



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, _____

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

__KARENLORENA SALCEDO VALDERRAMA_____, con C.C. No. 1082778774,

__HUMBERTO SEMANATE SALAMANCA_____, con C.C. No. 1082778954,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o titulado: DETERMINACIÓN DEL SISTEMA DE RESPALDO MÁS EFICIENTE PARA EL SERVICIO PÚBLICO DE SUMINISTRO DE GAS NATURAL DOMICILIARIO EN EL MUNICIPIO DE PITALITO-HUILA.

Presentado y aprobado en el año __2017__ como requisito para optar al título de INGENIERO DE PETROLEOS

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores” , los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Vigilada Mineducación



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

EL AUTOR/ESTUDIANTE: KAREN LORENA SALCEDO :

Firma:

Karen Lorena Salcedo Valdezama

EL AUTOR/ESTUDIANTE: HUMBERTO SEMANATE SALAMANCA

Firma:

Humberto Semanate Salamanca



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: DETERMINACIÓN DEL SISTEMA DE RESPALDO MÁS EFICIENTE PARA EL SERVICIO PÚBLICO DE SUMINISTRO DE GAS NATURAL DOMICILIARIO EN EL MUNICIPIO DE PITALITO-HUILA

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Salcedo Valderrama	Karen Lorena
Semanate Salamanca	Humberto

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Vargas castellanos	Constanza
Daza	Servio Tulio

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
----------------------------	--------------------------

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero de Petróleos

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería de Petróleos

CIUDAD: Neiva

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2017

NÚMERO DE PÁGINAS: 131

Vigilada mieducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 3
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas__X_ Fotografías_X_ Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general_X_ Grabados___
Láminas___ Litografías___ Mapas___ Música impresa___ Planos_X_ Retratos___ Sin ilustraciones___
Tablas o Cuadros_X_

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: Ninguno

MATERIAL ANEXO: Leyes de los gases, propiedades de los combustibles, accesorios y características del camión cisterna de GLP, accesorios de un tanque estacionario, tipos de tanques de GNL, tipos de vaporizadores de GLP, tipos de mezcladores de gas natural sintético

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Sistema de respaldo	Backup system	6. _____	_____
2. Suministro	Supply	7. _____	_____
3. Transporte	Trasnport	8. _____	_____
4. Gas natural sintético	Synthetic natural gas	9. _____	_____
5. Continuidad	Continuity	10. _____	_____

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El modelo de suministro del servicio público de gas en el municipio de Pitalito se hace bajo la tecnología de gas natural comprimido, en donde la continuidad del servicio depende en gran parte en que la movilidad de sus vehículos de transporte de almacenamiento GNC se garantice entre la vía Neiva – Pitalito. Teniendo en cuenta que han ocurrido interrupciones por paros, fenómenos naturales, ajenos a la compañía, la empresa SURGAS E.S.P. S.A. que es la encargada del suministro de gas en el municipio de Pitalito, ha manifestado el interés de buscar una alternativa que permita garantizar la continuidad del servicio a sus usuarios cuando existe una interrupción por un evento fortuito que afecte el sistema de transporte de gas natural comprimido. Es por esto que la finalidad del proyecto es estudiar un sistema de respaldo que le permita a SURGAS E.S.P. S.A. tener un apoyo en el momento que ocurra un evento no esperado.



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 3
--------	--------------	---------	---	----------	------	--------	--------

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The model for the supply of the public gas service in the municipality of Pitalito is made under the technology of compressed natural gas, where the continuity of the service depends in large part on the mobility of its CNG storage vehicles is guaranteed between the road Neiva - Pitalito. Taking into account that there have been interruptions due to work stoppages, natural phenomena, outside the company, the company SURGAS E.S.P. S.A. Which is in charge of the gas supply in the municipality of Pitalito, has expressed the interest of seeking an alternative to ensure the continuity of service to its users when there is an interruption by a fortuitous event that affects the compressed natural gas transportation system. This is why the purpose of the project is to study a backup system that allows SURGAS E.S.P. S.A. Have support at the moment an unexpected event occurs.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado:

Firma:

Nombre Jurado: LUZ MARINA BOTERO

Firma:

Nombre Jurado: ERVIN ARANDA ARANDA

Firma:

DETERMINACIÓN DEL SISTEMA DE RESPALDO MÁS EFICIENTE PARA EL
SERVICIO PÚBLICO DE SUMINISTRO DE GAS NATURAL DOMICILIARIO EN
EL MUNICIPIO DE PITALITO – HUILA.



KAREN LORENA SALCEDO VALDERRAMA
HUMBERTO SEMANATE SALAMANCA

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA DE PETROLEOS
NEIVA
2017

DETERMINACIÓN DEL SISTEMA DE RESPALDO MÁS EFICIENTE PARA EL
SERVICIO PÚBLICO DE SUMINISTRO DE GAS NATURAL DOMICILIARIO EN
EL MUNICIPIO DE PITALITO – HUILA.



KAREN LORENA SALCEDO VALDERRAMA
HUMBERTO SEMANATE SALAMANCA

Tesis de grado

Director
Constanza Vargas
Ingeniero de petróleos

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA DE PETROLEOS
NEIVA
2017

DEDICATORIA

En primer lugar a Dios y a la virgen María por haberme dado la vida y permitirme haber llegado a este momento tan importante de mi formación profesional, porque nunca me dejaron desfallecer y me bendijeron en cada paso que realice manteniendo encendida en mi la fe y la esperanza.

A mis padres Teófilo Humberto Salcedo y Luz marina Valderrama por brindarme su infinito amor, su comprensión, por fomentar en mi valores haciendo de mí una mejor persona, por ser mi motor, orgullo y mi mayor apoyo durante toda mi vida.

A mis dos hermanos Diego Fernando y Esteban Humberto por brindarme su apoyo, cariño incondicional y la calidez de mi familia a la cual amo.

A toda mi familia por su cariño, confianza y total respaldo en todo este recorrido que he logrado hasta hoy.

A mi gran amigo Humberto por su valiosa y leal amistad, porque sin el equipo que formamos no hubiésemos logrado esta meta.

Karen Lorena

DEDICATORIA

Principalmente a Dios por ser mi guía y mi fuente de sabiduría, por darme la confianza, seguridad y esperanza, por respaldarme en el proceso de desarrollo de mi vida, por regalarme el amor de mi familia y darme animo por medio de ellos, por poner en mi camino a personas que hacen parte de la formación y realización de mis metas.

A mis padres Marta Cecilia Salamanca y Rodrigo Semanate por ser el apoyo incondicional, por el tiempo y dedicación, por la paciencia y el amor verdadero que me demuestran a diario, por formarme y recalcarme los valores indispensables para tener base firme en el momento de decisiones.

A mis hermanos Laura Daniela Semanate y Rodrigo Semanate por obsequiarme el apoyo y todo el cariño que hacen mi vida más especial. A toda mi familia que siempre estuvo ahí y me ayudaron a recuperar fuerzas al sentir la compañía y el apoyo.

A mi sobrina Mariana Daza por ser el mejor y especial impulso en el momento de pensar en seguir y alcanzar el propósito de una vida de metas.

Humberto

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos de todo corazón a Dios por ser nuestra guía en todo momento, por su infinito amor y sabiduría.

Al ingeniero Servio Tulio Daza por ser persona, amigo y gran fuente de conocimiento, gracias por toda la confianza depositada, por compartir con nosotros parte de su gran experiencia, por toda la colaboración y enseñanza brindada durante la ejecución de este proyecto.

A la ingeniera Constanza Vargas por ser nuestra directora de tesis, por su tiempo y orientación en este proceso.

A la empresa SURGAS E.S.P. S.A. por todo el apoyo, por asesorarnos técnicamente, por suministrarnos datos y por contribuir significativamente en este proceso.

A nuestros amigos y familiares que han hecho que la vida estudiantil sea amena, alegre y llevadera.

Karen y Humberto

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
LISTA DE ANEXOS	15
INTRODUCCIÓN	1
1. DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS COMBUSTIBLES.....	3
1.1 COMBUSTIBLE	3
1.1.1 Combustibles gaseosos	3
1.1.1.1 Familia de los combustibles gaseosos	4
1.1.1.2 Propiedades principales de los gases combustibles	4
1.1.1.3 Intercambiabilidad de combustibles gaseosos	8
2. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA ACTUAL DE SUMINISTRO DE GAS NATURAL EN PITALITO	10
2.1 SISTEMA DE GAS NATURAL EN EL MUNICIPIO DE PITALITO.....	10
2.1.1 Localización.....	10
2.1.2 Población.....	10
2.1.3 Consumo residencial y no residencial	10
2.1.4 Descripción del sistema GNC.....	10
2.1.4.1 Estación de compresión y llenado.....	11
2.1.4.2 Sistema de almacenamiento	12
2.1.4.3 Sistema de transporte	13
2.1.4.4 Sistema de descompresión	13
2.2 HISTORICO DE LA SUSPENSIÓN DEL SERVICIO DE GAS	15
2.3 PROYECCIÓN DE CRECIMIENTO POBLACIONAL ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE PITALITO.	16
3. SISTEMAS DE RESPALDO PARA EL GASODUCTO DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL DOMICILIARIO DEL MUNICIPIO DE PITALITO	22
3.1 AUMENTAR LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE GAS NATURAL COMPRIMIDO	22
3.2 SISTEMA DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO POR REDES.....	23
3.2.1 Medios de obtención del GLP	23
3.2.1.1 Obtención del GLP a partir del petróleo	23

3.2.1.2 Obtención del GLP a partir del gas natural	24
3.2.2 Transporte del GLP	25
3.2.2.1 Transporte de GLP por ductos	25
3.2.2.2 Transporte de GLP por tierra	26
3.2.3 Tanques estacionarios de GLP	26
3.2.3.1 Vaporización del depósito de GLP	27
3.3 SISTEMA DE GAS NATURAL LICUADO.....	27
3.3.1 Cadena de procesamiento de GNL	28
3.3.1.1 Licuefacción	28
3.3.1.2 Almacenamiento de GNL	30
3.3.1.3 Transporte de GNL.....	31
3.3.1.4 Regasificación de GNL.....	31
3.4 SISTEMA DE GAS NATURAL SINTETICO POR REDES.....	32
3.4.1 Componentes básicos de un sistema de GNS	32
3.4.1.1 Estación de descarga.....	33
3.4.1.2 Tanques de Almacenamiento.....	34
3.4.1.3 Bombas de proceso	35
3.4.1.4 Vaporizadores de GLP	35
3.4.1.5 Mezcladores de Vapor de GLP y Aire	35
3.4.1.6 Opciones y accesorios de un sistema de gas natural sintetico	36
4. ANALISIS CUALITATIVO DE LA VIABILIDAD DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE RESPALDO	38
4.1 AUMENTAR LA CAPACIDAD DE GAS NATURAL COMPRIMIDO	38
4.2 SISTEMA DE GAS LICUADO DEL PETRÓLEO POR REDES	38
4.3 SISTEMA DE GAS NATURAL LICUADO POR REDES.....	39
4.4 SISTEMA DE GAS NATURAL SINTETICO POR REDES.....	39
5. SISTEMA DE GAS NATURAL SINTETICO PARA EL MUNICIPIO DE PITALITO.....	42
5.1 GENERALIDADES DEL SISTEMA	42
5.2 DEMANDA ENERGETICA DE GAS NATURAL	42
5.3 EQUIPOS QUE COMPONEN LA PLANTA DE GNS	43
5.3.1 Tanques de almacenamiento de GLP	43
5.3.2 Vaporización del tanque	44

5.3.3	Capacidad de vaporización del tanque	46
5.3.4	Mezclador.....	49
6.	VERIFICACION OPERATIVA DE LAS REDES DE DISTRIBUCION	51
6.1	MEMORIA DE CALCULO RED DE POLIETILENO.....	51
6.1.1	Características de las tuberías.....	51
6.1.1.1	Tuberías plásticas	51
6.2	PRESIONES NOMINALES.....	52
6.3	VÁLVULAS.....	53
6.4	PROGRAMA GAS WORKS 9.0.....	54
6.5	DIAMETROS DE LA RED DE POLIETILENO DE PITALITO	55
6.6	DISTRIBUCIÓN DE NODOS.....	56
6.7	MODELAMIENTO DEL GASODUCTO DE DISTRIBUCION PARA GAS NATURAL DEL AÑO 2017	58
6.8	MODELAMIENTO DEL GASODUCTO DE DISTRIBUCION PARA GAS NATURAL AL AÑO 2037	60
6.9	MODELAMIENTO DEL GASODUCTO DE DISTRIBUCION PARA GAS NATURAL SINTETICO AL AÑO 2017	62
6.10	MODELAMIENTO DEL GASODUCTO DE DISTRIBUCION PARA GAS NATURAL SINTETICO AL AÑO 2037	64
7.	EVALUACION DE COSTOS DE LA PLANTA DE GAS NATURAL SINTETICO.....	66
7.1	DISCIPLINA CIVIL.....	66
7.1.1	Adecuación y cerramiento del lote	66
7.1.2	Pavimento patio de maniobras	66
7.1.3	Placa y cubierta del compresor	66
7.1.4	Base – Apoyo tanque GLP	66
7.1.5	Tanque de almacenamiento de agua	66
7.1.6	Obras civiles equipo GNS	66
7.2	DISCIPLINA MECANICA.....	67
7.2.1	Interconexión equipos GNS.....	67
7.2.2	Descargue de GLP	67
7.2.3	Red contra-incendio	67
7.3	DISCIPLINA ELECTRICA.....	67

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	69
BIBLIOGRAFÍA.....	71
ANEXOS.....	74

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Ilustración 1. Estación de compresión SURGAS E.S.P. S.A.	11
Ilustración 2. Sistema de almacenamiento GNC.....	12
Ilustración 3. Transporte de GNC.	13
Ilustración 4. Sistema de descompresión, municipio Pitalito.....	14
Ilustración 5. Diagrama de flujo de la estación actual del municipio de Pitalito.	14
Ilustración 6. Tasa de crecimiento poblacional zona urbana. Año 2017-2020.	17
Ilustración 7. Red de transporte de GLP.....	23
Ilustración 8. Producción GLP por fuente de suministro, BPD.....	24
Ilustración 9. Fuentes de producción e infraestructura de transporte de GLP en Colombia.....	25
Ilustración 10. Capacidad de almacenamiento en plantas almacenadoras, 2012..	26
Ilustración 11. Tanque estacionario.	27
Ilustración 12. Cadena de procesamiento del GNL.....	28
Ilustración 13. Procesos de tratamiento del GN, previo a la licuefacción.....	29
Ilustración 14. Proceso de licuefacción de Gas Natural.....	29
Ilustración 15. Tanque de almacenamiento típico.....	30
Ilustración 16. Buque tipo tanque esférico y tipo membrana.	31
Ilustración 17. Componentes y dirección de flujo en un sistema de GNS.....	33
Ilustración 18. Estación de descarga de camiones de GLP.....	34
Ilustración 19. Elementos de una estación de descarga de camiones de GLP.	34
Ilustración 20. Bombas encargadas de transferir GLP al vaporizador.	35
Ilustración 21. Diagrama típico de un sistema de GNS.....	37
Ilustración 23. Perfil máximo de consumo.	45
Ilustración 24. Dimensiones de un tanque de 10,000 galones.....	46
Ilustración 25. Esquema ilustración poli válvula.....	53
Ilustración 26. Ubicación de polivalvulas de anillo.	53
Ilustración 27. Diámetros y zona de expansión.....	56

Ilustración 28. Muestra representativa de la distribución de nodos.....	57
Ilustración 29. Representación de un depósito y su forma en cuello de cisne.	89
Ilustración 30. Cisterna de GLP, parte líquida - parte gaseosa.....	89
Ilustración 31. Parasol sobre un depósito para GLP.....	90
Ilustración 32. Puerta de acceso.....	90
Ilustración 33. Conducción de carga y descarga.	91
Ilustración 34. Armario de válvulas.	91
Ilustración 35. Tubos y conectores de carga/descarga, válvula fondo.....	91
Ilustración 36. Válvula de fondo.	92
Ilustración 37. Conexión válvula con la cisterna.	92
Ilustración 38. Introducción de la válvula.	93
Ilustración 39. Válvula de corte.....	93
Ilustración 40. Tipos de válvula de corte.....	94
Ilustración 41. Galga rotativa.	94
Ilustración 42. Lectura del volumen de líquido en el depósito.....	95
Ilustración 43. Acoplamiento weco.....	95
Ilustración 44. Brazos de carga de GLP.	96
Ilustración 45. Accesorios de un tanque estacionario.....	97
Ilustración 46. Componentes de un vaporizador de llama directa.....	100
Ilustración 47. Componentes del vaporizador del baño de agua.	101
Ilustración 48. Componentes del vaporizador de baño de agua eléctrico.....	103
Ilustración 49. Componentes del vaporizador de baño de agua vertical.....	104
Ilustración 50. Componentes principales del vaporizador eléctrico.....	106
Ilustración 51. Componentes de un mezclador Tipo Venturi.....	109
Ilustración 52. Vista transversal de un mezclador operado por pistón.	110
Ilustración 53. Sistema de mezclado de pistón en el POM.....	111
Ilustración 54. Corte transversal del pistón (Zona de mezcla).	111
Ilustración 55. Válvulas de bola y de globo.....	112
Ilustración 56. Control automático de las propiedades del gas mezclado.....	113

Ilustración 57. Medidor de gravedad específica.....113

Ilustración 58. Medidores de flujo y Computadoras de flujo.....114

Ilustración 59. Válvulas de control de flujo.....114

Ilustración 60. Cabezal de Quemador de señal luminosa.....115

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Propiedades de los gases combustibles.	6
Tabla 2. Temperatura de auto ignición y límite de inflamabilidad de combustibles gaseosos.	7
Tabla 3. Distribución de usuarios por estratos. Marzo 2017.	10
Tabla 4. Especificaciones técnicas de los cilindros que componen los módulos de almacenamiento.....	12
Tabla 5. Suspensión temporal del servicio de gas natural.....	15
Tabla 6. Crecimiento de población zona urbana, año 2005-2020.....	16
Tabla 7. Porcentaje de crecimiento poblacional a 20 años.	17
Tabla 8. Proyección de usuarios de gas natural residencial y no residencial	18
Tabla 9. Consumo residencial y no residencial facturado, Mes de marzo 2017	19
Tabla 10. Proyección de consumo promedio mensual de gas natural por usuario	19
Tabla 11. Proyección de consumo mensual en zona residencial y no residencial.	20
Tabla 12. Proyección de Consumo diario.	20
Tabla 13. Variación índice de precios al consumidor, Año 2006-2016	40
Tabla 14. Evaluación de los sistemas de respaldo.	41
Tabla 15. Proyección de demanda energética de gas natural.	42
Tabla 16. Proyección de galones de GLP.....	43
Tabla 17. Proyección de tanques necesarios para respaldo de 7 días.....	44
Tabla 18. Proyección demanda máxima hora crítica.	45
Tabla 19. Constante k según el porcentaje de volumen mínimo de llenado de líquido.	47
Tabla 20. Constante f según temperatura del medio ambiente.	48
Tabla 21. Comparación de la vaporización cada año.	48
Tabla 22. Máxima presión de operación permisible de tuberías de polietileno.	52
Tabla 23. Diámetros del gasoducto de distribución.	55
Tabla 24. Especificaciones de la calidad del gas natural en Colombia.....	77

Tabla 25. Equivalencias del gas natural.	77
Tabla 26. Propiedades físicas y químicas del Gas Natural.	78
Tabla 27. Equivalencias del GLP.	78
Tabla 28. Propiedades de los gases.	82
Tabla 29. Composición del Aire.	83
Tabla 30. Relaciones Aire - Combustible para combustiones completas.	85

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Leyes de los gases.....	74
Anexo B. Propiedades de los combustibles.....	76
Anexo C. Accesorios y características del camión cisterna de GLP.....	89
Anexo D. Accesorios de un tanque estacionario.....	97
Anexo E. Tipos de tanques de GNL.....	99
Anexo F. Tipos de vaporizadores de GLP.....	100
Anexo G. Tipos de mezcladores de gas natural sintético.....	107
Anexo H. Opciones y accesorios de un sistema de gas natural sintético.....	112

RESUMEN

El modelo de suministro del servicio público de gas en el municipio de Pitalito se hace bajo la tecnología de gas natural comprimido, en donde la continuidad del servicio depende en gran parte en que la movilidad de sus vehículos de transporte de almacenamiento IGNC se garantice entre la vía Neiva – Pitalito. Teniendo en cuenta que han ocurrido interrupciones por paros, fenómenos naturales, ajenos a la compañía, la empresa SURGAS E.S.P. S.A. que es la encargada del suministro de gas en el municipio de Pitalito, ha manifestado el interés de buscar una alternativa que permita garantizar la continuidad del servicio a sus usuarios cuando existe una interrupción por un evento fortuito que afecte el sistema de transporte de gas natural comprimido. Es por esto que la finalidad del proyecto es estudiar un sistema de respaldo que le permita a SURGAS E.S.P. S.A. tener un apoyo en el momento que ocurra un evento no esperado.

