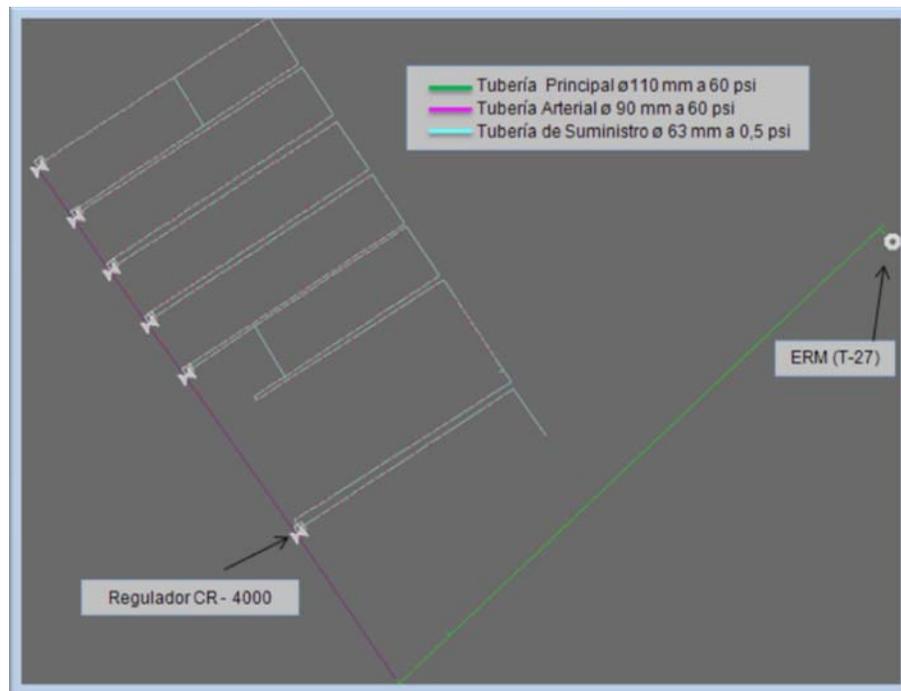


Figura 5.2. Objetos cargados en el ambiente de simulación (Stoner SynerGEE Gas)

5.4.1. Optimización de la demanda de gas

A partir de los modelos de simulación preestablecidos, que fueron insertados en el simulador por la gerencia de gasificación, se pudo calcular

una demanda optima de trabajo igual a 1760 pie³/horas, lo cual representa una tercera parte de la carga total calculada para los modelos matemáticos de Weymouth, Panhandle y Hardy Cross.

5.4.2. Perfil de presión

En la figura 5.3, se puede detallar las presiones de operación correspondientes al sistema propuesto. De acuerdo a lo visualizado en el mapa de presiones, se concluye que las pérdidas de presión son admisibles y que el diseño plateado es correcto.

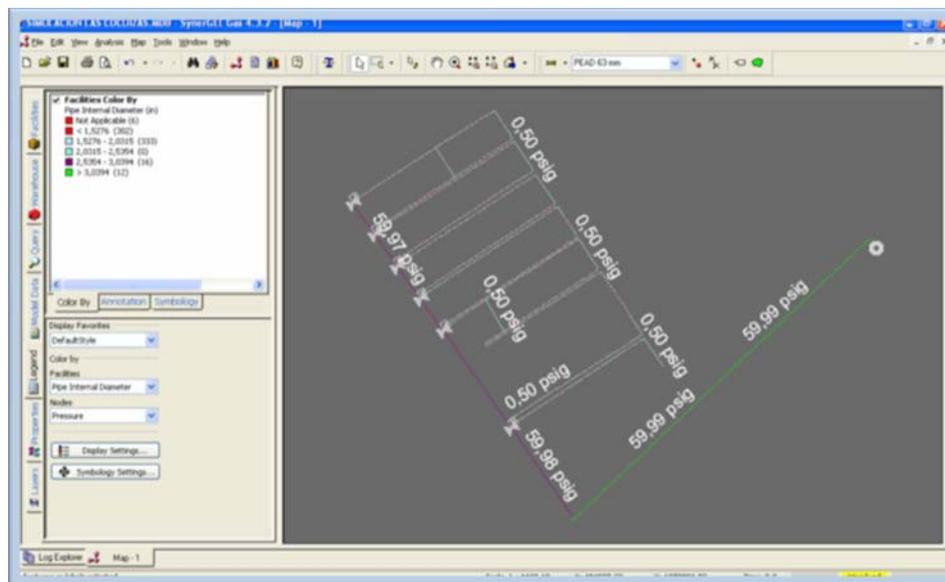


Figura 5.3. Mapa de presiones de operación, para la red de distribución (Stoner SynerGEE Gas)