ABSTRACT

The model for the supply of the public gas service in the municipality of Pitalito is made under the technology of compressed natural gas, where the continuity of the service depends in large part on the mobility of its CNG storage vehicles is guaranteed between the road Neiva - Pitalito. Taking into account that there have been interruptions due to work stoppages, natural phenomena, outside the company, the company SURGAS E.S.P. S.A. Which is in charge of the gas supply in the municipality of Pitalito, has expressed the interest of seeking an alternative to ensure the continuity of service to its users when there is an interruption by a fortuitous event that affects the compressed natural gas transportation system . This is why the purpose of the project is to study a backup system that allows SURGAS E.S.P. S.A. Have support at the moment an unexpected event occurs.

INTRODUCCIÓN

El gas natural es visto en la actualidad como una de las principales y más relevantes fuentes de energía fósil debido a que su rendimiento energético es superior al de cualquier otra fuente combustible. Este hecho añadido a la expansión de su comercio y la extensión de las redes y sistemas de distribución, hacen que su utilización esté aumentando en todo el mundo. No obstante lo anterior, existen zonas donde puede haber interrupciones en el suministro de gas natural, principalmente por hechos de la naturaleza y por diferentes variables ajenas a las empresas distribuidoras, cuando se presentan estos racionamientos las empresas encargadas de suministrar gas natural se ven afectadas, lo que les implica aumento de costos y en el caso de las industrias, severos impactos en sus procesos productivos.

La necesidad de complementar las fuentes de suministro convencionales de energía ha impulsado la investigación y el creciente desarrollo de las tecnologías alternativas, las cuales proveen una opción de abastecimiento que permite atender la demanda de suministro de gas durante el tiempo que persisten las interrupciones del combustible, garantizando al usuario una continuidad del servicio público.

En nuestro país muchas empresas se encuentran desprotegidas ante esta amenaza del corte de suministro de gas domiciliario e industrial, por este motivo la planificación y optimización logística es un punto clave para la competitividad de las empresas. Todas las acciones que lleven a cumplir correctamente la prestación de este servicio tienen objetivos de interés; con este proyecto se propone estudiar los factores que influyen en la selección de un sistema de respaldo, para lo cual se plantea como hipótesis que la mejor opción del sistema de respaldo será aquella que técnica, operativa y económicamente permita mejorar la continuidad del servicio.

En primer lugar se conocen detalladamente los fundamentos teóricos de los combustibles, en el estado en que ellos se encuentran (líquido, sólido, gaseoso), como parte esencial del entendimiento de los fluidos y compuestos que se mueven en el sistema.

En segundo lugar se hace una descripción minuciosa del sistema actual de suministro de gas natural comprimido del municipio de Pitalito, debido a que es el lugar de trabajo donde se desarrollará el proyecto.

En tercer lugar se describen cuatro posibles sistemas de respaldo que pueden ser una alternativa sustituta ante eventuales interrupciones, teniendo presente que lo que se quiere con el sistema de respaldo es utilizar la infraestructura con la que cuenta el sistema actual de suministro de gas domiciliario del municipio de Pitalito.

En cuarto lugar se evalúan de manera cualitativa los sistemas de respaldo basándose en tres factores importantes (técnico, económico y disponibilidad) que actúan de manera influyente en la selección de la implementación del sistema de respaldo.

En quinto lugar se describe el sistema de respaldo seleccionado por ser el mejor en cumplir los factores nombrados anteriormente, además se aprecia la capacidad que debe tener para cubrir la demanda en momentos inesperados y así asegurar la continuidad del servicio.

En sexto y último lugar se hace la verificación operativa de las redes de distribución por medio del programa GAS WORKS 9.0 y se evalúan los costos del diseño seleccionado.

1. DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS COMBUSTIBLES

1.1 COMBUSTIBLE

Aunque combustible es cualquier sustancia que pueda arder, habitualmente se reserva esta denominación para aquellos materiales que son quemados y oxidados ya sean en forma lenta, rápida o instantánea para producir energía calorífica (proceso de combustión).

Los combustibles pueden calificarse, según el estado en que se presentan, en:

- Combustibles sólidos: leña, carbón mineral, carbón de coque.
- Combustibles líquidos: gasolina, gasóleo, queroseno, fuel-oíl, alcoholes.
- Combustibles gaseosos: gas natural (GN), propano, butano, acetileno, aire propanado entre otros.

1.1.1 Combustibles gaseosos. Entre las moléculas que forman estos cuerpos, predominan las fuerzas de mutua y perpetua repulsión; de ello proviene su gran expansibilidad, o sea, la propiedad por la cual toda masa gaseosa tiende a ocupar el mayor espacio posible. Por esto los gases adoptan siempre la forma y el volumen de los depósitos en que se hallan contenidos, ocupándolos totalmente y ejerciendo de adentro hacia fuera una presión sobre sus paredes en virtud de una fuerza denominada: tensión o fuerza elástica de los gases. Entre los combustibles gaseosos más importantes se encuentra el acetileno, amoníaco, butano, propano, hidrógeno y metano¹.

Los combustibles gaseosos son los de mayor peligrosidad, además de los riesgos propios de su combustión, es posible que produzcan combinaciones químicas altamente explosivas, tóxicas o venenosas. Todos los gases tienden a aumentar su volumen cuando aumentan su temperatura, es importante considerar este hecho en relación con los gases comprimidos (como el GLP) que se puedan encontrar en un incendio. En efecto el calor afecta la resistencia del contenedor, mientras el gas, al no poder incrementar su volumen, aumenta la presión interna, con el riesgo de una ruptura violenta del recipiente que lo contiene².

Antes de iniciar cualquier trabajo suministrando un gas combustible, se deben conocer las siguientes características del gas distribuido:

- Familia del gas.
- Naturaleza del gas.
- Poder calorífico superior (P.C.S.).

¹ LIZCANO, N & CALIXTO, C. Estudio técnico-económico del uso de sistema de aire propanado en proyectos de gas domiciliario. Bucaramanga, 2004, p.160.

² Ibíd., p. 3.

- Densidad respecto al aire.
- Grado de humedad.
- Presencia eventual de condensados.
- Índice de Wobbe.

1.1.1.1 Familia de los combustibles gaseosos. Los combustibles gaseosos se clasifican en diferentes familias de acuerdo a la norma internacional UNE 60.002, la cual clasifica los gases combustibles según un parámetro llamado índice de wobbe, (cociente entre el poder calorífico superior y la raíz cuadrada de la densidad relativa del gas).³

❖ Primera familia (BAJO P.C.S.)

Gas manufacturado, obtenidos a partir de destilación de hulla, cracking de naftas, reforming de gas natural o mezclas de butano y aire.

- Poder calorífico superior (P.C.S) = 4200 - 5600 kcal/m³ o 472 - 629.3 BTU/Ft³
- Densidad relativa = 0.4 - 0.6
- Índice de wobbe = 5422 - 8854 kcal/m³ o 609.27 - 994.93 BTU/Ft³

❖ Segunda familia (INTERMEDIO P.C.S.)

Gas natural (extraído de yacimientos subterráneos) o mezclas de propano y aire.

- Poder calorífico superior (P.C.S) = 8500 - 14500 kcal/m³ o 955 - 1629 BTU/Ft³
- Densidad relativa = 0.62 - 1.38
- Índice de wobbe = 10795 - 12343 kcal/m³ ó 1213.01 - 1387 BTU/Ft³

❖ Tercera familia (ALTO P.C.S.)

Gases licuados del petróleo o GLP (derivados de productos petrolíferos).

- Poder calorífico superior (P.C.S) = 25189 - 31138 kcal/m³ o 2830 - 3499 BTU/Ft³
- Densidad relativa = 1.562 - 2.03
- Índice de wobbe = 12343 - 13335 kcal/m³ o 1387 - 1498.46 BTU/Ft³.

1.1.1.2 Propiedades principales de los gases combustibles. Los combustibles gaseosos pueden ser analizados volumétricamente en términos de los compuestos químicos que contiene, es decir su naturaleza (composición). Las propiedades de

³ Ibíd., p. 3.

los combustibles que son los parámetros que definen la calidad del combustible son⁴:

- a) Composición: La composición de un combustible es fundamental para determinar los parámetros estequiométricos característicos de la reacción de combustión. Además, establece si él mismo, es apto o no para el uso al que se le requiere, en función de la presencia de componentes que puedan ser nocivos o contaminantes. La forma habitual de indicar la composición de un gas es como porcentaje en volumen de cada uno de sus componentes, en condiciones normales de temperatura y presión. Si se expresa éste porcentaje relativo al 100% total, se obtiene la fracción molar x_i . Por lo tanto, si el combustible gaseoso tiene n componentes, deberá cumplirse que:

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1 \text{ donde: } x_i = \frac{\text{mol comp } i}{\text{mol combustible}}$$

Los componentes más habituales en un combustible gaseoso son:

- Dióxido de carbono: CO₂.
- Monóxido de carbono: CO.
- Hidrógeno: H₂.
- Oxígeno: O₂.
- Nitrógeno: N₂.
- Dióxido de azufre: SO₂.
- Sulfuro de hidrógeno: SH₂.
- Vapor de agua H₂O.

- b) Poder calorífico: es la cantidad de energía desprendida en la reacción de combustión, referida a la unidad de volumen de combustible.

- Poder calorífico superior (P.C.S.): es el calor liberado por unidad de volumen del combustible cuando en los productos, el vapor de agua se condensa totalmente.
- Poder calorífico inferior (P.C.I.): es el calor liberado por unidad de volumen del combustible cuando en los productos, el agua no se condensa totalmente.

$$P.C.I. = P.C.S - 83.68 * V_{H_2O} \text{ en BTU/ft}^3$$

⁴ Ibíd., p. 3.

Donde $83.68 \text{ BTU}/\text{ft}^3$, es aproximadamente el calor latente de cambio de fase del agua a 0°C y $V_{\text{H}_2\text{O}}$ Son ft^3 de vapor formado por 1 m^3 de combustible.

Aunque el poder calorífico puede ser calculado del análisis del gas, es frecuentemente medido por medio de un calorímetro de flujo estable y presión constante, en el cual el gas es quemado en una cámara de combustión empacada en agua. El aumento de temperatura es una medida del poder calorífico del combustible.

- c) Gravedad del gas (gravedad específica): en el caso de combustibles gaseosos se utilizan tanto la densidad absoluta (kg/m^3) como la relativa al aire (adimensional), definida como $\rho_r = \rho / \rho_a$, siendo ρ la densidad absoluta del gas y ρ_a la densidad absoluta del aire, ambas medidas en las mismas condiciones de temperatura y presión. La densidad relativa tiene mucha importancia por el hecho de que determina, por ejemplo, si el gas se acumula en el techo o en el suelo, en caso de una fuga en un lugar cerrado. La densidad absoluta del aire, en condiciones normales (0°C y 1atm), es de $1,287 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Si un combustible como el GLP está formado por 2 o más componentes (n componentes), cuyas densidades relativas son ρ_{ri} , se puede calcular la densidad relativa media del combustible gaseoso, como:

$$\rho_r = \sum_{i=1}^n x_i \rho_{ri}$$

En la tabla 1 se muestran valores de propiedades de los principales combustibles gaseosos utilizados en Colombia.

Tabla 1. Propiedades de los gases combustibles.

Gases combustibles	Poder calorífico BTU/ft^3	Gravedad específica	Índice de Wobbe BTU/ft^3
Gas Natural	1,000	0.60	1,291
Propano	2,516	1.53	2,034
Aire	0	1	0
Gas Natural Sintético	1,477	1.31	1,291

Fuente. Empresa colombiana de petróleo- ECOPETROL.

- d) Temperatura de ignición: Si la temperatura del gas aumenta, por estar en contacto con un material que tenga una determinada temperatura, llegará a un punto en que comenzará a arder con una combustión sostenida. A ésta temperatura mínima, a la cual los vapores del combustible comienzan a arder, se le llama Temperatura de Ignición. La Temperatura de Ignición es diferente para cada material combustible.
- e) Rango de inflamabilidad: Para que un combustible comience a arder, no basta con que esté gasificado y que los vapores se pongan en contacto con un material que le entregue la temperatura de ignición necesaria, se requiere además, que los vapores combustibles estén mezclados con el oxígeno del aire en determinadas proporciones. Cuando el porcentaje de gas en la mezcla con el aire es menor que cierto límite inferior, LFL (Lower Flame Limit, Límite Inferior de Inflamabilidad), la combustión no se produce. Se habla aquí de una mezcla pobre en gases combustibles, porque falta gas combustible. Por otro lado, cuando el porcentaje de gas en la mezcla con el aire excede un límite superior UFL (Uper Flame Limit, Límite Superior de Inflamabilidad), tampoco habrá combustión. Corresponde este caso a una mezcla rica en gases combustibles y lo que falta es oxígeno.

Los porcentajes de gas en la mezcla con el aire comprendidos entre el límite inferior y superior, reciben el nombre de Rango de Inflamabilidad de los gases combustibles. Por lo tanto, sólo se produce la combustión cuando el porcentaje de combustible está entre el límite inferior de inflamabilidad (*LFL*) y el límite superior de inflamabilidad (*UFL*).

Las mezclas explosivas han sido estudiadas ampliamente para poder prevenir sus riesgos. La tabla 2, muestra los límites de inflamabilidad y la temperatura de auto ignición de los gases simples de uso más frecuente.

Tabla 2. Temperatura de auto ignición y límite de inflamabilidad de combustibles gaseosos.

Combustible	Temperatura de auto ignición (°C)	Límite de inflamabilidad (%V)	
		Límite inferior	Límite superior
CO	609	12.5	74
CH ₄	537	5.3	14
C ₂ H ₆	515	3.2	12.5
C ₃ H ₆	458	2.0	11
C ₃ H ₈	466	2.4	9.5
n-C ₄ H ₁₀	405	1.9	8.5

Fuente. Oxygen-Enhanced Combustion, second edition.

El efecto de las grandes variaciones de presión, ni es simple ni uniforme, aunque sí característico de cada mezcla. La humedad ejerce poca influencia sobre los límites de inflamabilidad.

En la práctica, los gases industriales son casi siempre mezclas simples, por lo tanto, sus límites de inflamabilidad en el aire variarán con la composición.

Estos límites se pueden calcular mediante la fórmula de *COWARD*, cuya expresión matemática es la siguiente:

$$L = 100 * (P1 / N1 + P2 / N2 + P3 / N3 + \dots + Pn / Nn)$$

L = límite de inflamabilidad inferior o superior de la mezcla.

P = porcentaje de cada uno de los gases combustibles que componen la mezcla, calculados de forma que su suma sea igual a 100, excluyendo los componentes inertes.

N = representa el límite de inflamabilidad inferior o superior de cada uno de los componentes combustibles que entran en la mezcla.

- f) Índice de Wobbe: Determina el grado de intercambiabilidad entre gases combustibles y se determina de acuerdo a la siguiente expresión:

$$I.W. = \frac{\text{Poder calorífico superior}}{\sqrt{\text{Densidad relativa}}}$$

Valores iguales del Índice de Wobbe para dos combustibles gaseosos significa que son compatibles uno con el otro para su uso, sin hacer cambio alguno en los equipos de quemado.

1.1.1.3 Intercambiabilidad de combustibles gaseosos. “Es la habilidad para sustituir un combustible gaseoso por otro, en una aplicación de combustión, sin cambiar la seguridad operativa, la eficiencia y desempeño en términos del incremento de emisiones contaminantes”.⁵ En la intercambiabilidad de combustibles deben considerarse los siguientes aspectos⁶:

1. Igual velocidad de entrada del calor.
2. Capacidad de manejo fluida de conductos, quemadores, tuberías, válvulas, controles.
3. Estabilidad del quemador.

⁵ COMISION DE REGULACION DE ENERGIA Y GAS. Circulación, documento CREG-062, 2008. p.65.

⁶ LIZCANO, N & CALIXTO, C, op. Cit, p. 3.

4. Patrón de descarga de calor.
5. Atmósfera del horno.

- El índice de Wobbe, es usado para evaluar intercambiabilidad con respecto a los ítems 1 y 2. Si el gas sustituto tiene el mismo índice de Wobbe que el gas que va ser reemplazado, no cambia el grupo de válvulas que serían necesarias cuando se cambian combustibles.
- La estabilidad del quemador: es una función de la velocidad de flama y de los límites de inflamabilidad. Aunque algunos métodos teóricos han sido propuestos para evaluar la estabilidad de la llama cuando intercambian combustibles, esto es aconsejable actualmente para probar el gas sustituto en los tipos de quemadores a ser usados, en todas las proporciones de encendido esperadas y relaciones gas aire.
- El patrón de descarga de calor: depende de la forma de la llama, intensidad y luminosidad. El gas natural tiene un quemado relativamente lento; así la mayoría de los combustibles sustitutos tenderán a quemar con llamas cortas, más intensas. El efecto de éste cambio puede ser evaluado sólo con una prueba para cada proceso por la cual un combustible sustituto es propuesto.
- El quemador atmosférico: puede ser seriamente afectado si el combustible sustituto tiene una alta concentración de una impureza como azufre. Algunos procesos, particularmente generadores atmosféricos de tratamiento de calor, son sensibles a los cambios de relación carbono- hidrógeno, la cual puede involucrar control de punto de rocío.

2. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA ACTUAL DE SUMINISTRO DE GAS NATURAL EN PITALITO

2.1 SISTEMA DE GAS NATURAL EN EL MUNICIPIO DE PITALITO

El servicio de distribución y comercialización del gas natural en el municipio de Pitalito-Huila inició en el año 2007 por medio del sistema de Gas Natural Comprimido (GNC) o gasoducto virtual. Este sistema presenta las siguientes características.

2.1.1 Localización. Pitalito está ubicado al sur del Departamento del Huila sobre el Valle del Magdalena y en el vértice que forman las cordilleras central y oriental a 1.318 m.s.n.m y a 188 Km de la Capital del Huila; tiene una temperatura de 24°C. Es considerado la Estrella Vial del Surcolombiano por su localización estratégica, que permite la comunicación con los Departamentos vecinos del Cauca, Caquetá y Putumayo⁷.

2.1.2 Población. La ciudad de Pitalito cuenta con 22.395 usuarios con servicio de Gas Natural con una cobertura del 95% de predios anillados (viviendas que tienen la disponibilidad del servicio) y con un 85% de usuarios que tiene la instalación de Gas Natural.

2.1.3 Consumo residencial y no residencial. El consumo mensual y diario del municipio de Pitalito del mes de marzo del año 2017 es de 275,005 m³ y 9,167 m³.

Tabla 3. Distribución de usuarios por estratos. Marzo 2017.

Fecha	Estrato								
	1	2	3	4	5	Total Residencial	Comercial	Otros	Total no residencial
marzo 2017	11119	8233	2928	65	1	22.346	38	11	49

Fuente. Sistema único de información de servicios públicos, SUI.

Los usuarios de estrato 1 y 2 representan el 90,45% de los usuarios conectados.

2.1.4 Descripción del sistema GNC. El municipio de Pitalito tiene suministro de Gas Natural Comprimido, este sistema se basa en almacenar gas natural a alta presión de tal manera que su volumen disminuya y se pueda transportar mayor cantidad de gas. Esta tecnología es un medio eficaz para llegar a poblaciones donde resulta

⁷ Alcaldía de Pitalito-Huila. Somos Pitalito Territorio Ideal.

difícil (ya sea por factores económicos o técnicos) implementar el sistema tradicional de gasoducto troncal.

Actualmente el gas que llega al municipio de Pitalito se comprime en la estación de compresión de Neiva operada por la empresa SURGAS E.S.P. S.A. Esta es la encargada del transporte diario de los tráiler hacia Pitalito.

Este sistema depende de 4 pasos indispensables:

1. La Compresión.
2. El almacenamiento.
3. El medio de transporte.
4. Estación de regulación o descompresión.

2.1.4.1 Estación de compresión y llenado. Actualmente la estación de compresión operada por la empresa SURGAS, S.A. consta de dos compresores marca ASPRO GNC, trabajan 16 horas al día que equivale al 66.7% de su trabajo diario y su funcionamiento es 100% con energía eléctrica; estos compresores son reciprocantes y poseen tres etapas de compresión, en donde cada etapa incrementa progresivamente la presión hasta alcanzar el nivel requerido. Estas etapas empiezan desde 250-900 psig, 900-1600 psig y 1600-3625 psig.

Ilustración 1. Estación de compresión SURGAS E.S.P. S.A.



Fuente. SURGAS E.S.P. S.A.

Adicional a lo anterior la estación está formada por:

- Tanque compensador: Sirve para suministrar de forma estable el gas que va a ser comprimido y lograr una operación continua.
- Filtro de entrada: Sirve para eliminar sólidos o impurezas que acompañan el gas. Del buen funcionamiento de éste depende el comportamiento apropiado del elemento de regulación y de los demás elementos del proceso.

- Sistema de enfriamiento: Durante el proceso de compresión se genera calor que es necesario eliminar mediante el sistema de enfriamiento (ventilación) que opera sobre las diferentes etapas del gas que se está comprimiendo.
- Tanque de recuperación: Los condensados que se producen se van acumulando y almacenando en este tanque.
- Sistema de seguridad de gas y alarmas: Tiene todos los instrumentos, válvulas e indicadores que permiten una operación segura y facilitan la operación de la unidad.

2.1.4.2 Sistema de almacenamiento. El sistema de almacenamiento está compuesto por un conjunto de 11 cilindros con capacidad de 6300 m³ estandar, ensamblados en carrocerías para conformar un “tráiler”.

Ilustración 2. Sistema de almacenamiento GNC.



Fuente. SURGAS E.S.P. S.A.

Este sistema de tráiler, es la unidad integral de servicio y se deja ubicado en la estación de gas de Pitalito donde se entrega el gas natural comprimido.

Tabla 4. Especificaciones técnicas de los cilindros que componen los módulos de almacenamiento.

Material	Acero templado
Construcción	Sin costura
Presión de trabajo	3000 psig
Presión máxima	4400 psig
Capacidad	573 m ³ de gas (2112 litros de H ₂ O)
Diámetro exterior	531 mm
Longitud	8950 mm
Espesor de pared	15 mm
Peso vacío	1700 Kg
Peso total	1995 Kg (cilindro + gas+ accesorios)

Fuente. SURGAS E.S.P. S.A.

2.1.4.3 Sistema de transporte. Los módulos de almacenamiento de GNC son transportados mediante cabezotes de fuerza que hacen parte del camión articulado (tractomula) que es la unidad que los transporta. Se encarga de dejar estacionados los módulos de almacenamiento de GNC que están llenos de gas natural comprimido y transportar los vacíos hasta la estación de compresión para iniciar un nuevo ciclo⁸.

Actualmente hacia Pitalito viajan diariamente dos tráilers de 6300 m³ estándar, encargados de suministrar la demanda diaria del municipio de Pitalito que son 9167 m³/D y en el transcurso del viaje abastecer otros municipios cercanos, es decir, a Pitalito llega aproximadamente tráiler y medio de GNC.

Ilustración 3. Transporte de GNC.



Fuente. SURGAS E.S.P S.A.

2.1.4.4 Sistema de descompresión. Una vez el gas natural comprimido es dejado en la estación del municipio de Pitalito, se prosigue al proceso de descompresión, el cual consiste en utilizar válvulas para expandir el gas, donde se reduce la presión para luego inyectarlo a las redes de distribución y poder llevarlo a los usuarios finales. La unidad descompresora está compuesta por las siguientes herramientas:

- Tren de descarga: es el encargado de recibir el gas natural comprimido y llevarlo a la unidad de descompresión.
- Calentador: se utiliza un calentador debido a que al descomprimirlo a alta presión el gas se enfría hasta -10°C.
- Manifold de distribución de alta presión.
- Sistema de regulación: reduce la presión del gas mediante válvulas para entregarlo a presión estable a la red de distribución. La descompresión se da por dos etapas:
 - Regulación a alta presión: de 3625 psig a 250 psig.
 - Regulación a baja presión: de 250 psig a 60 psig.

⁸ Ibíd., p.4

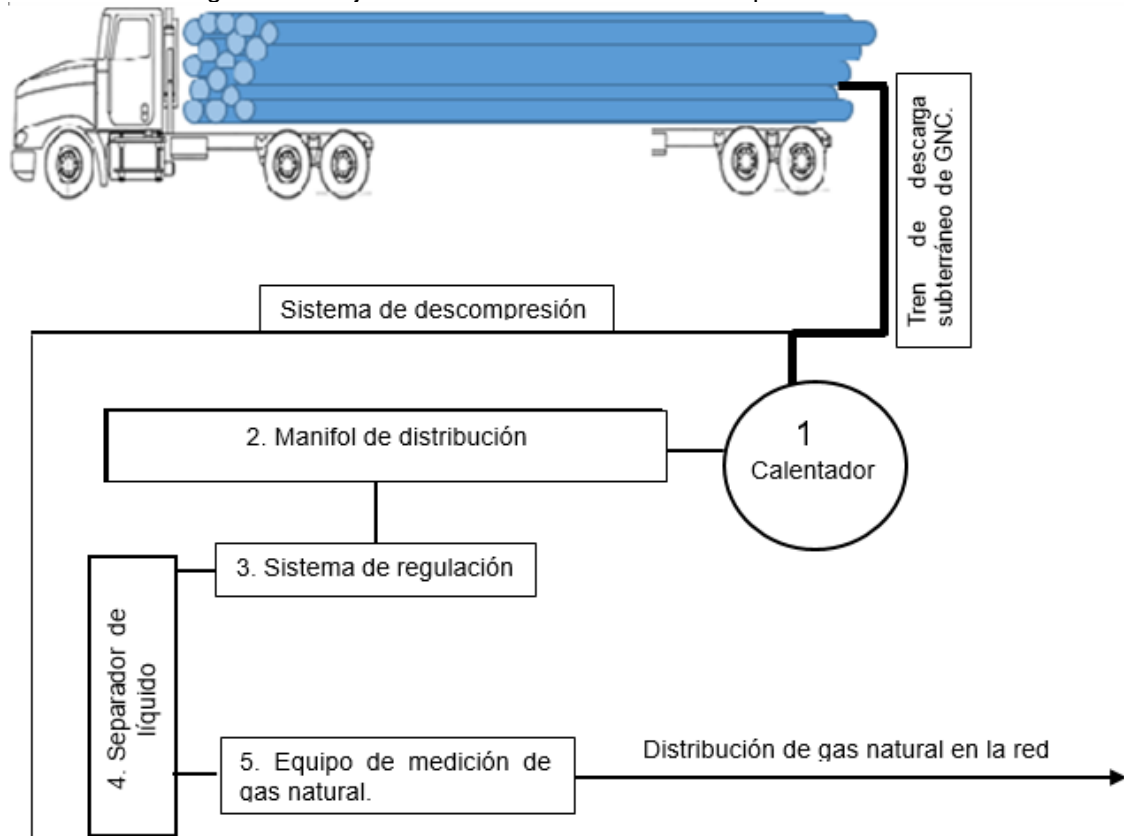
- Separador de líquidos: elimina humedad que puede contener el gas.
- Unidad de filtración de partículas sólidas: elimina sólidos e impurezas que puede contener el gas.
- Equipo de medición: permite conocer el volumen de gas que pasa por la estación.

Ilustración 4. Sistema de descompresión, municipio Pitalito.



Fuente. SURGAS E.S.P. S.A.

Ilustración 5. Diagrama de flujo de la estación actual del municipio de Pitalito.



Fuente. Autor.

2.2 HISTORICO DE LA SUSPENSIÓN DEL SERVICIO DE GAS

El tiempo de suspensión que ha sufrido el servicio en el municipio de Pitalito se presenta a continuación.

Tabla 5. Suspensión temporal del servicio de gas natural.

Fecha	Tiempo	Motivo
30 Mayo 2010	3 días	Las reservas de gas se acabaron como consecuencia del paro agrario agudizado en el sur del Huila con el taponamiento permanente de vías.
8 junio 2011	2 días	Racionamiento de gas.
26 marzo 2012	3 días	Taponamiento por fuertes lluvias.
31 agosto 2013	2 días	Taponamientos en todo el departamento del Huila por el paro campesino
28 febrero 2013	3 días	Paro nacional cafetero
28 abril 2014	1 día	Paro cafetero
1 Mayo 2014	6 días	Los carros con pipetas que llevaban el servicio hasta Pitalito se quedaron estancados por el paro agrario.
19 Agosto 2014	15 días	Paro campesino.
15 octubre 2015	1 día	Fallas técnicas del carro trasportador
11 Enero 2017	1 días	Dificultades que tuvieron los vehículos proveedores que desde Neiva viajaban hacia Pitalito y que por el taponamiento de la vía en el sitio conocido como Pericongo se detuvieron.
13 Enero 2017	1 días	Racionamiento de gas.
21 Enero 2017	1 días	Debido a las fuertes lluvias que ocasionaron el taponamiento de la vía principal.

Fuente. SURGAS E.S.P S.A.

2.3 PROYECCIÓN DE CRECIMIENTO POBLACIONAL ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE PITALITO.

Para realizar la proyección de crecimiento poblacional del municipio de Pitalito se contempló el crecimiento a 20 años, como un plan de desarrollo de incremento de usuarios del servicio de Gas domiciliario. Como referencia para realizar estos cálculos se toma como base las proyecciones 2005-2020 de población nacional y departamental por área DANE zona urbana.

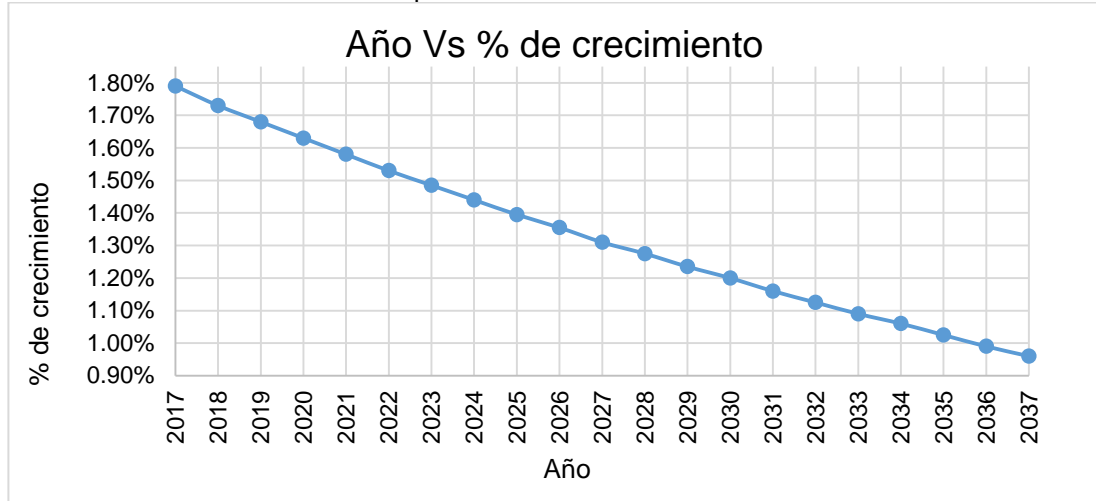
Tabla 6. Crecimiento de población zona urbana, año 2005-2020.

Año	Población
2005	59,893
2006	61,467
2007	63,021
2008	64,556
2009	66,072
2010	67,568
2011	69,045
2012	70,503
2013	71,942
2014	73,361
2015	74,762
2016	76,143
2017	77,504
2018	78,847
2019	80,170
2020	81,474

Fuente. Departamento administrativo nacional de estadística, DANE

Teniendo en cuenta los datos anteriores del crecimiento poblacional de la zona urbana de Pitalito, se realiza una proyección a 20 años desde el año 2017 hasta el 2037, trazando una línea de tendencia para apreciar el porcentaje de incremento de la población, sabiendo que el porcentaje de crecimiento de vivienda es directamente proporcional al crecimiento de la población. La sumatoria porcentual de crecimiento a 20 años es de 29,80%, esto indica que el crecimiento de viviendas a los mismos 20 años es igual.

Ilustración 6. Tasa de crecimiento poblacional zona urbana. Año 2017-2037.



Fuente. Autor.

Tabla 7. Porcentaje de crecimiento poblacional a 20 años.

Año	Porcentaje de crecimiento (%)
2017	1.79
2018	1.73
2019	1.68
2020	1.63
2021	1.58
2022	1.53
2023	1.49
2024	1.44
2025	1.40
2026	1.36
2027	1.31
2028	1.28
2029	1.24
2030	1.20
2031	1.16
2032	1.13
2033	1.09
2034	1.06
2035	1.03
2036	0,99
2037	0.96
Crecimiento %	29,80

Fuente. Autor.

Utilizando la proyección del porcentaje de crecimiento poblacional y del sistema único de información de servicios públicos (SUI) del mes de marzo del año 2017 se obtienen los usuarios residenciales y no residenciales conectados a la red de distribución de gas en el municipio de Pitalito; se calcula la proyección de usuarios residenciales y no residenciales que tendría Pitalito al año 2037. La relación entre el crecimiento poblacional y el número de usuarios es directamente proporcional ya que a medida que crece la población así mismo aumentan los usuarios.

Tabla 8. Proyección de usuarios de gas natural residencial y no residencial

Año	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5	Comercial	Otros	Total usuarios residenciales y no residenciales
2017	11,119	8,233	2,928	65	1	38	11	22,395
2018	11,311	8,375	2,979	66	1	39	11	22,782
2019	11,501	8,516	3,029	67	1	40	11	23,165
2020	11,688	8,655	3,078	68	1	41	11	23,542
2021	11,873	8,792	3,127	69	1	42	11	23,915
2022	12,055	8,927	3,175	70	1	43	11	24,282
2023	12,234	9,060	3,222	71	1	44	11	24,643
2024	12,410	9,190	3,268	72	1	45	11	24,997
2025	12,583	9,318	3,314	73	1	46	11	25,346
2026	12,753	9,444	3,359	74	1	47	11	25,689
2027	12,920	9,568	3,403	75	1	48	11	26,026
2028	13,085	9,690	3,446	76	1	49	11	26,358
2029	13,247	9,810	3,489	77	1	50	11	26,685
2030	13,406	9,928	3,531	78	1	51	11	27,006
2031	13,562	10,043	3,572	79	1	52	11	27,320
2032	13,715	10,156	3,612	80	1	53	11	27,628
2033	13,864	10,267	3,651	81	1	54	11	27,929
2034	14,011	10,376	3,690	82	1	55	11	28,226
2035	14,155	10,482	3,728	83	1	56	11	28,516
2036	14,295	10,586	3,765	84	1	57	11	28,799
2037	14,432	10,688	3,801	85	1	58	11	29,076

Fuente. Autor.