5.4.3. Perfil de velocidades

En el perfil de velocidades se puede apreciar que en el diseño simulado, la velocidad máxima está cercana 4,11 pie/seg, generada a la salida del primer regulador, lo cual es lógico, por existir tramos de reducción de diámetro en la instalación de cada uno de ellos.

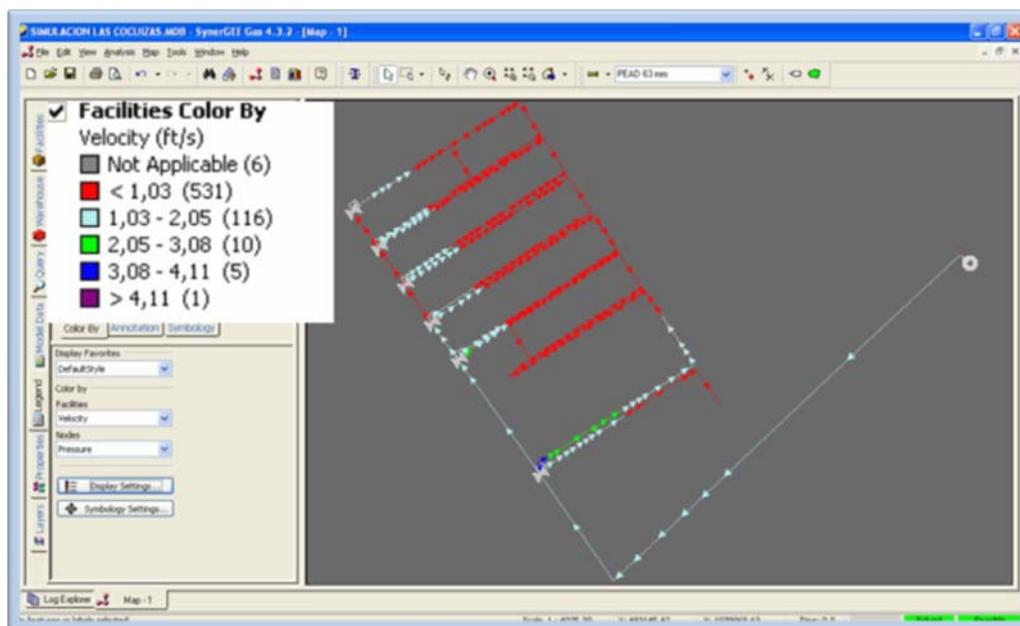
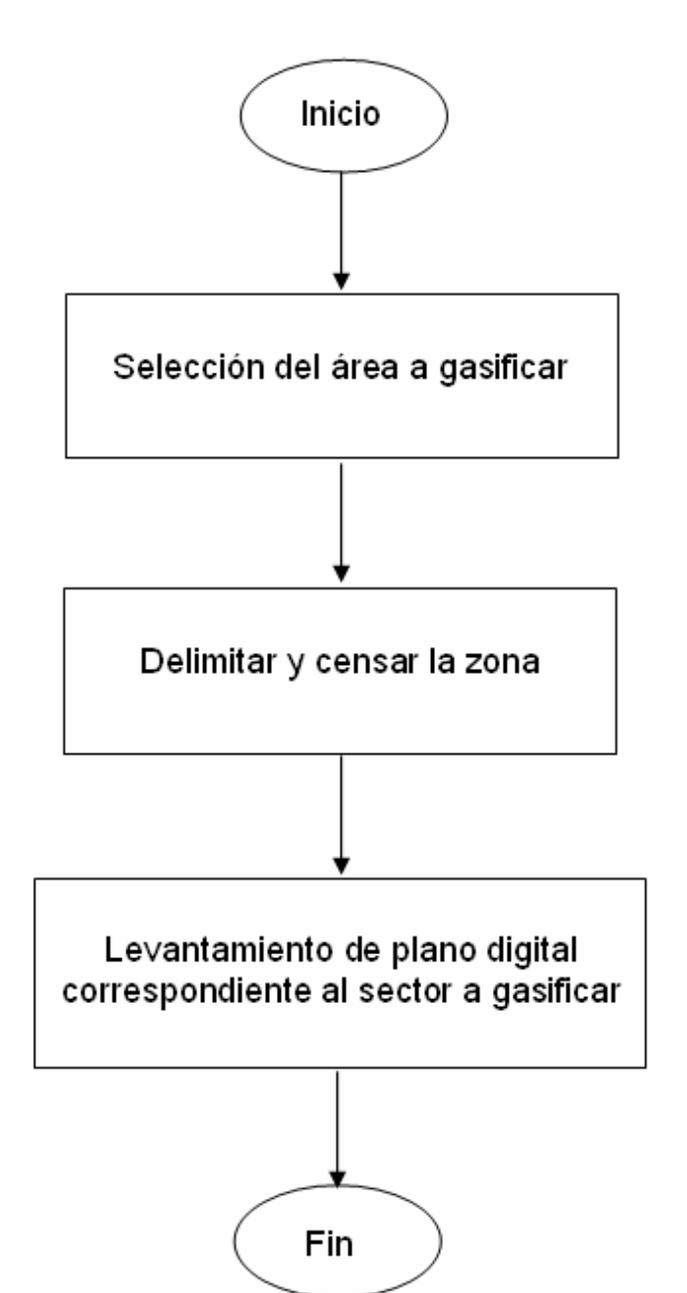