A continuación se presentan los consumos facturados del mes de marzo de 2017, como referencia para hacer la proyección del consumo por usuario mensual de gas natural a 20 años.

Tabla 9. Consumo residencial y no residencial facturado, Mes de marzo 2017

Estrato 1	130,170 m ³	Consumo residencial
Estrato 2	101,238 m ³	
Estrato 3	27,605 m ³	
Estrato 4	578 m ³	
Estrato 5	7 m ³	
Comercial	6,242 m ³	Consumo no residencial
Otros	9,165 m ³	
Total	275,005 m ³	Consumo residencial y no residencial

Fuente. Sistema único de información de servicios públicos.

Con la información del consumo residencial y no residencial facturado (Tabla 9) y la proyección de usuarios de gas natural residencial y no residencial (Tabla 8) se calcula la proyección del volumen mensual de gas natural por usuario a 20 años.

Tabla 10. Proyección de consumo promedio mensual de gas natural por usuario.

Año	Estrato 1 (m ³)	Estrato 2 (m ³)	Estrato 3 (m ³)	Estrato 4 (m ³)	Estrato 5 (m ³)	Comercial (m ³)	Otros (m ³)
2017	11.71	12.30	9.43	8.89	7	164.26	833.18

Fuente. Autor.

Para efecto de calcular el volumen proyectado al año 2037, se asume que el consumo por usuario obtenido en la tabla anterior se mantiene constante durante los siguientes 20 años. Con base en lo anterior se calcula la proyección del consumo mensual residencial y no residencial.

Tabla 11. Proyección de consumo mensual en zona residencial y no residencial.

Año	Estrato 1 (m³)	Estrato 2 (m³)	Estrato 3 (m³)	Estrato 4 (m³)	Estrato 5 (m³)	Comercial (m³)	Otros (m³)	Consumo mensual total (m³)
2017	130,170	101,238	27,605	578	7	6,242	9,165	275,005
2018	132,452	103,013	28,092	587	7	6,406	9,165	279,721
2019	134,677	104,747	28,563	596	7	6,570	9,165	284,325
2020	136,867	106,457	29,026	605	7	6,735	9,165	288,860
2021	139,033	108,142	29,488	613	7	6,899	9,165	293,346
2022	141,164	109,802	29,940	622	7	7,063	9,165	297,764
2023	143,260	111,438	30,383	631	7	7,227	9,165	302,112
2024	145,321	113,037	30,817	640	7	7,392	9,165	306,379
2025	147,347	114,611	31,251	649	7	7,556	9,165	310,586
2026	149,338	116,161	31,675	658	7	7,720	9,165	314,724
2027	151,293	117,686	32,090	667	7	7,884	9,165	318,793
2028	153,225	119,187	32,496	676	7	8,049	9,165	322,804
2029	155,122	120,663	32,901	685	7	8,213	9,165	326,756
2030	156,984	122,114.	33,297	693	7	8,377	9,165	330,639
2031	158,811	123,529	33,684	702	7	8,542	9,165	334,440
2032	160,603	124,919	34,061	711	7	8,706	9,165	338,172
2033	162,347	126,284	34,429	720	7	8,870	9,165	341,823
2034	164,069	127,625	34,797	729	7	9,034	9,165	345,426
2035	165,755	128,929	35,155	738	7	9,199	9,165	348,947
2036	167,394	130,208	35,504	747	7	9,363	9,165	352,388
2037	168,999	131,462	35,843	756	7	9,527	9,165	355,759

Fuente. Autor.

Teniendo en cuenta lo anterior y asumiendo una distribución uniforme de 30 días se calcula el consumo total diario del municipio de Pitalito a 20 años.

Tabla 12. Proyección de Consumo diario.

Año	Consumo diario
2017	9,167
2018	9,324
2019	9,477
2020	9,629
2021	9,778
2022	9,925
2023	10,070
2024	10,213
2025	10,353
2026	10,491
2027	10,626
2028	10,760
2029	10,892
2030	11,021
2031	11,148
2032	11,272
2033	11,394
2034	11,514
2035	11,632
2036	11,746
2037	11,859

Fuente. Autor.

3. SISTEMAS DE RESPALDO PARA EL GASODUCTO DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL DOMICILIARIO DEL MUNICIPIO DE PITALITO

Un sistema de respaldo busca ser un suministro continuo que permita a la empresa distribuidora garantizar el abastecimiento ante eventuales interrupciones inesperadas. El componente necesario para modelar un sistema de respaldo es aprovechar toda la infraestructura con la que ya se cuenta y continuamente poder buscar la viabilidad de mantener el suministro según el tiempo máximo que éste ha carecido. A continuación se describen cuatro sistemas de respaldo que pueden servir como alternativa sustituta del gas natural comprimido por redes.

SISTEMAS DE RESPALDO	
SISTEMA DE RESPALDO	COMPONENTES PRINCIPALES
1. Gas natural comprimido.	<ul style="list-style-type: none"> - Estación de compresión y llenado. - Sistema de almacenamiento. - Sistema de transporte. - Sistema de descompresión.
2. Sistema de gas licuado de petróleo por redes.	<ul style="list-style-type: none"> - Transporte de GLP por ductos o vía terrestre. - Tanques estacionarios de GLP.
3. Sistema de gas natural licuado.	<ul style="list-style-type: none"> - Licuefacción - Almacenamiento del gas natural licuado. - Transporte de gas natural licuado. - Regasificación de gas natural licuado.
4. Sistema de gas natural sintético por redes.	<ul style="list-style-type: none"> - Zona de descarga. - Tanque de almacenamiento de GLP. - Vaporizador. - Mezclador.

3.1 AUMENTAR LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE GAS NATURAL COMPRIMIDO

Siendo el gas natural comprimido el suministro actual en el municipio de Pitalito, lo ideal en el momento de pensar en una alternativa de respaldo es utilizar el mismo sistema con el que ya se cuenta debido a que se realizaría un mínimo cambio al existente. Entre los cuatro pasos indispensables que se nombraron en el capítulo

anterior para el sistema de GNC en el municipio de Pitalito se tiene que analizar cuál de ellos es el que se debe ajustar para que el sistema actual funcione como un sistema de respaldo.

3.2 SISTEMA DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO POR REDES

El gas licuado de petróleo tiene su origen en el tratamiento que se le da al petróleo crudo y al gas natural en sus fases de refinamiento, esta etapa es el punto donde el gran comercializador vende el producto (GLP), al por mayor y a granel, a comercializadores mayoristas en un terminal de entrega de un gran comercializador. Estos terminales de entrega están conectados físicamente al sistema nacional de ductos y allí se instalan los tanques de almacenamiento de los comercializadores mayoristas, encargándose de vender el GLP a los distribuidores. El distribuidor transporta el GLP a través de carro tanques para finalmente ser llevado al consumidor.

Ilustración 7. Red de transporte de GLP.



Fuente. Colfecar, estudios económicos.

3.2.1 Medios de obtención del GLP.

3.2.1.1 Obtención del GLP a partir del petróleo. En la refinería, el petróleo crudo sufre un proceso de transformación que permite la separación de los hidrocarburos aprovechando sus diferentes temperaturas de ebullición para obtener combustibles y productos químicos de uso doméstico e industrial. El GLP se obtiene en la fracción de menor punto de ebullición (0 – 20°C).

3.2.1.2 Obtención del GLP a partir del gas natural. El gas extraído de los pozos llega a una planta criogénica, en la cual mediante enfriamiento y expansiones sucesivas se logran temperaturas menores de -40°C necesarias para recuperar el propano. El gas es separado de los líquidos del gas natural y posteriormente éstos líquidos son llevados hacia la planta de fraccionamiento separándose en diferentes componentes. En la actualidad, aproximadamente el 6% del GLP comercializado para el servicio público domiciliario, proviene de productores diferentes a Ecopetrol, tales como: CANACOL ENERGY COLOMBIA S.A. (campo Rancho Hermoso), INTEROIL COLOMBIA E&P (campo Toqui Toqui), VETRA E&E COLOMBIA S.A. (campo La Punta), PERENCO COLOMBIA LIMITED (campo La Gloria), PETROMINERALES COLOMBIA LTD (campo Corcel) y TERMOYOPAL (quien procesa el gas natural proveniente del campo Pauto-Floreña), entre otros.⁹

Ilustración 8. Producción GLP por fuente de suministro, BPD.

Año	Ecopetrol					Canacol	Interoil	Vetra	Perenco	Petrominerales	Termoyopal	Otros	Total
	Baranca	Cartagena	Apiay	Ousiana I	Dina	R. Hermoso	Toqui I.	La Punta	La Gloria	Concel	Pauto-Flor.	Productores	Producción
	BPD	BPD	BPD	BPD	BPD	BPD	BPD	BPD	BPD	BPD	BPD	%	BPD
2002	19.906	3.552	1.201									0%	24.660
2003	19.271	2.587	1.071									0%	22.929
2004	18.293	2.589	983									0%	21.864
2005	18.329	2.586	969			39						0%	21.923
2006	18.718	2.750	893			184	12					1%	22.558
2007	18.623	2.898	628			207	14	4				1%	22.374
2008	17.043	3.209	667			91	11	36				1%	21.056
2009	15.363	2.697	724			110	4	116	17			1%	19.030
2010	14.154	2.734	760		190	253	4	62	21	81		2%	18.261
2011	13.031	3.437	755	264	305	161	23	168	42	279		4%	18.464
2012	11.438	2.166	723	4.008	340	100	39	8	42	245		2%	19.110
2013	9.983	3.112	705	4.420	264	75	38	18	16	83	881	6%	19.597

Fuente. UPME, Cadena del gas licuado del petróleo 2013.

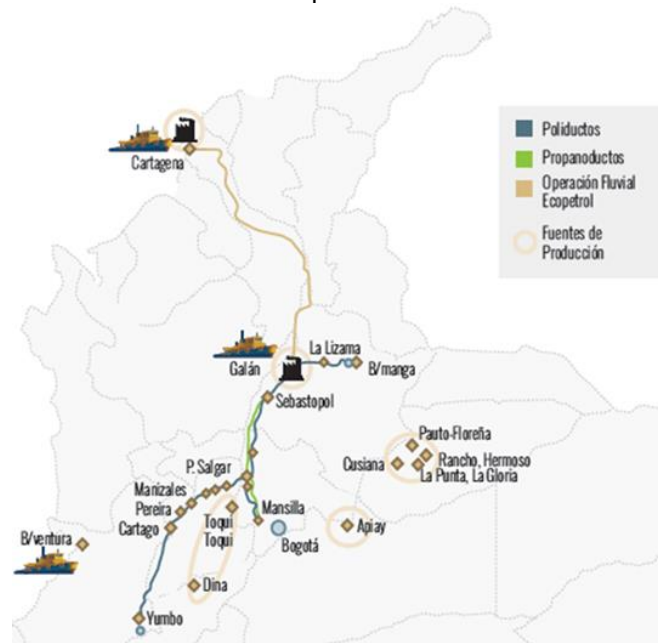
⁹ CADENA, Ángela. UPME & MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA: Cadena del gas licuado de petróleo 2013. Bogotá D.C. 2013. p. 63.

3.2.2 Transporte del GLP. El transporte de GLP se puede realizar por medio de ductos o vía terrestre.

3.2.2.1 Transporte de GLP por ductos.

- Propanoductos: son líneas exclusivamente dedicadas al transporte de GLP. Colombia cuenta con tan solo uno, el que transporta el GLP entre la refinería de Barrancabermeja, Puerto Salgar en Magdalena Medio y el Terminal de Mansilla en Facatativá, atiende fundamentalmente la demanda del centro del país y del área de Antioquia desde la estación de Sebastopol y el Terminal de Puerto Salgar. Esta red comprende 384.7 kilómetros y cuenta con una capacidad máxima de 41,8 miles de barriles por día.¹⁰
- Poliductos: es otra forma de transporte por ducto que hace referencia a líneas que transportan de manera segregada los distintos combustibles líquidos producidos en refinería. transportando GLP hasta las estaciones intermedias y luego se lleva a los principales centros de consumo. El poliducto Salgar – Yumbo, transporta GLP hacia el Viejo Caldas y el occidente del país; al tiempo, el poliducto Galán - Bucaramanga, transporta el GLP para atender la demanda del oriente colombiano, este esquema tiene una longitud de 463 kilómetros.¹¹

Ilustración 9. Fuentes de producción e infraestructura de transporte de GLP en Colombia.



Fuente 1. UPME, Cadena del Gas Licuado del Petróleo 2013.

¹⁰ *Ibíd.*, p. 24.

¹¹ *Ibíd.*, p. 24.

“En cuanto a la capacidad de almacenamiento disponible en plantas almacenadoras, el país posee nueve zonas con este tipo de infraestructura que disponen de aproximadamente el 44% del total del volumen demandado al mes, equivalente a nueve millones de galones o 225 miles de barriles.”¹²

Ilustración 10. Capacidad de almacenamiento en plantas almacenadoras, 2012.

Capacidad de Plantas Almacenadoras			
Terminal	Demanda (gal/mes)	almacenamiento (galones)	%
Cartagena	1.677.959	372.952	22%
Apiay	910.890	129.483	14%
Yopal	5.132.472		0%
Neiva	444.410		0%
Piedras (Tolima)	45.412		0%
Bucaramanga	2.480.405	1.358.647	55%
Puerto Salgar	3.444.123	1.093.457	32%
Mansilla	1.512.622	3.136.984	207%
Sebastopol	459.793		0%
Manizales	1.350.746	764.393	57%
Pereira	481.985	330.905	69%
Cartago	423.274	273.212	65%
Yumbo	3.153.769	2.012.182	64%
Total	21.517.859	9.472.215	44%

Fuente. UPME, Cadena del gas licuado de petróleo 2013.

3.2.2.2 Transporte de GLP por tierra. Una vez que el GLP se entrega a través de la red de poliductos y propanoductos a los Comercializadores en los puntos de entrega de Cenit, se lleva el producto vía terrestre a los departamentos que no cuentan con infraestructura de transporte.

- Medio de transporte a granel. Se utiliza un camión cisterna para el transporte de GLP a granel, el volumen del depósito varía según la cisterna. Las más grandes pueden llegar a tener un volumen total de $45 m^3$ (45.000 L). El depósito es de acero al carbono de paredes gruesas (10/12 mm) para soportar presiones elevadas (la presión de servicio puede llegar a $20 k/cm^2$)¹³. La descripción de algunos componentes y partes de la cisterna de GLP se detallan en el anexo C.

3.2.3 Tanques estacionarios de GLP. Es un recipiente de acero utilizado en la prestación del servicio público domiciliario de GLP, con capacidad superior a 46 kilogramos (*kg*) para almacenamiento de este combustible, en las instalaciones del usuario final. Estos tanques vienen dados en capacidades de 0.3, 0.5, 1.0, 2.0, 2.8, 4.0, 5.0, $7.6 m^3$. Ver accesorios de tanques estacionarios de GLP, en el anexo D.

¹² *Ibíd.*, p. 24.

¹³ MENDOZA, Alejandro. Camión cisterna de GLP. 2013. p. 86.

Ilustración 11. Tanque estacionario.



Fuente. SURGAS E.S.P. S.A.

3.2.3.1 Vaporización del depósito de GLP. ¹⁴

- Vaporización natural: cuando el gas sale directamente del recipiente que lo contiene, al abrir la llave que éste lleva en su parte superior, la presión en su parte interior disminuye. Para compensar ésta caída de presión el GLP líquido que se encuentra en el recipiente entra en ebullición y se transforma en vapor. El proceso de ebullición del GLP es endotérmico, es decir, necesita calor para que el mismo ocurra. El calor que requiere el GLP para la vaporización lo cede el entorno por convección y radiación a la cara externa del recipiente y, a través de aquella por conducción al GLP.
- Vaporización forzada: se produce cuando se calienta de forma artificial la fase líquida para provocar la vaporización. La vaporización forzada puede ser necesaria cuando el caudal de gas requerido en la instalación es superior al que se puede obtener con la vaporización natural o cuando las temperaturas ambientales son muy bajas, impidiendo que se vaporice lo suficiente.

3.3 SISTEMA DE GAS NATURAL LICUADO

Es necesario partir de un conocimiento claro acerca del gas natural, energético que sirve como materia prima para la producción de gas natural licuado, aunque dejando claro que el proceso de producción de gas natural licuado no se trata de una transformación del gas natural sino simplemente de un cambio de estado físico. Un proyecto de GNL consiste de una cadena continua de actividades que unen la producción del gas natural y su usuario final. Estos vínculos en la cadena de suministro de GNL incluyen; producción de gas y pre tratamiento del mismo,

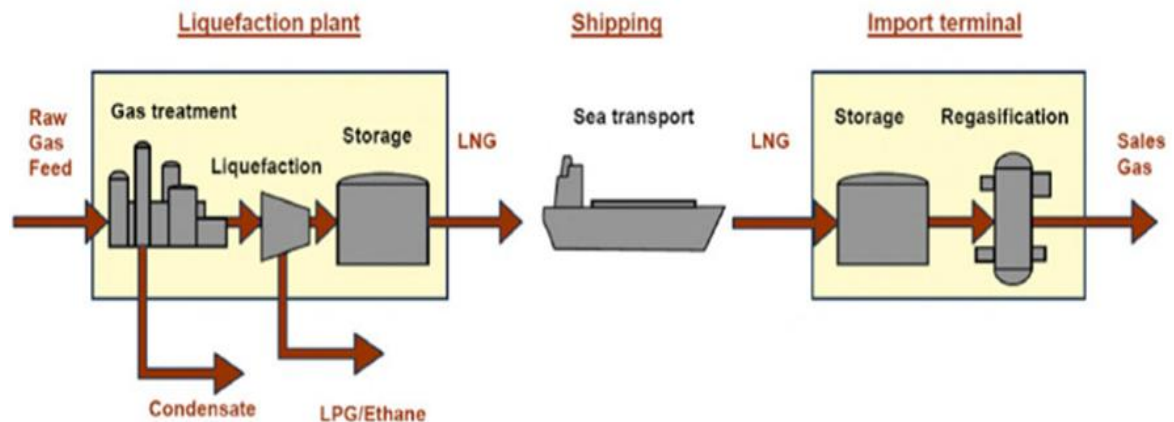
¹⁴ ANDRÉ, Oscar. Diseño y análisis económico de una instalación de Gas Licuado de Petróleo aplicada al edificio Milenio de la ciudad de Loja. Guayaquil-Ecuador. 2005. p. 213.

proceso de licuefacción, almacenamiento y transporte, regasificación y distribución como gas a los usuarios finales.