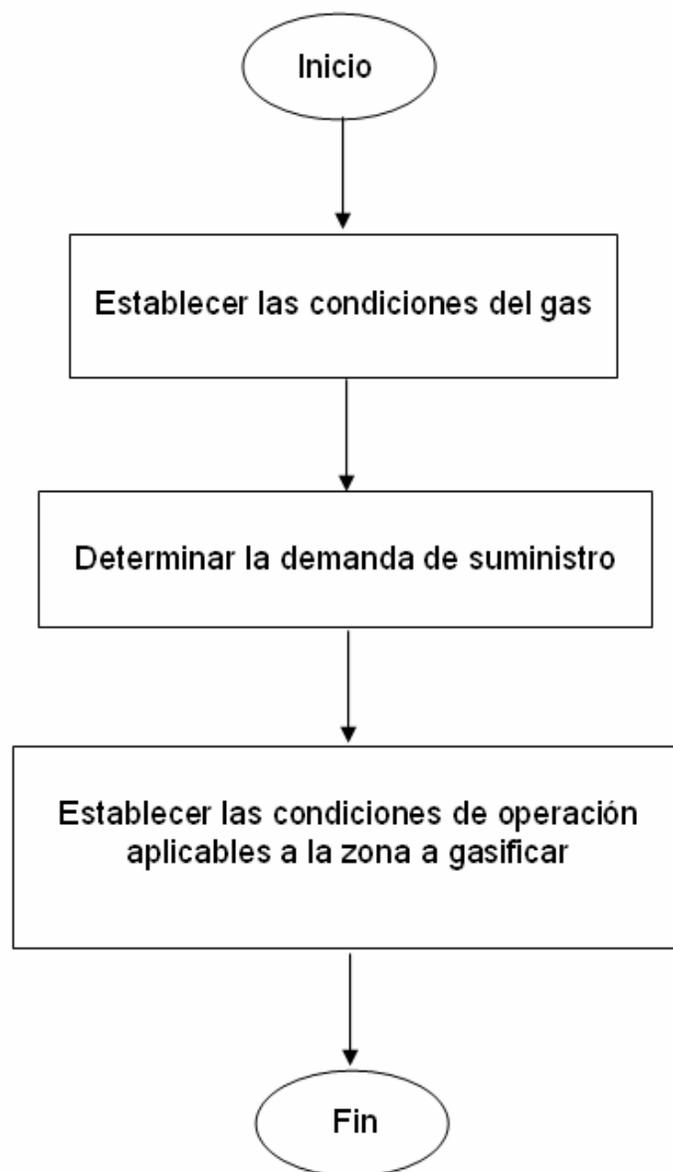
Figura 5.4. Mapa de velocidades de operación, para la red de distribución (Stoner SynerGEE Gas)

5.5. Flujoograma con el procedimiento para el diseño de la red.

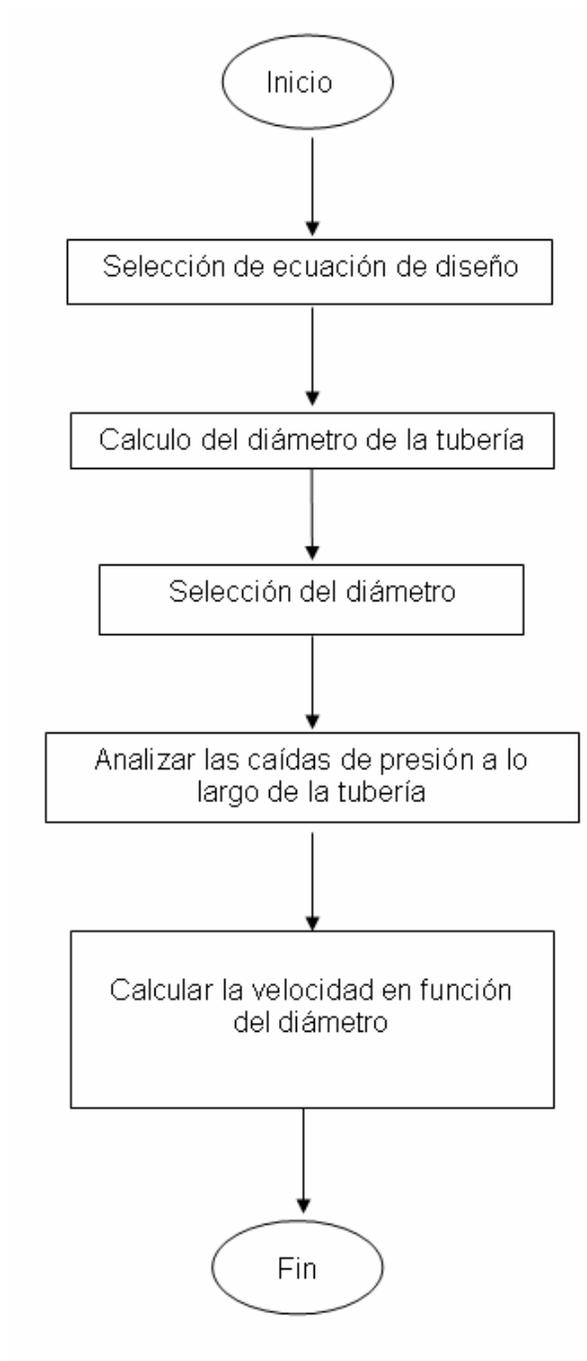
5.5.1. Parte I: Diagnostico del área.