El Gas Natural Licuado es Gas Natural que ha sido convertido temporalmente a estado líquido, para ser almacenado y/o transportado a presión atmosférica y a una temperatura de -162°C , considerando que la licuefacción reduce en 600 veces el volumen del gas. Las extremas bajas temperaturas del GNL hacen que este sea considerado como un líquido criogénico, lo que implica tecnología especial para su manipulación¹⁵.

3.3.1 Cadena de procesamiento de GNL. “El proceso inicia desde la explotación en el yacimiento, continúa con el tratamiento preliminar en los pozos, el transporte por tubería a la planta de licuefacción, el llenado de barcos, el transporte de las unidades de evaporización y finaliza en la venta y distribución del gas”¹⁶.

Ilustración 12. Cadena de procesamiento del GNL.



Fuente. MET&FLU N°03 Ciencia-Tecnología-Innovación.

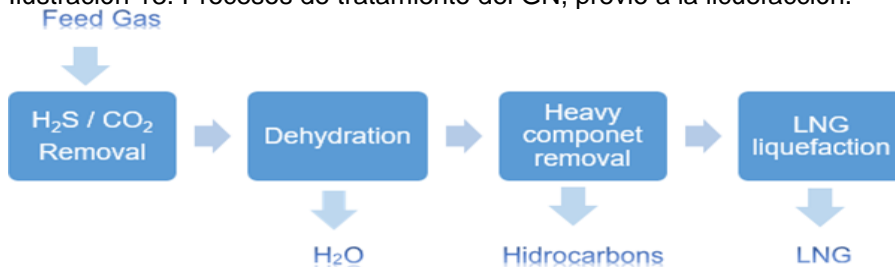
3.3.1.1 Licuefacción. Extraído el Gas Natural de los diferentes yacimientos y después de un tratamiento previo de acondicionamiento para su transporte, es llevado a través de gasoductos hasta las plantas de licuefacción, donde antes de ser licuado pasan nuevamente a través de una serie de procesos para separar y remover materiales y componentes no deseados (agua, azufre, CO_2 , H_2S , hidrocarburos pesados, helio, entre otros) con el objetivo de cumplir con los requisitos del proceso y la calidad del gas establecido para el mercado de destino (poder calorífico, índice de Wobbe)¹⁷.

¹⁵ TAPIAS, C & ANAYA, R. MET&FLU N°03 Ciencia, tecnología e innovación: Gas Natural Licuado alternativo de abastecimiento para Colombia y estado del arte de su metrología. Santander-Colombia. p. 8.

¹⁶ *Ibid.*, p.28

¹⁷ *Ibid.*, p.28

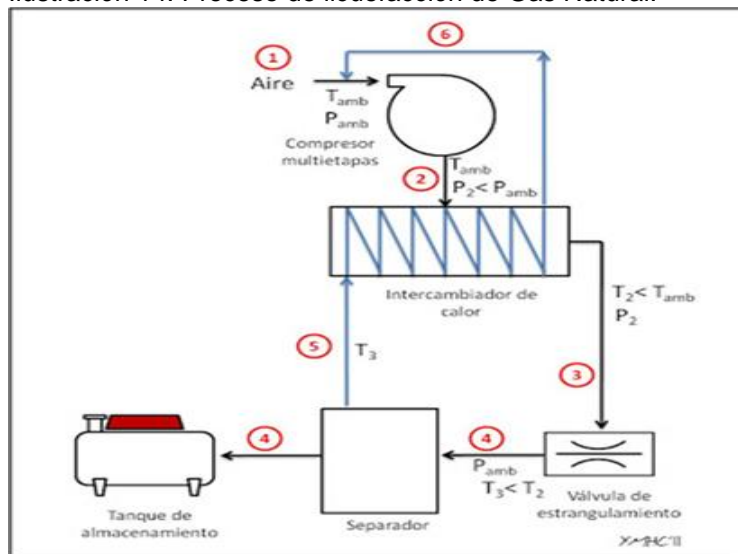
Ilustración 13. Procesos de tratamiento del GN, previo a la licuefacción.



Fuente. MET&FLU N°03 Ciencia-Tecnología-Innovación.

Seguido a la remoción de la mayoría de los contaminantes e hidrocarburos pesados el Gas Natural, que en este punto en su mayoría es metano ingresa al proceso de licuefacción donde un refrigerante por medio de expansión y compresión sucesivas, extrae el calor del gas y lo enfría hasta aproximadamente -162°C , donde a esta temperatura es liquido puro, limpio y claro como el agua, pero en casi la mitad de su densidad. En este estado, el volumen ocupado es 600 veces menor que la misma cantidad de gas natural en estado gaseoso.¹⁸

Ilustración 14. Proceso de licuefacción de Gas Natural.



Fuente. <http://iqtermodinamica.blogspot.com.co/2011/03/licuefaccion-de-gases.html>

1. El gas entra al sistema a través del compresor, donde se le aplica trabajo tras el compresor el gas se encuentra comprimido y a temperatura ambiente.
2. A continuación el gas pasa por un intercambiador de calor donde se enfría.
3. Después, el gas frío y comprimido se expande a través de una válvula hasta la presión ambiente, en esta expansión el gas se enfría aún más debido al efecto Joule Thompson (al disminuir la presión, disminuye la temperatura).

¹⁸ Ibíd., p. 28.

4. Pasa a la cámara de licuefacción, en esta cámara parte del gas entra en estado líquido saturado y se extrae.
5. El gas frío que no ha sido licuado se envía de nuevo al intercambiador de calor situado antes de la válvula. El gas a la salida del separador fluye como vapor saturado, con una temperatura más baja a la del gas que sale del compresor, por lo que se puede utilizar para enfriar la corriente gaseosa que pasa del compresor hacia la válvula de estrangulamiento.
6. El gas que se utiliza en el intercambiador después se añade a la corriente que entra al compresor y el ciclo se repite.

3.3.1.2 Almacenamiento de GNL. Posterior al proceso de licuefacción, el GNL es enviado a tanques de almacenamiento en donde se recolecta hasta completar la carga del buque que lo va a transportar o para tener reservas listas para la venta. Estos tanques de almacenamiento también se encuentran en las plantas de regasificación con la finalidad de recibir la carga de los buques metaneros y posterior regasificación. El GNL es almacenado a -162°C y a presión atmosférica, en tanques criogénicos especiales para baja temperatura¹⁹. Los diferentes tipos de tanques de GNL, se describen en el anexo E.

Ilustración 15. Tanque de almacenamiento típico.



Fuente. GNL Quintero.

¹⁹ *Ibíd.*, p. 28.

3.3.1.3 Transporte de GNL. El GNL depositado en los tanques de almacenamiento, está listo para ser enviado a las diferentes plantas de regasificación ubicadas generalmente, en lugares remotos separados por grandes cuerpos de agua o con geografías muy complicadas como para trazar un gasoducto a través de ésta. Teniendo en cuenta que el volumen físico del GNL es mucho menor en relación al gas natural gaseoso, los costos de transporte se pueden reducir al permitir la entrega con buques de carga o camiones de transporte en lugar de tuberías²⁰.

El GNL se transporta a presión atmosférica en buques especialmente contruidos con casco doble. El sistema de contención de carga se diseña y construye utilizando materiales especiales para el aislamiento y tanque, para asegurar el transporte de esta carga criogénica. El GNL en los tanques de carga del buque se mantiene a su temperatura de saturación (-162°C) a lo largo de toda la navegación, pero se permite que una cantidad de vapor se disipe por ebullición, en un proceso que se denomina “autorefrigeracion”²¹.

“Actualmente hay dos tipos de barcos que se utilizan para el transporte de GNL; los de membrana y los de esferas. Un buque típico de GNL es de aproximadamente 300 metros de largo y 43 metros de ancho. Los buques de GNL varían en capacidad de carga, de 1000m³ a 250000m³, pero la mayoría de los buques modernos son entre 125000m³ y 150000m³ de capacidad.”²²

Ilustración 16. Buque tipo tanque esférico y tipo membrana.



Fuente. <https://www.taringa.net/posts/info/18966304/Tipos-de-Buques-Metaneros>.

3.3.1.4 Regasificación de GNL. La regasificación es la última etapa y esta inicia cuando un buque-tanque de GNL llega a la terminal de regasificación y es bombeado desde la nave hasta los tanques de almacenamiento los cuales son semejantes a los empleados en la planta de licuefacción. El GNL también puede ser

²⁰ *Ibíd.*, p.28

²¹ *Ibíd.*, p.28

²² *Ibíd.*, p.28

entregado en terminales flotantes los cuales son barcos conocidos como Floating Storage and Regasification Units (FSRU)²³.

El GNL almacenado en los tanques es enviado a vaporizadores donde es calentado y transformado a estado gaseoso, a las condiciones de entrega especificadas por la empresa de gasoductos y los usuarios finales. Durante el proceso el GNL se evapora, sin embargo, estos vapores son re-condensados y enviados a los vaporizadores. Este proceso es conocido como regasificación.

Los principales tipos de vaporizadores utilizados en la industria del GNL son:

- a) Open Rack Vaporisers: utiliza el agua de mar para calentar los paneles del intercambiador por los cuales fluye el GNL.
- b) Submerged Combustion Vaporisers: utiliza los gases de la combustión derivados de la quema de gas natural obtenido de la terminal, para calentar el baño de agua donde se encuentran sumergidos los tubos del intercambiador de calor donde fluyen el GNL.
- c) Intermediate Fluid Vaporisers: este vaporizador se basa en dos niveles de intercambio térmico: el primero es entre GNL y un fluido intermedio, tales como el propano, y el segundo es entre el fluido intermedio y una fuente de calor que suele ser agua de mar.
- d) Ambient Air Vaporisers: utiliza aire para calentar los paneles del intercambiador por los cuales fluye el GNL.

3.4 SISTEMA DE GAS NATURAL SINTETICO POR REDES

El propano es un hidrocarburo que se extrae del petróleo en las operaciones de refinación o del gas natural y gases asociados. Este gas, mezclado con aire en una proporción específica, provee una combustión muy similar a la del gas natural; creando así el gas natural sintético. Un proyecto de GNS es una relación continua de actividades que empiezan desde la producción de GLP hasta ser mezclado con aire. El GLP se almacena en tanques especiales para ser bombeado a un vaporizador donde se obtiene un producto vaporizado, este vapor se combina con aire y luego esta mezcla es inyectada al sistema de distribución de gas natural comprimido.

3.4.1 Componentes básicos de un sistema de GNS.

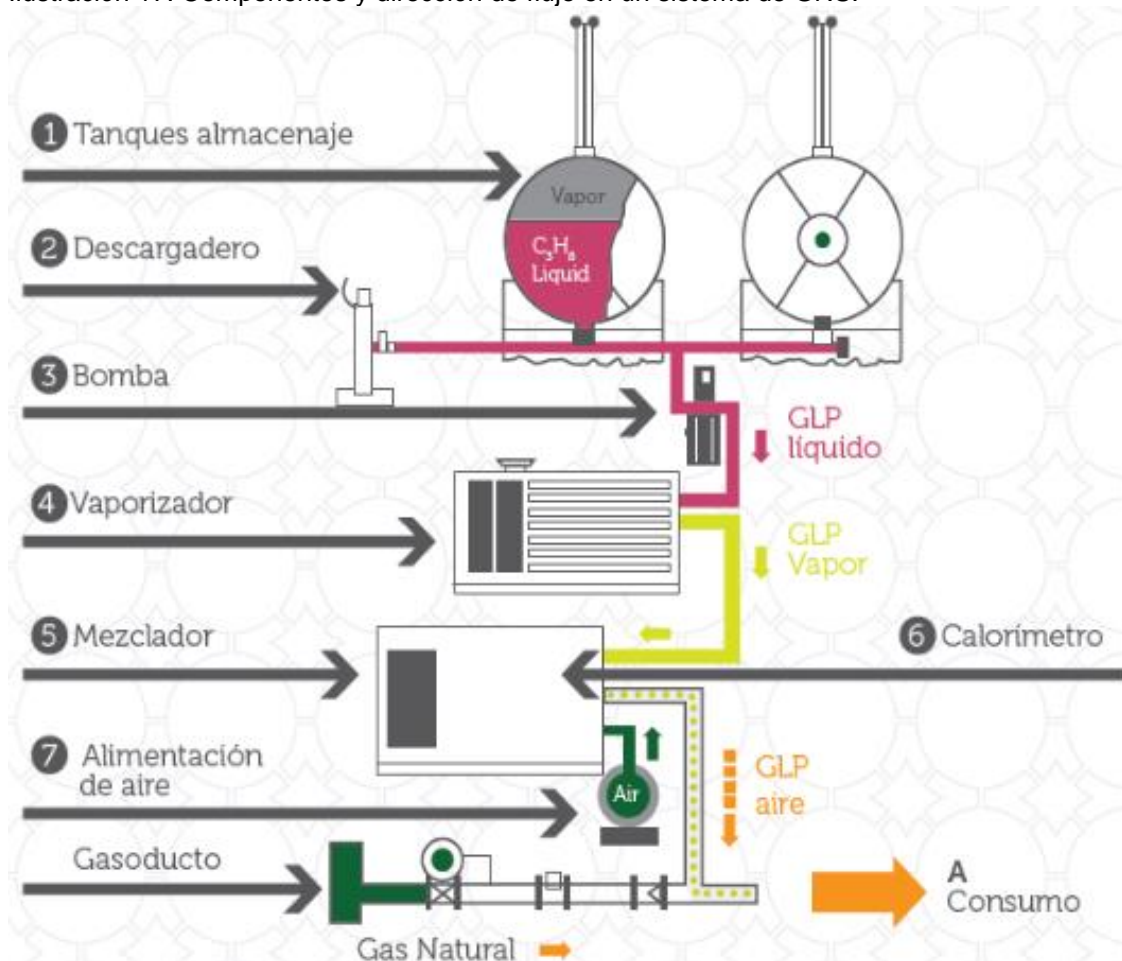
1. Zona de descarga.
2. Tanque de almacenamiento de GLP.

²³ *Ibíd.*, p. 28..

3. Vaporizador.
4. Mezclador.

El uso, funcionamiento y descripción técnica de estos elementos que conforman el sistema de GNS, se describen detenidamente de acuerdo al orden de la ilustración 17, siguiendo la dirección de flujo del GLP o propano.

Ilustración 17. Componentes y dirección de flujo en un sistema de GNS.

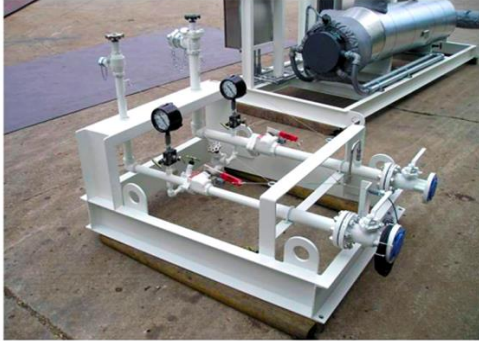


Fuente. SURGAS E.S.P. S.A.

3.4.1.1 Estación de descarga. “Es el elemento que recibe el GLP líquido de los camiones de suministro y su función consiste en que una vez recibe el GLP líquido de los camiones lo transfiera a los tanques de almacenamiento. Las estaciones de descarga de camiones están diseñadas para ser fijadas en una base de concreto, y está compuesta con la línea de traslado de líquido y línea de retorno de vapor”²⁴.

²⁴ LIZCANO, N & CALIXTO, C, op. cit, p. 3.

Ilustración 18. Estación de descarga de camiones de GLP.

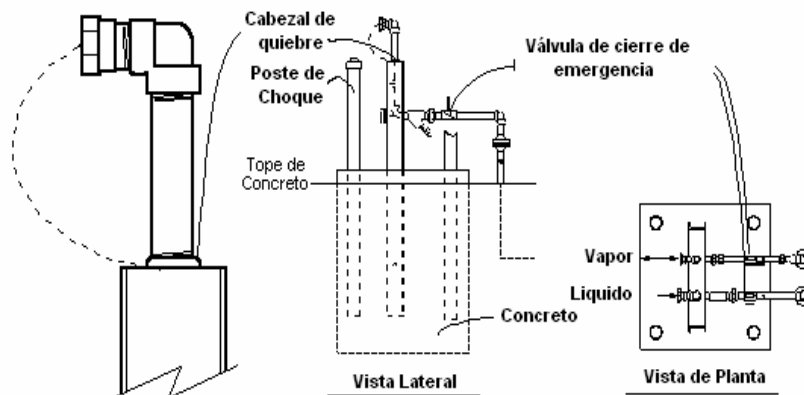


Fuente. SURGAS E.S.P. S.A.

La estación de descarga de camiones y llenado de tanques está equipada con válvulas de control, válvulas de exceso de flujo, válvulas de venteo, válvulas cheques y válvulas de obturador de emergencia (ESV).

La situación y construcción de estaciones de transferencia de combustible son importantes en el diseño de una planta y se requieren las válvulas en este elemento para un cierre rápido y también se requiere un “quiebre” para proteger la planta en caso de un tirón del camión conector, como se muestra a continuación.

Ilustración 19. Elementos de una estación de descarga de camiones de GLP.



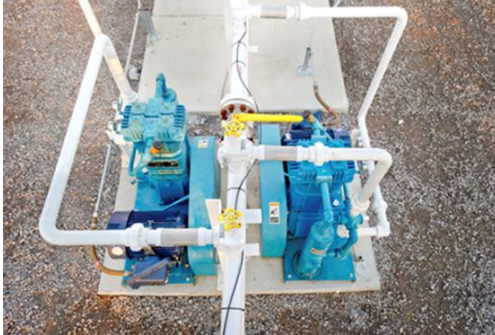
Fuente. Estudio técnico económico del uso del sistema de aire propanado en proyectos de gas domiciliario.

3.4.1.2 Tanques de Almacenamiento. Estos tanques de almacenamiento son los mismos que se nombraron anteriormente en el capítulo 3...véase en el numeral 3.2.3...

Por normatividad donde se almacenan más de 4000 galones de GLP se debe contar con un reservorio (agua) de una red contraincendios; esa red contraincendios debe estar diseñada para refrigerar el tanque y prevenir que este llegue a estallar. Nunca una red contraincendios en una estación de GLP es para apagar incendios.

3.4.1.3 Bombas de proceso. Son encargadas de transferir GLP que se encuentra en el tanque de almacenamiento al vaporizador, éste es un sistema muy crítico en el proceso, debido a las particulares condiciones de operación, usualmente se utilizan bombas de desplazamiento positivo con aspas deslizantes por su bajo costo relativo, bajo mantenimiento, eficiencia y alta capacidad. Es importante que tenga un equipo de bombeo dual (100% - 200% de abundancia).

Ilustración 20. Bombas encargadas de transferir GLP al vaporizador.



Fuente. SURGAS E.S.P. S.A.