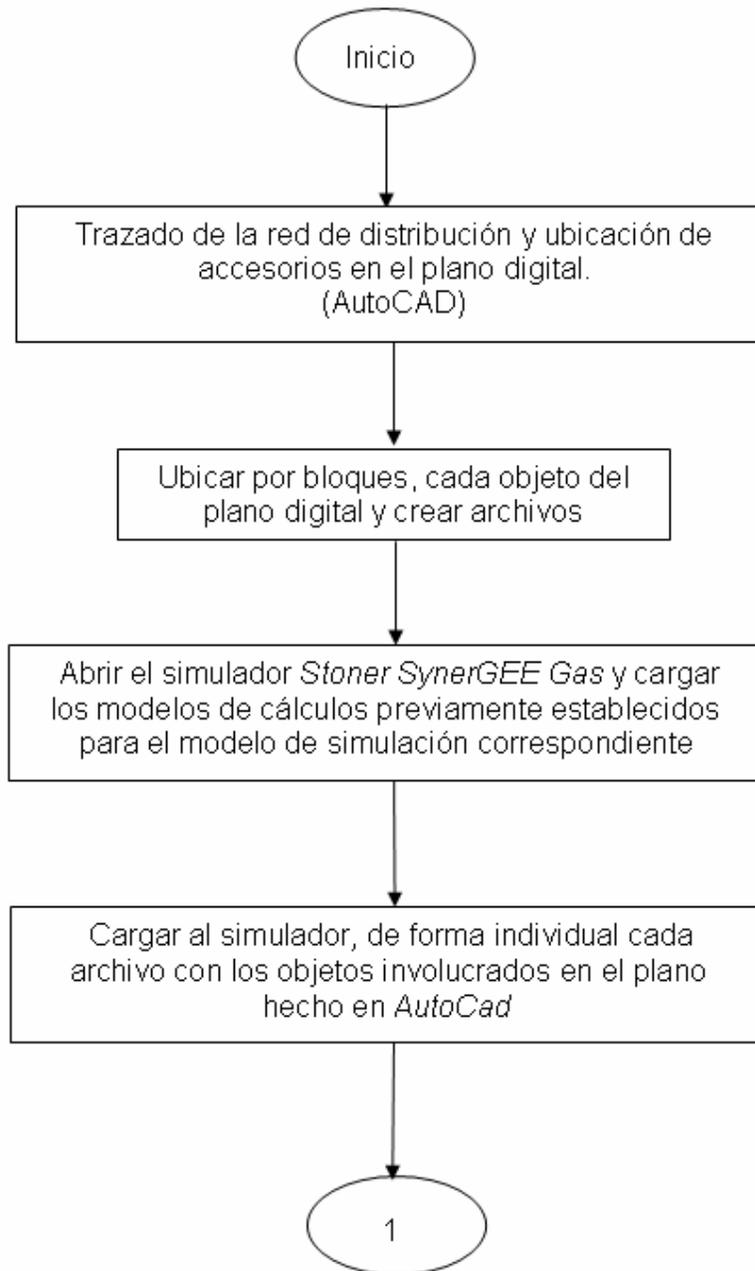
5.5.2. Parte II: Parámetros de diseño

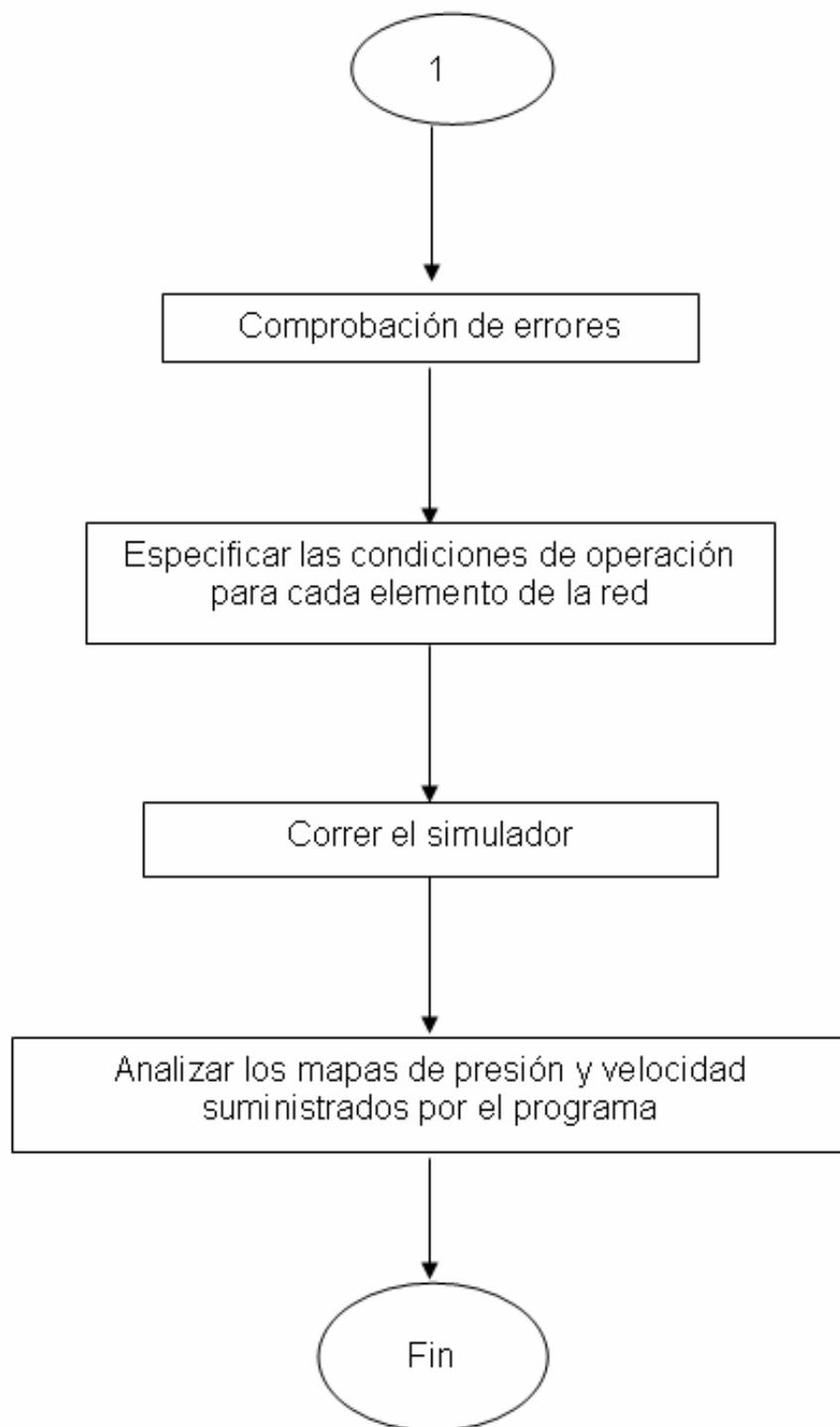


5.5.3. Parte III: Calculo de la red a través de los modelos matemáticos



5.5.4. Parte IV: Dimensionamiento y optimización de la red.





CONCLUSIONES

1. Actualmente el gasoducto principal que suministra la estación de regulación en ZIMCA, es una derivación de la línea principal que conecta Quiriquire con el complejo gasífero Muscar. Éste tramo suministra 5 MMPCND de gas a una presión promedio de 450 psig. Lo cual representa una ventaja para la implementación de nuevos proyectos de gasificación en la ciudad de Maturín, con un amplio periodo de rentabilidad.
2. Las características del gas estudiado permiten una buena estimación de las cargas en el consumo, por tener 1000 Btu/pie³ de poder calorífico y los tabuladores utilizados para determinar la demanda están referidos a éste valor.
3. La demanda de gas obtenida para el suministro de la red fue de 109232 pie³/día, siendo optimizada por el estudio en ambiente simulado hasta 37714,3 pie³/día.
4. La ruta propuesta para la red distribución, cumple con las especificaciones de diseño más convenientes para la puesta en operación de la misma.
5. La metodología utilizada para el diseño de la red de distribución de gas, es totalmente efectiva para la implementación de dicho proyecto
6. La ecuación que satisface los criterios utilizados para el dimensionamiento de la red es la de Weymouth.