3.4.1.4 Vaporizadores de GLP. Este componente recibe el GLP líquido proveniente de los tanques de almacenamiento por medio de una bomba, y su función es cambiar a estado gaseoso el GLP, para luego llevarlo al mezclador donde se combinará con el aire. Este elemento es realmente una “caldera”, donde se hierve GLP. Puede parecer extraño que se requiera calor para vaporizar el GLP cuando el propano hierve a -44°F y el butano a 32°F , sin embargo, el GLP se vaporiza por la sola expansión, causando una acción de refrigeración. En aplicaciones con altos flujos de GLP, la vaporización es incontrolable, congelando las válvulas y las boquillas del quemador, por consiguiente, el suministro de calor es requerido para compensar la acción de la refrigeración²⁵.

Hay dos tipos de vaporizadores de GLP. Un tipo denominado de llama directo, donde usa una porción del propano, que se vaporiza para proporcionar el calor requerido para el proceso de vaporización. El tipo de llama indirecto, usa una fuente externa de calor, como vapor de agua caliente, o electricidad, para vaporizar el propano. Los tipos de vaporizadores de GLP, se describen de manera detalla en el anexo F.

3.4.1.5 Mezcladores de Vapor de GLP y Aire. Después de que el GLP se ha vaporizado, necesita ser mezclado en una proporción apropiada con aire para obtener características similares al gas natural. Aquí es donde cumplen su función los mezcladores.

²⁵ LIZCANO, N & CALIXTO, C. Estudio técnico-económico del uso de sistema de aire propanado en proyectos de gas domiciliario. Bucaramanga, 2004, p.160.

El vapor de GLP, producido por un vaporizador, no es directamente compatible con el gas natural. Los mezcladores de vapor de GLP-AIRE producen una mezcla gaseosa que si es directamente compatible con el gas natural. Esto permite cambiar el gas natural suministrado por la compañía abastecedora por GLP de sistemas auxiliares, sin tener que modificar el arreglo de sus quemadores, y gasodomésticos en general.

Se fabrica una línea de mezcladores GLP-AIRE y sistemas de mezclado, partiendo en capacidades de 7MM BTU hasta 500MM BTU por hora.

Hay dos tipos de mezcladores, (Venturi y operado por pistón) cada uno con un método para mezclar aire y vapor de GLP, pero probablemente el más simple está usando un mezclador del tipo Venturi, consistiendo en un tubo Venturi y una boquilla Venturi. Este método, mantiene proporciones de aire-combustible en un estrecho rango, es por esto que el mezclador de este tipo generalmente no requiere aire comprimido para su funcionamiento²⁶.

La mezcla de aire-vapor se alimenta en un tanque que se denomina tanque de ola, porque es donde se almacenará el gas natural sintético que reemplazará el GN y donde se mantiene a una presión fija. Este tipo de sistema normalmente se recomienda para los periodos intermitentes de uso y es simple de instalar, operar, y mantener.

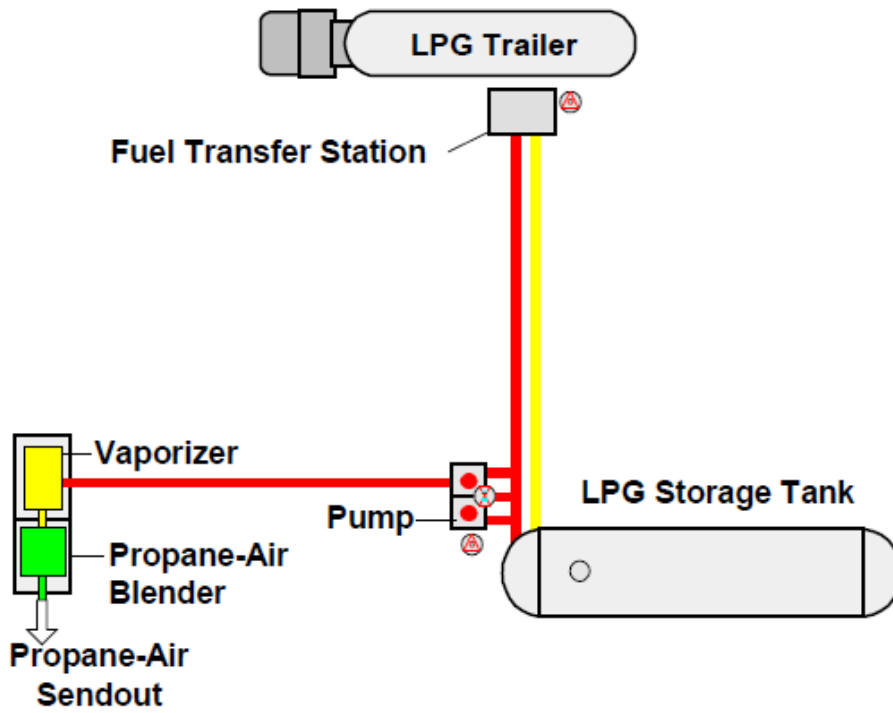
Para capacidades de sistemas más grandes, o para presiones del sistema más elevadas, se ha desarrollado otro tipo de mezclador denominado mezclador operado por pistón (POM). Este tipo de mezclador es muy utilizado, los componentes son sumamente eficaces, hacen más fácil y probablemente hace a este mezclador, más confiable, más práctico de controlar y el más estable en el mercado actualmente²⁷. Ver los tipos de mezcladores de gas natural sintético en el anexo G.

3.4.1.6 Opciones y accesorios de un sistema de gas natural sintético. Para los mezcladores (POM) y para el sistema en general, se dispone de elementos adicionales para facilitar su funcionamiento los cuales son: un control automático de las propiedades del gas de mezclado denominado: "Acublend" y un medidor de la gravedad específica del gas mezclado denominado: "Graviblend". Los elementos adicionales de éste sistema se especifican en el anexo H.

²⁶ *Ibíd.*, p.35.

²⁷ *Ibíd.*, p.35.

Ilustración 21. Diagrama típico de un sistema de GNS.



Fuente. Propane Standby Systems.

4. ANALISIS CUALITATIVO DE LA VIABILIDAD DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE RESPALDO

Como se mostró anteriormente, actualmente el municipio de Pitalito cuenta con un sistema de suministro de GNC por redes, con una demanda de 22,395 usuarios conectados a la red de distribución, suministra diariamente 9,167 m³ de gas natural. Conforme a la tabla de suspensión temporal del servicio de gas, el mayor tiempo de interrupción es de 15 días; se considera un caso demasiado atípico con una probabilidad de ocurrencia nuevamente muy baja, por tanto esos 15 días no se tienen en cuenta dentro del referente de interrupciones; el tiempo promedio ha sido 3 días, pero de acuerdo al requerimiento de la empresa distribuidora SURGAS E.S.P. S.A.; se requiere un sistema de respaldo mínimo de 7 días.

Por esta razón se piensa en una solución que permita continuar de manera eficiente con el abastecimiento del servicio. Para cualquier empresa interesada en proporcionar una solución debe garantizar el respaldo de 64,168 m³ de gas que equivalen a 7 días de provisión de gas en Pitalito. A continuación se realiza un análisis cualitativo de cuatro sistemas de respaldo los cuales se evalúan teniendo en cuenta tres aspectos, técnico, económico y disponibilidad.

4.1 AUMENTAR LA CAPACIDAD DE GAS NATURAL COMPRIMIDO

La prosperidad y competitividad de las empresas dependen de la existencia de un abastecimiento estable de suministro de gas que le permita a sus usuarios tener un servicio continuo en todo momento, por este motivo el primer sistema de respaldo, se fundamenta en aumentar la capacidad de gas natural comprimido, es decir, incrementar el almacenamiento disponible de tráilers permanentes que hay en la estación del municipio de Pitalito. Desde el punto de vista operativo este sistema es eficiente porque hay disponibilidad de este combustible y actualmente es el que se está implementando, por lo tanto no se tendrían que realizar considerables adecuaciones al sistema existente, pero en términos económicos implicaría hacer una inversión de 11 tráileres de almacenamiento cada uno con un valor cercano a \$700,000,000 para una inversión aproximada de \$7,700,000,000; cada tráiler tiene una capacidad de 6,300 m³ estándar, para un total de 69,300 m³ estándar, capaces de respaldar 7 días de suministro de gas natural. Por consiguiente este sistema se descarta por ser altamente costoso.

4.2 SISTEMA DE GAS LICUADO DEL PETRÓLEO POR REDES

Los combustibles gaseosos se clasifican en diferentes familias de acuerdo a un parámetro llamado índice de wobbe, por este motivo desde el punto de vista técnico la intercambiabilidad de estos dos gases no se desempeña bien en los equipos sin antes hacer una adecuación, si se ve desde esta perspectiva este sistema presenta un problema operativo debido a que para poder cambiar el suministro de gas natural

comprimido a GLP por redes se tiene que hacer una adecuación a todos los gasodomésticos que hay en la red de distribución del municipio de Pitalito. Si se implementa este sistema lo primero que se debe hacer es desocupar totalmente las redes de gas natural comprimido para así poder inyectar el GLP, lo segundo es que se necesitan cambiar todas las boquillas de todas las estufas debido a que la boquilla del GLP es más pequeña que una boquilla de gas natural; la energía desprendida del gas natural es menor a la que genera el GLP, por lo tanto, una estufa necesita más gas para producir la misma cantidad de calor cuando se usa gas natural en lugar de GLP. Se necesitarían 1,000 técnicos aproximadamente para hacer el cambio en 2 días; este procedimiento tomaría mucho tiempo para ser un sistema de respaldo, además, se tiene que volver a adecuar el sistema a gas natural comprimido cuando la crisis pase, haciendo que este reemplazo ocupe más tiempo. Por esta razón este sistema no se podría tener en cuenta, ni se justifica hacer un presupuesto económico ya que no cumple las condiciones de un buen sistema de respaldo. En términos de disponibilidad en el país es factible conseguir este combustible.

4.3 SISTEMA DE GAS NATURAL LICUADO POR REDES

La tecnología de gas natural licuado utiliza el mismo gas natural, simplemente se tiene que conectar la línea de gas natural licuado una vez regasificado a la red de distribución de gas natural comprimido sin hacer ningún cambio a la red de distribución para implementarlo. Este sistema no se considera como una alternativa de respaldo para el municipio de Pitalito debido a que en el país no hay plantas de licuefacción de gas natural y teniendo en cuenta que el sistema de respaldo es puntual para un municipio, implementar una planta no cumpliría ni condiciones operativas, ni económicas por la magnitud del proyecto tan pequeño, por lo tanto no se considera hacer un presupuesto por las inversiones tan altas que se tendrían que efectuar en un proyecto tan grande como es el sistema de gas natural licuado.

4.4 SISTEMA DE GAS NATURAL SINTETICO POR REDES

El sistema de Gas Natural Sintético por redes se asemeja en sus propiedades fisicoquímicas al gas natural, por lo tanto, el tema operativo de sustituir el uno con el otro no es un inconveniente debido a que se pueden intercambiar sin ningún problema, por este motivo se convierte en un sistema de respaldo operativamente eficiente, ya que los cambios a realizar serían mínimos. Si se ve desde el punto de vista económico, la implementación requiere de unidades de almacenamiento de GLP, pero para el caso del municipio de Pitalito, la empresa encargada de suministrar el gas (Surcolombiana de Gas E.S.P S.A.) cuenta con toda la práctica de manejo de GLP, convirtiéndolo en una ventaja en la ejecución de este sistema. Lo nuevo sería la inversión en el complemento para formar la planta de gas Natural Sintético (GNS), como es un vaporizador, compresor y mezclador. Por estas razones este sistema es la mejor forma de garantizar la continuidad al servicio de

gas en el municipio de Pitalito. Debido a que la implementación de gas natural sintético en el país es muy baja y solo existen dos plantas que utilizan este gas; se tomó como referencia la planta ubicada en el municipio de Cúcuta Norte de Santander ya que la cantidad de usuarios conectados a la red de distribución de este municipio es la que más se acerca a los usuarios proyectados para el año 20 que habría en Pitalito; la planta de GNS (vaporizador, mezclador, compresor, filtro, entre otros accesorios y equipos auxiliares) de Cúcuta esta diseñada para 30,000 usuarios, de acuerdo a la empresa que la opera actualmente la planta tuvo un costo de \$600, 000,000 para su implementación en el año 2006. Tomando como referencia este costo para el caso de Pitalito el valor de la planta sería aproximadamente de \$910, 946,484 y el costo por usuario es de aproximadamente de \$40,676.33.

Tabla 13. Variación índice de precios al consumidor, Año 2006-2016

Año	Porcentaje Índice de precios al consumidor	Valor
2006	4.48	\$ 600,000,000
2007	5.69	\$ 634,140,000
2008	7.67	\$ 682,778,538
2009	2.00	\$ 696,434,109
2010	3.17	\$ 718, 511,070
2011	3.73	\$ 745, 311,533
2012	2.44	\$ 763,497,134
2013	1.94	\$ 778, 308,979
2014	3.66	\$ 806,795,087
2015	6.77	\$ 861,415,115
2016	5.75	\$ 910,946,484

Fuente. Departamento administrativo nacional de estadística, DANE.

Tomando como referencia las variaciones porcentuales del índice de precios al consumidor (IPC), en la tabla anterior se halla una proyección del precio aproximado de la planta de gas natural sintético al año 2016.

Tabla 14. Evaluación de los sistemas de respaldo.

Sistema	Costos	Operatividad	Disponibilidad	Total
GNC	10	50	50	110
GLP	50	10	50	110
GNL	10	50	10	70
GNS	50	50	50	150

Bueno:	50
puntos	
Malo:	10
puntos	

Fuente. Autores del proyecto.

Teniendo en cuenta la evaluación anterior de los sistemas de respaldo, se concluye que el mejor sistema que se debe implementar en el municipio de Pitalito es el gas natural sintético por redes, ya que este sistema cumple de manera correcta con todos los estándares de operatividad, debido a que puede reemplazar al gas natural parcial o completamente sin ningún inconveniente. Económicamente se estiman costos viables que permiten lograr la ejecución. En términos de disponibilidad es una ventaja para la empresa operadora, lo que lo convierte en una alternativa confiable y segura en el momento de utilizarlo como sistema de respaldo.

5. SISTEMA DE GAS NATURAL SINTETICO PARA EL MUNICIPIO DE PITALITO

5.1 GENERALIDADES DEL SISTEMA

El sistema de gas natural sintético es una mezcla de Propano (Gas Licuado) con aire en una proporción tal que permita sustituir al Gas Natural en las redes de distribución, sin que operativamente haya que hacerle ninguna adecuación a los gasodomésticos y sin que el usuario final se dé cuenta del cambio. En el municipio de Pitalito, el sistema de gas natural sintético se tendrá como una planta de respaldo (Stand-by) que operara en caso de haber un corte del servicio de gas natural o una suspensión por un evento no deseado o programado para un máximo de 7 días. El GLP se transportara por vía terrestre en carros cisternas y se almacenara en el municipio de Pitalito en tanques especializados para su uso. De esta manera se tiene el abastecimiento de gas para un evento no esperada o previsto por la empresa distribuidora.

5.2 DEMANDA ENERGETICA DE GAS NATURAL

A Continuación se presenta la proyección a 20 años del año 2017 al 2037 de la demanda energética diaria y de 7 días de respaldo.

Tabla 15. Proyección de demanda energética de gas natural.

Año	Consumo 7 días (m³)	Consumo día (BTU)	Consumo 7 días (BTU)
2017	64,168	323,723,969	2,266,067,784
2018	65,268	329,275,605	2,304,929,233
2019	66,342	334,695,057	2,342,865,402
2020	67,401	340,033,098	2,380,231,686
2021	68,447	345,314,612	2,417,202,281
2022	69,478	350,514,713	2,453,602,990
2023	70,493	355,633,402	2,489,433,815
2024	71,488	360,656,200	2,524,593,401
2025	72,470	365,608,687	2,559,260,806
2026	73,436	370,479,761	2,593,358,326
2027	74,385	375,269,423	2,626,885,961
2028	75,321	379,991,457	2,659,940,202
2029	76,243	384,643,180	2,692,502,262
2030	77,149	389,213,491	2,724,494,438
2031	78,036	393,687,911	2,755,815,375
2032	78,907	398,080,918	2,786,566,427
2033	79,759	402,378,729	2,816,651,102
2034	80,599	406,620,013	2,846,340,088

Continuación tabla 15.

2035	81,421	410,765,405	2,875,357,836
2036	82,224	414,815,601	2,903,709,207
2037	83,010	418,784,385	2,931,490,692

Fuente. Autor.

5.3 EQUIPOS QUE COMPONEN LA PLANTA DE GNS

1. Tanques de almacenamiento de GLP
2. Vaporizador
3. Mezclador
4. Compresor

5.3.1 Tanques de almacenamiento de GLP. La capacidad de los tanques de almacenamiento y los demás equipos que conformen la planta de GNS se diseñan para soportar la demanda máxima en hora crítica.

Tabla 16. Proyección de galones de GLP.

Año	Galones de GLP día	Galones de GLP 7 días
2017	3,519	24,631
2018	3,579	25,054
2019	3,638	25,466
2020	3,696	25,872
2021	3,753	26,274
2022	3,810	26,670
2023	3,866	27,059
2024	3,920	27,441
2025	3,974	27,818
2026	4,027	28,189
2027	4,079	28,553
2028	4,130	28,912
2029	4,181	29,266
2030	4,231	29,614
2031	4,279	29,955
2032	4,327	30,289
2033	4,374	30,616
2034	4,420	30,938
2035	4,465	31,254
2036	4,509	31,562
2037	4,552	31,864

Fuente. Autor.

En la tabla que se muestra a continuación se hace la proyección del número de tanques necesarios para cada año, se toma como referencia tanques de 10,000 galones debido a que estos son manejables y fáciles de transportar. El llenado del tanque no puede sobrepasar el 85% de su volumen quedando el 15% restante por el GLP en fase gaseosa y se debe mantener un nivel mínimo en el tanque del 20% para evitar que por falta de presión o de producto deje de funcionar el sistema, por ende, de un tanque de almacenamiento solo se puede disponer del 65% de GLP, equivalentes a 6500 galones.

Tabla 17. Proyección de tanques necesarios para respaldo de 7 días.

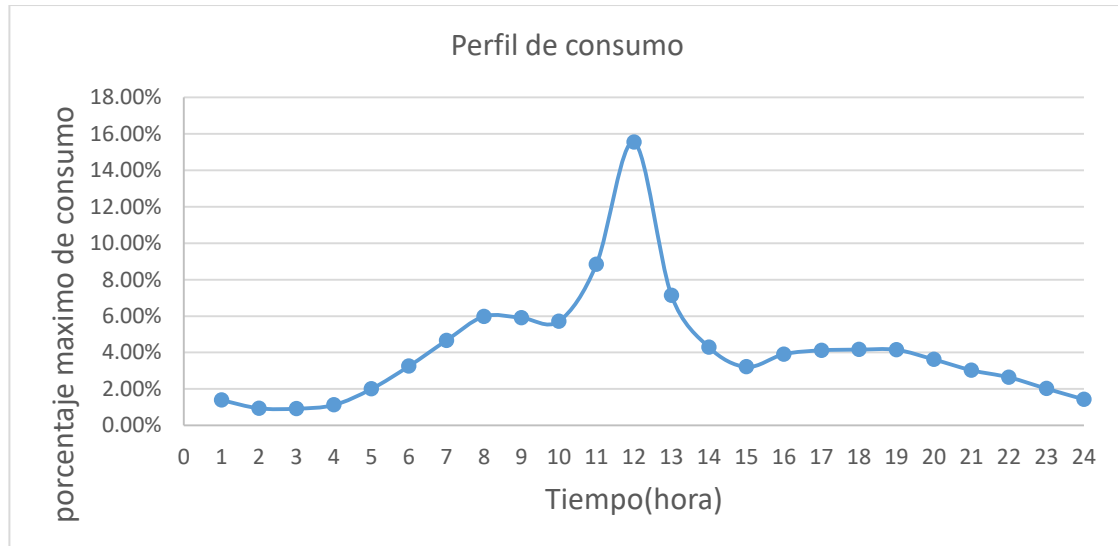
Año	numero de tanques ideales 7 días
2017	4
2018	4
2019	4
2020	4
2021	5
2022	5
2023	5
2024	5
2025	5
2026	5
2027	5
2028	5
2029	5
2030	5
2031	5
2032	5
2033	5
2034	5
2035	5
2036	5
2037	5

Fuente. Autor.

5.3.2 Vaporización del tanque. La vaporización depende de la demanda energética máxima diaria horaria. Cuando la carga de propano es pequeña, puede ser suministrada con vapor extraído directamente de la parte superior del tanque que almacena el GLP, pero para cargas más grandes, la vaporización del tanque tiene una aplicación limitada ya que no soporta la demanda requerida. En su lugar, se utilizan vaporizadores para calentar el propano líquido, creando el volumen necesario de gas vaporizado. Por otra parte, cuando el tanque de GLP llega a su

nivel mínimo de llenado, se inicia el proceso de recarga, conectando el carro cisterna al tanque estacionario, en el momento que se empieza a llenar el tanque de GLP la presión interna de este aumenta provocando la presurización del sistema haciendo que el vapor que se encuentra dentro del tanque se condense, esto se da porque se sobrepasa la presión de equilibrio que hace que las dos fases coexistan. Después de cumplir el nivel de llenado la capacidad de vaporización sigue siendo la misma.

Ilustración 22. Perfil máximo de consumo.



Fuente. Autor.

Según el perfil de consumo, el porcentaje máximo de consumo es 15.55%, para efectos de cálculo se asume un porcentaje de 16%. Con el porcentaje máximo de demanda horaria calculamos la demanda máxima y la energía requerida máxima de GLP en hora crítica.

Tabla 18. Proyección demanda máxima hora crítica.

Año	Demanda máx. (gal/h)	Demanda máx. ($\frac{Btu}{h}$)
2017	563	51,796,000
2018	573	52,716,000
2019	582	53,544,000
2020	591	54,372,000
2021	601	55,292,000
2022	610	56,120,000
2023	618	56,856,000
2024	627	57,684,000
2025	636	58,512,000

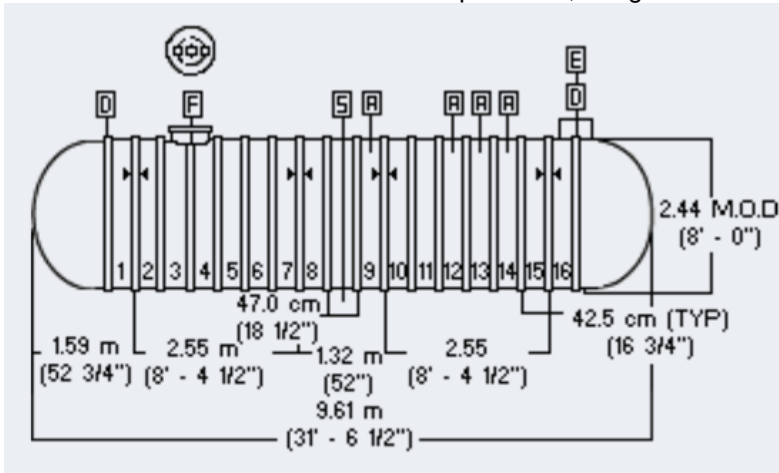
Continuidad tabla 18.

2026	644	59,248,000
2027	653	60,076,000
2028	661	60,812,000
2029	669	61,548,000
2030	677	62,284,000
2031	685	63,020,000
2032	692	63,664,000
2033	700	64,400,000
2034	707	65,044,000
2035	714	65,688,000
2036	721	66,332,000
2037	728	66,976,000

Fuente. Autor.

5.3.3 Capacidad de vaporización del tanque. La capacidad de vaporización de un tanque se determina mediante la utilización de la siguiente fórmula y teniendo en cuenta las dimensiones de la ilustración 24.

Ilustración 23. Dimensiones de un tanque de 10,000 galones.



Fuente. REPSA, Reenfocad plástico SA.

$$\text{Vaporización } (Q) \text{ a } 0^{\circ}\text{C} = D * L * K$$

Donde:

Q = Capacidad de vaporización.

D = Diámetro exterior del tanque.

L = Longitud total del tanque.

K = Factor de porcentaje de llenado. Para este proyecto se debe considerar un mínimo porcentaje de llenado admitido. En este caso por lo tanto, tomamos un valor de K = 60 como un factor de seguridad, asumiendo que el porcentaje del contenido mínimo con el cual vaporiza el tanque es del 20 %.

Los valores correspondientes al factor K, se exponen en la tabla 19.

Tabla 19. Constante k según el porcentaje de volumen mínimo de llenado de líquido.

mínimo % de llenado admitido	valor k
60	100
50	90
40	80
30	70
20	60
10	45

Fuente. Manual de servicio para el instalador de gas GLP.

Por lo tanto la vaporización de un tanque de 10,000 galones a una temperatura de 0°C no es:

$$\text{Vaporización (Q) a } 0^{\circ}\text{C} = 96'' * 372'' * 60 = 2,142,720 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}$$

El resultado obtenido se multiplica por un factor de temperatura considerado para el medio ambiente que circunda el tanque, que para este proyecto, y teniendo en cuenta las temperaturas promedio del municipio de Pitalito y que la jornada de trabajo del sistema podemos asumirla de 8:00 p.m. a 5:00 a.m., para lo cual se establece un factor de 4.76. El porcentaje de consumo de gas en los intervalos de tiempo de 12:00 a.m. a 5:00 a.m. y de 8:00 p.m. a 12:00 a.m., es de menos del 4%, es decir, a esas horas y con esa demanda los tanques son capaces de suministrar el gas requerido de GLP por medio de vaporización natural.

$$\text{Vaporización a temperatura ambiente}(24^{\circ}\text{C}) = 2,142,720 * f$$

El factor de temperatura considerado para el medio ambiente se presenta en la tabla 20.

Tabla 20. Constante f según temperatura del medio ambiente.

Temperatura del medio (°C)	F
4	3
7	3.25
10	3.50
13	3.75
16	4
18	4.25
21	4.5
24	4.76

Fuente. Diseño y análisis económico de una instalación de GLP aplicada al edificio Millenium de la ciudad de Loja.

Entonces:

$$\text{Vaporización a temperatura ambiente}(24^{\circ}\text{C}) = 2,142,720 * 4.76 = 10,199,347 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}$$

Cuando se instalen 4 tanques en el año 2017, la vaporización total del sistema sería de:

$$\text{Vaporización total} = 10,199,347 * 4 = 40,797,388 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}$$

Cuando se instalen 5 tanques en el año 2021, la vaporización total del sistema sería de:

$$\text{Vaporización total} = 10,199,347 * 5 = 50,996,735 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}$$

Tabla 21. Comparación de la vaporización cada año.

Año	Demanda máx. ($\frac{\text{Btu}}{\text{h}}$)	Vaporización natural ($\frac{\text{Btu}}{\text{h}}$)	vaporización carente ($\frac{\text{Btu}}{\text{h}}$)	Demanda máx. (gal/h)	Demanda natural (gal/h)	Demanda carente (gal/h)
2017	51,796,000	40,797,388	10.998.612,00	563	443	120
2018	52,716,000	40,797,388	11.918.612,00	573	443	130
2019	53,544,000	40,797,388	12.746.612,00	582	443	139
2020	54,372,000	40,797,388	13.574.612,00	591	443	148
2021	55,292,000	50,996,735	4.295.265,00	601	554	47
2022	56,120,000	50,996,735	5.123.265,00	610	554	56
2023	56,856,000	50,996,735	5.859.265,00	618	554	64
2024	57,684,000	50,996,735	6.687.265,00	627	554	73

Continuidad tabla 21.

2025	58,512,000	50,996,735	7.515.265,00	636	554	82
2026	59,248,000	50,996,735	8.251.265,00	644	554	90
2027	60,076,000	50,996,735	9.079.265,00	653	554	99
2028	60,812,000	50,996,735	9.815.265,00	661	554	107
2029	61,548,000	50,996,735	10.551.265,00	669	554	115
2030	62,284,000	50,996,735	11.287.265,00	677	554	123
2031	63,020,000	50,996,735	12.023.265,00	685	554	131
2032	63,664,000	50,996,735	12.667.265,00	692	554	138
2033	64,400,000	50,996,735	13.403.265,00	700	554	146
2034	65,044,000	50,996,735	14.047.265,00	707	554	153
2035	65,688,000	50,996,735	14.691.265,00	714	554	160
2036	66,332,000	50,996,735	15.335.265,00	721	554	167
2037	66,976,000	50,996,735	15.979.265,00	728	554	174

Fuente. Autores.

Teniendo en cuenta que la capacidad de vaporización natural del tanque es inferior a la demanda máxima tanto para el año 2017 como para el 2037, es necesario recurrir a la vaporización forzada para cubrir lo que hace falta de la demanda. Para este proyecto teniendo en cuenta el requerimiento máximo según los cálculos se recomienda utilizar mínimo un vaporizador de 250 galones.

5.3.4 Mezclador. El mezclador de la planta de gas natural sintético tiene que tener la capacidad de mezclar la demanda máxima horaria al año 2037, que es de 728 galones de GLP/hr (66, 976,000 BTU/hr). La mezcla ideal para hacer la composición de GNS es aproximadamente 55% de GLP y 45% de aire.

Teniendo en cuenta que el poder Calorífico del Aire es Cero (0), debemos calcular que volumen de aire se debe inyectar a la mezcla para obtener el GNS. Sabiendo que un galón líquido de GLP equivalen a 0.97 m³ de gas de GLP y que el consumo máximo horario en galones del año 2037 de GLP es 728, se calcula la cantidad de gas de GLP que entra al mezclador en metros cúbicos.

$$demanda\ maxima/hora = \frac{728\ galones\ de\ GLP * 0.97m^3\ de\ gas\ GLP}{1\ galon\ de\ GLP}$$

$$demanda\ maxima/hora = 706.16\ m^3\ de\ gas\ de\ GLP.$$

El 55% de la mezcla de gas natural sintético a la salida del mezclador equivalen a 706.16 m³/h de gas de GLP, teniendo este valor se calcula el 45% restante de la

composición que es 577.77 m³/h de aire comprimido para formar un total de 1,283.93 m³/h de gas natural sintético.

El volumen que sale por el mezclador es de 1,283.93 m³/h, el cual tiene un poder calorífico total de 66,976,000 BTU/h, entonces el poder calorífico esperado por cada m³ estándar de gas natural sintético sería de 52,164.84 BTU/h (1,477 BTU/ft³).

Se recomienda para este proyecto la implementación de un mezclador de 1000 gal/hora y un compresor de 700 m³/h.

6. VERIFICACION OPERATIVA DE LAS REDES DE DISTRIBUCION

Teniendo en cuenta que en el municipio de Pitalito las redes de distribución ya están construidas y se encuentran operando con una presión máxima de 60 psi y en el nodo más lejano con una presión mínima de 20 psi, al introducir Gas Natural Sintético se opera a una presión máxima de 60 psi y una presión mínima de 20 psi. A continuación se modelan las redes de distribución en Pitalito utilizando un software comercial llamado GAS Works 9.0; este modelamiento se utiliza en dos escenarios, el actual en el año 2017 y futuro para el año 2037 con GNC y GNS respectivamente.

6.1 MEMORIA DE CALCULO RED DE POLIETILENO

Para la verificación de las redes de polietileno del municipio de Pitalito, se tuvieron en cuenta los planos generales de localización y manzaneo de la Población, los cuales fueron proporcionados por la empresa SURGAS E.S.P. S.A. en su totalidad, identificando zonas de alto riesgo, zonas de asentamiento o invasión, posibles zonas de expansión y descartando todas aquellas zonas que por su destinación no van a contar con el servicio público del gas natural.

Los volúmenes usados en el modelamiento de las redes de distribución, fueron tomados de los cálculos de proyección de volúmenes al año 20, para la hora crítica en metros cúbicos.

6.1.1 Características de las tuberías.

6.1.1.1 Tuberías plásticas. En tuberías plásticas podemos contemplar principalmente dos tipos de componentes: las fabricadas con polietilenos según Norma NTC 1746 y las fabricadas con poliamidas no plastificadas según Norma ISO 16486-2 con dos tipos de polietileno, baja y alta densidad, poliamidas A11 y A12. Para el cálculo de las presiones de diseño o de los espesores de pared de tubería, se utilizan las ecuaciones descritas en la NTC 3725 y el ASME B31.8, capítulo 842.2.1

$$P = \frac{2 * S * t}{D - t} * Df$$

Donde:

P = Presión de diseño en psig.

D = Diámetro exterior de la tubería en pulgadas.

T = Espesor de pared de la tubería en pulgadas.

S = Base de diseño hidráulico en psig. Se determina de acuerdo al ASTM D2837, en donde a una temperatura de 23°C para la tubería de polietileno se tiene que S=1,250 psig, para PA-11 (PA32316) y PA-12 (PA42316) es de 3150 psi.

Df = Factor de diseño, adimensional que para tuberías de polietileno se toma como 0,32 y para tuberías de poliamida se toma en 0,40.

Igualmente la Norma ISO 4437, define una ecuación para calcular la presión de diseño o el mínimo espesor de pared de la tubería:

$$P = \frac{20 * MRS}{C * (RDE - 1)}$$

Donde:

P = Presión de diseño en bares.

RDE = Relación entre en diámetro exterior de la tubería y el espesor de pared.

MRS = Resistencia Mínima requerida. Se determina de acuerdo al ISO 4437 en donde a una temperatura de 20°C para la tubería de polietileno de media densidad P80 es de 8 Mpa y para polietileno de alta densidad PE100 es de 10 Mpa. Según la Norma ISO 16486-1, para PA-11 y PA-12 (160) es de 16 Mpa y para PA-11 y PA-12 (180) es de 18 Mpa

C = Coeficiente global de diseño, adimensional que para tuberías de polietileno se toma como C≥2.

El mínimo espesor de pared calculado, debe estar conforme a lo establecido en la Norma NTC 1746 para tuberías de polietileno, ISO 16486-1 para tuberías de poliamida no plastificada.

6.2 PRESIONES NOMINALES

Conforme a la NTC 3838, el ANSI B31.8, la Norma ISO 4437 y la Norma ISO 16486-2, se determinan las presiones máximas de operación recomendadas para los diferentes tipos de tuberías, con un RDE 11. Las temperaturas de operación estarían en el orden de los 23°C. Bajo estos parámetros se podrían considerar los siguientes valores para presiones de operación.

Tabla 22. Máxima presión de operación permisible de tuberías de polietileno.

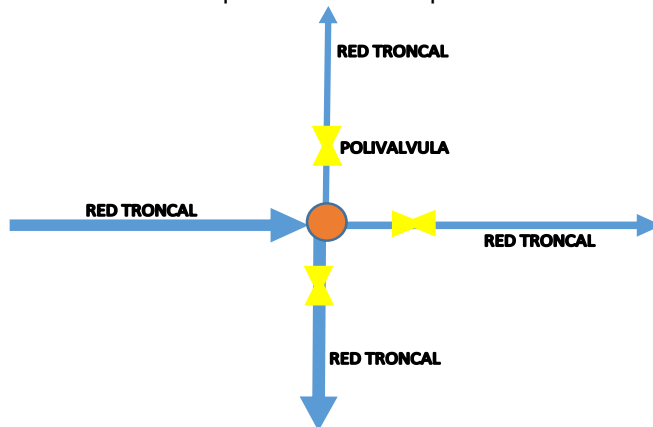
Descripción	MPOP (PSIG)
Tubería de Polietileno PE 80	60
Tubería de Polietileno PE 100	145

Fuente. SURGAS E.S.P. S.A.

6.3 VÁLVULAS

En las redes de distribución se deben instalar válvulas ya sea con fines operativos o de control de una eventual emergencia. Estas válvulas deben ser instaladas en lugares accesibles para reducir el tiempo necesario para cerrar o aislar una sección de la red principal en caso de emergencia. En la determinación del número de válvulas y su ubicación se debe considerar la presión de operación, el tamaño o diámetro, el número y tipo de los usuarios que podrían verse afectados por un cierre. Como buenas prácticas de ingeniería se instalarán válvulas en todas las redes troncales en donde exista una derivación aplicando un principio vectorial en donde el número de válvulas a instalar sea igual al número de vectores menos uno, ubicadas en la dirección de flujo, después del nodo en donde se unen los vectores.

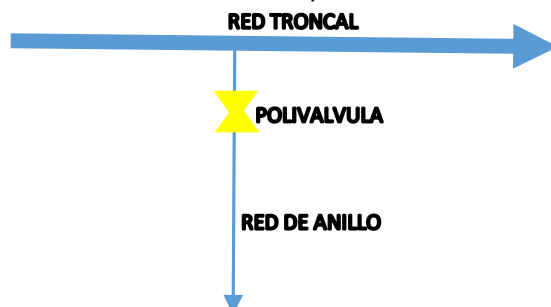
Ilustración 24. Esquema ilustración poli válvula.



Fuente. SURGAS E.S.P. S.A.