7. El estudio realizado en ambiente simulado, involucra mas variables que las utilizadas por los métodos tradicionales y es capaz de arrojar resultados más efectivos que convienen para el dimensionamiento de la red de distribución.
8. El proyecto es técnicamente factible, debido a que se cuenta con una presión de trabajo suficiente para suplir la demanda requerida por todo el sector a gasificar.
9. Las velocidades máximas de operación, están acorde con los requisitos planteados por las normas COVENIN.
10. De acuerdo a la Gerencia de Gasificación y basados en sus experiencias de diseño, se determina que el sistema propuesto para el estudio en ambiente simulado, es el ideal para la puesta en marcha del proyecto de gasificación de la parroquia Las Cocuizas.

RECOMENDACIONES

1. Implantar en la alimentación de los ramales, reguladores modelo CR-4000.
2. Instalar válvulas de seccionamiento en puntos clave de la red, con la finalidad, de que los mantenimientos preventivos y correctivos realizados a las tuberías, no corten el suministro de flujo en toda la red.

3. Ampliar la red hacia el resto de los sectores vecinos y el resto de comercio existentes en la parroquia, para seguir expandiendo el proyecto de gasificación nacional.
4. Para la implementación de nuevos proyectos de gasificación, el estudio catastral debe realizarse lo más exacto posible para evitar fallas en el diseño.

BIBLIOGRAFÍA

1. Isea P., Martínez A. 2003. **“Proyecto de la Red de Gas del Municipio Ezequiel Zamora”**, Alcaldía del municipio Ezequiel Zamora, Punta de Mata, Venezuela.
2. Taberero D. 2005. **“Propuesta para el Proyecto de las Redes de Distribución de Gas Seco por Tubería como Combustible Domestico en el Municipio Autónomo de Maturín, estado Monagas”**, Tesis de Grado, Universidad de Oriente, Núcleo Monagas. Maturín, Venezuela.
3. Calzadilla T. 2005. **“Diseño de un Sistema de Distribución de Gas Metano en la Ciudad de Anaco, Estado Anzoátegui”**, Tesis de Grado, Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”, Caracas, Venezuela.
4. Martínez M. 1993. **“Calculo de Tuberías y Redes de Gas”**, EDILUZ, Maracaibo, Venezuela.
5. CRANE. 1992. **“Flujo de Fluidos”**, Editorial McGraw-Hill. México.
6. Comisión Venezolana de Normas Industriales. 2008. **Sistemas de Tuberías para el Suministro de Gas Metano Comercial o GLP en Edificaciones Residenciales, Comerciales, otros tipo de Ocupación y Mixtas**, (No. 928-2008). FONDONORMA, Caracas, Venezuela.

7. Comisión Venezolana de Normas Industriales. 1989. **Redes de Distribución de Gas Metano. Instalación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad**, (No. 2580-89). FONDONORMA, Caracas, Venezuela.

8. Comisión Venezolana de Normas Industriales. 1981. **Tubos de Polietileno de Alta Densidad (requisitos)**, (No. 1774-81). FONDONORMA, Caracas, Venezuela.

9. Ente Nacional del Gas.2011. **“EntreGas: Pleno Impulso a la Siembra Petrolera”**. Ministerio del Poder Popular para la Energía y Petróleo. Caracas, Venezuela.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

TÍTULO	DISEÑO DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL PARA USO DOMESTICO EN EL SECTOR LAS COCUIZAS DEL MUNICIPIO MATURÍN DEL ESTADO MONAGAS
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Rocca Martinez, Geovanny José	CVLAC: 16.940.714 E MAIL: geovannyrocca@hotmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Gas Natural

Red de Distribución

Diseño

Cocuizas

Uso Doméstico

Monagas

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÀREA	SUBÀREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Química

RESUMEN (ABSTRACT):

En el siguiente trabajo se presenta el dimensionamiento de una red de gas natural para uso domestico, mediante la implementación de los modelos matemáticos de las ecuaciones de Weymouth, Panhandle y el método de Hardy Cross, así como también la utilización del simulador Stoner SynerGEE Gas 4.3.2 para la comprobación y optimización de los resultados recogidos con los modelos antes mencionados. Para ello, se describirá la ruta de suministro de gas natural que entra a la ciudad de Maturín y el recorrido de la misma hasta llegar al punto de distribución más cercano de la localidad a gasificar. Se levantará un plano digital con la información del censo catastral de la zona, donde se ubicaran los usuarios residenciales, comerciales, entre otros, con la finalidad de calcular la cantidad de gas requerida para satisfacer la demanda del sector, obteniéndose un valor de la misma de 109232 PCND (de acuerdo con las normas COVENIN), el cual, según las ecuaciones planteadas, podrá ser transportado por una tubería PEAD de 63 mm de diámetros, con caídas de presión y valores de velocidad permisibles. Luego con los perfiles de presión y velocidad aportados por simulador, se procederá al análisis de los escenarios de trabajo más críticos de la red, concretándose el diseño más adecuado para el abastecimiento de la comunidad, lográndose optimizar las cargas en el suministro de gas en un 60% y valores de presión y velocidad, totalmente aceptables con las premisas planteadas en éste proyecto.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Isvelia Avendaño	ROL	CA	AS(X)	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Alexis Cova	ROL	CA	AS	TU	JU(X)
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Crisanto Mata	ROL	CA	AS	TU	JU(X)
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2011	08	12
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
Tesis.Distribucion.Gas.Domestico.Cocuiza.doc	Aplication/ msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I J K
L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z. 0 1
2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: _____ (OPCIONAL)

TEMPORAL: _____ (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Químico

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de ingeniería química

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente. Núcleo de Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS

De acuerdo al artículo 41 del Reglamento de Trabajo de Grado:

“Los Trabajos de Grado son exclusiva propiedad de la Universidad y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”

Rocca Martinez, Geovanny José

AUTOR

Ing. Isvelia Avendaño

TUTOR

Ing. Alexis Cova

JURADO

Ing. Crisanto Mata

JURADO

Ing. Yraima Salas

POR LA SUBCOMISION DE TESIS