Igualmente en donde se realice una derivación de una red troncal a una red de menor diámetro (anillo), se deberá colocar una válvula de corte que controle el flujo de gas que pasara por ese anillo (normalmente construidos en tuberías de polietileno de media densidad en diámetros de 1/2" y 3/4").

Ilustración 25. Ubicación de polivalvulas de anillo.



Fuente. SURGAS E.S.P. S.A.

6.4 PROGRAMA GAS WORKS 9.0

Las condiciones básicas a considerar en el modelamiento del gasoducto de distribución del municipio de Pitalito contemplan dos parámetros fundamentales:

1. Caída de Presión: Para las redes de media densidad se define como la diferencia entre la MPOP(máxima presión de operación) de la tubería y la presión óptima de funcionamiento de los reguladores de presión de los gasodomésticos residenciales, Comerciales e Industriales, se considera una presión inicial de 60 psig y una presión mínima en nodo crítico de 20 psig. Estos rangos permiten garantizar un flujo a presión razonable para la buena operación de las redes así como para el cumplimiento con el diseño de las futuras ampliaciones.
2. Caudal de Diseño: Una vez realizados los cálculos de proyección de consumos actuales y a 20 años para gas natural y gas natural sintético de los diferentes sectores de la zona de Influencia, se procede a calcular el caudal de diseño que se usa en el modelamiento matemático.

Los caudales se asignan a cada nodo de salida de acuerdo a la distribución geográfica de la zona de influencia, buscando que los caudales que hacen parte de los volúmenes proyectados a 20 años queden distribuidos en las zonas de expansión futuras.

Los parámetros básicos considerados en el programa Gas Works 9.0 para el modelamiento de gas natural, se definen como:

- a) Presión atmosférica = 14.65 Psia
- b) Gravedad específica = 0.6
- c) Poder calorífico del gas = 1,000 BTU/ft³
- d) Presión mínima en reguladores domésticos = 1.48 Kg/Cm² (20 Psig)
- e) Temperatura de Flujo = 60 °F
- f) Temperatura base = 519.6 °R

Igualmente para Gas Natural Sintético, se definen como:

- a) Presión atmosférica = 14.65 Psia
- b) Gravedad específica = 1.307
- c) Poder calorífico del gas = 1,611 BTU/ft³
- d) Presión mínima en reguladores domésticos = 1.48 Kg/Cm² (20 Psig)
- e) Temperatura de Flujo = 60 °F
- f) Temperatura base = 519.6 °R

La ecuación que se utilizó para calcular la presión en cada nodo es la IGT – IMPROVED (Institute of Gas Technology-Improved). Ampliamente usada en el diseño de sistemas de distribución que opera entre 1 a 500 psig, en una amplia gama de

número de Reynolds y de diámetros. Para este proyecto las redes de distribución ya están diseñadas e instaladas, por lo tanto se tiene el valor de los diámetros de las tuberías de polietileno.

$$Q = 664,3 \frac{Tb}{Pb} \frac{1}{\mu^{0.111}} \left(\frac{P_1^2 - P_2^2}{S * G^{0.8} * Tf * L * Z} \right)^{0.556} D^{2.667} * E$$

Donde:

D = Diámetro interno de la tubería (Pulgadas).

E = Eficiencia de la tubería en %.

L = Longitud de la tubería (ft).

P₁ = Presión de entrada (Psia).

P₂ = Presión de salida (Psia).

P_b = Presión base (Psia).

Q = Rata de flujo (Ft³/ h).

SG = Gravedad especifica (adimensional).

T_b = Temperatura base en °R.

Z = Factor de compresibilidad, adimensional.

T_f = Temperatura promedio de flujo de gas (°R)

μ = Viscosidad absoluta (Lbm/Ft-sec)

6.5 DIAMETROS DE LA RED DE POLIETILENO DE PITALITO

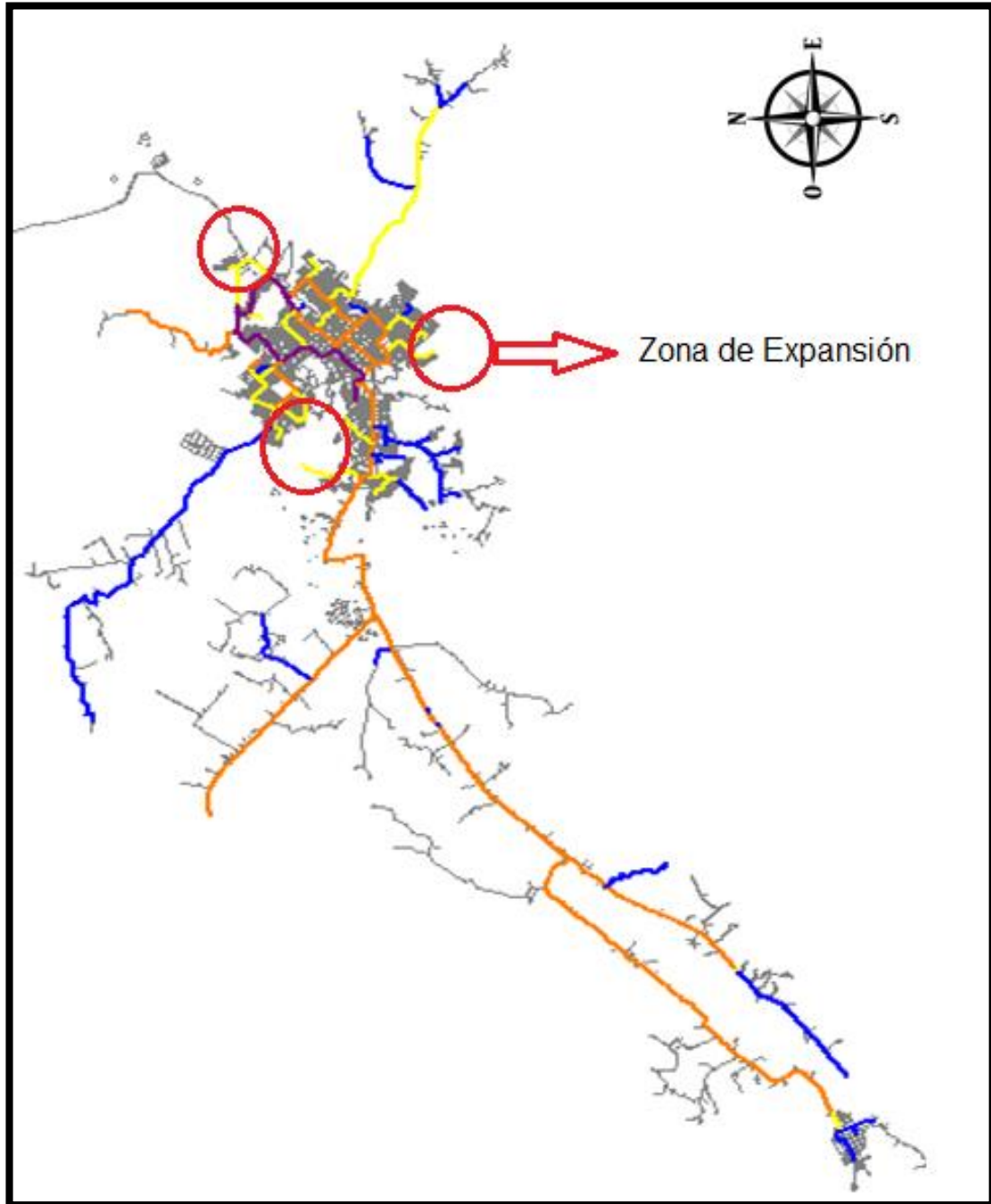
El diseño de las tuberías de polietileno del municipio de Pitalito se referencia de la siguiente manera:

Tabla 23. Diámetros del gasoducto de distribución.

Diámetro (Pulgadas)	Color
1	Azul
2	Amarillo
3	Naranja
4	Morado

Fuente. SURGAS E.S.P. S.A.

Ilustración 26. Diámetros y zona de expansión.

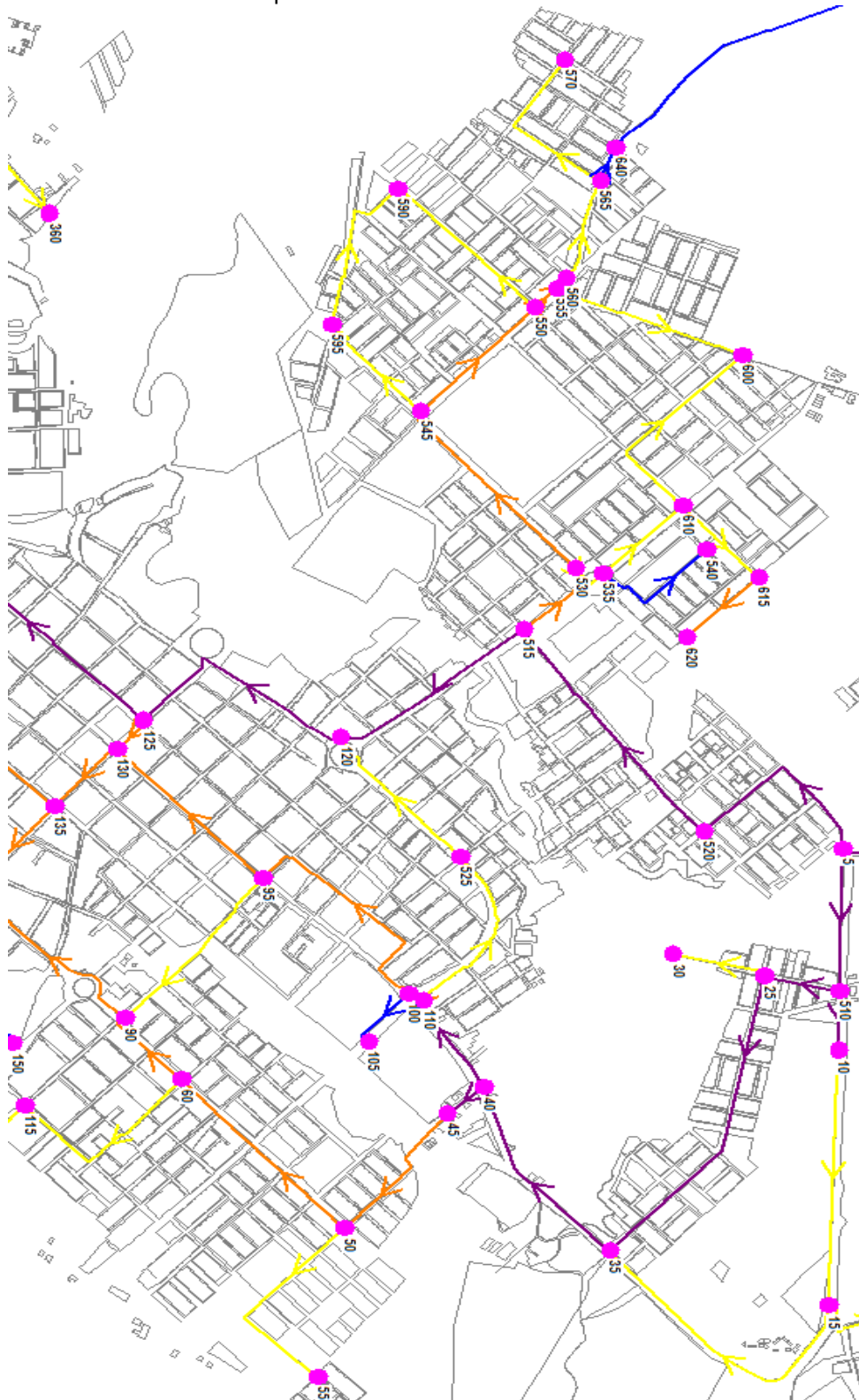


Fuente. SURGAS E.S.P S.A.

6.6 DISTRIBUCIÓN DE NODOS

Utilizando el programa Gas Works 9.0 se obtuvieron 130 nodos distribuidos en toda la población de Pitalito. A continuación se muestra un modelo representativo de la distribución de nodos en el programa GAS Works 9.0 de una fracción del municipio.

Ilustración 27. Muestra representativa de la distribución de nodos.



Fuente. Autor, Programa GAS Works 9.0.

6.7 MODELAMIENTO DEL GASODUCTO DE DISTRIBUCION PARA GAS NATURAL DEL AÑO 2017

Las tablas establecidas a continuación muestran 130 nodos de distribución los cuales salen y llegan de un nodo específico; todos los nodos tienen definido uno del otro su diámetro, distancia, presión de entrada y salida. Los caudales que se simularon para el año 2017, son de 1,468 m³/h.

Rec #	From Node	To Node	Size/Type	Length	Length Units	Inlet Pressure	Outlet Pressure	Pressure Units
1	ERM	605	4P	43	m	60,00	60,00	Psi
2	ERM	5	4P	82	m	60,00	59,46	Psi
3	5	520	4P	492	m	59,46	58,50	Psi
4	5	510	4P	352	m	59,46	58,83	Psi
5	510	10	4P	146	m	58,83	58,82	Psi
6	10	15	2P	631	m	58,82	58,16	Psi
7	15	20	2P	234	m	58,16	58,15	Psi
8	15	35	2P	722	m	58,16	57,72	Psi
9	35	25	4P	791	m	58,61	57,72	Psi
10	25	510	4P	170	m	58,83	58,61	Psi
11	25	30	2P	223	m	58,61	58,61	Psi
12	35	40	4P	505	m	57,72	57,04	Psi
13	40	45	4P	104	m	57,04	57,01	Psi
14	45	50	3P	383	m	57,01	56,65	Psi
15	50	55	2P	534	m	56,65	56,64	Psi
16	50	60	3P	516	m	56,65	56,27	Psi
17	60	115	2P	485	m	56,27	55,92	Psi
18	65	70	1P	1427	m	54,84	54,14	Psi
19	65	75	2P	1577	m	54,84	54,54	Psi
20	75	80	1P	378	m	54,54	54,36	Psi
21	75	85	1P	586	m	54,54	54,26	Psi
22	60	90	3P	221	m	56,27	56,21	Psi

Rec #	From Node	To Node	Size/Type	Length	Length Units	Inlet Pressure	Outlet Pressure	Pressure Units
23	95	90	2P	466	m	56,36	56,21	Psi
24	95	100	3P	605	m	56,88	56,36	Psi
25	100	105	1P	166	m	56,88	56,79	Psi
26	100	110	3P	38	m	56,92	56,88	Psi
27	110	40	4P	259	m	57,04	56,92	Psi
28	110	525	2P	447	m	56,92	56,80	Psi
29	525	120	2P	404	m	56,80	56,77	Psi
30	120	125	4P	582	m	56,77	56,14	Psi
31	520	515	4P	643	m	58,50	57,29	Psi
32	130	95	3P	454	m	56,36	56,14	Psi
33	125	130	3P	94	m	56,14	56,14	Psi
34	125	200	4P	696	m	56,14	55,54	Psi
35	130	135	3P	200	m	56,14	56,02	Psi
36	135	140	3P	274	m	56,02	56,01	Psi
37	140	90	3P	493	m	56,21	56,01	Psi
38	140	145	3P	301	m	56,01	55,89	Psi
39	145	150	1P	347	m	55,89	55,70	Psi
40	145	155	3P	404	m	55,89	55,78	Psi
41	155	160	2P	391	m	55,78	55,67	Psi
42	160	165	1P	323	m	55,67	55,49	Psi
43	160	170	2P	425	m	55,67	55,64	Psi
44	170	175	2P	112	m	55,64	55,64	Psi

Rec #	From Node	To Node	Size/Type	Length	Length Units	Inlet Pressure	Outlet Pressure	Pressure Units
45	170	180	2P	371	m	55,65	55,64	Psi
46	180	185	2P	544	m	55,65	55,63	Psi
47	180	190	2P	426	m	55,72	55,65	Psi
48	190	155	3P	552	m	55,78	55,72	Psi
49	190	195	3P	410	m	55,72	55,71	Psi
50	195	135	3P	718	m	56,02	55,71	Psi
51	195	200	3P	327	m	55,71	55,54	Psi
52	515	120	4P	497	m	57,29	56,77	Psi
53	515	530	3P	203	m	57,29	57,17	Psi
54	530	535	2P	89	m	57,17	57,12	Psi
55	535	540	1P	313	m	57,12	56,94	Psi
56	535	610	2P	243	m	57,12	57,04	Psi
57	610	615	2P	245	m	57,04	57,02	Psi
58	615	620	3P	218	m	57,02	57,02	Psi
59	610	600	2P	534	m	57,04	57,03	Psi
60	600	555	2P	445	m	57,03	57,03	Psi
61	555	560	3P	33	m	57,03	57,03	Psi
62	560	565	2P	257	m	57,03	56,98	Psi
63	565	570	2P	434	m	56,98	56,98	Psi
64	555	550	3P	67	m	57,04	57,03	Psi
65	545	530	3P	530	m	57,17	57,07	Psi
66	545	550	3P	360	m	57,07	57,04	Psi

Rec #	From Node	To Node	Size/Type	Length	Length Units	Inlet Pressure	Outlet Pressure	Pressure Units
67	550	590	2P	424	m	57,04	57,04	Psi
68	590	595	2P	410	m	57,05	57,04	Psi
69	595	545	2P	300	m	57,07	57,05	Psi
70	200	205	4P	213	m	55,54	55,22	Psi
71	205	210	4P	313	m	55,22	55,22	Psi
72	205	215	3P	950	m	55,22	50,54	Psi
73	325	365	3P	165	m	47,64	47,30	Psi
74	325	315	2P	378	m	47,64	47,49	Psi
75	315	310	2P	207	m	47,49	47,46	Psi
76	310	305	1P	684	m	47,46	47,03	Psi
77	315	320	2P	358	m	47,49	47,48	Psi
78	335	625	1P	102	m	47,45	47,05	Psi
79	335	350	1P	396	m	47,45	47,20	Psi
80	355	330	3P	235	m	49,48	48,65	Psi
81	215	725	3P	146	m	50,54	49,99	Psi
82	215	220	1P	415	m	50,54	41,98	Psi
83	230	235	1P	271	m	34,62	34,40	Psi
84	230	240	1P	302	m	34,62	32,22	Psi
85	240	245	1P	461	m	32,22	31,83	Psi
86	240	250	1P	823	m	32,22	29,71	Psi
87	250	255	1P	118	m	29,71	29,67	Psi
88	250	300	1P	333	m	29,71	29,40	Psi

Rec #	From Node	To Node	Size/Type	Length	Length Units	Inlet Pressure	Outlet Pressure	Pressure Units
89	355	360	2P	623	m	49,48	49,47	Psi
90	365	370	2P	1119	m	47,30	47,27	Psi
91	375	380	3P	1524	m	40,77	40,71	Psi
92	380	385	1P	1726	m	40,71	39,64	Psi
93	380	390	3P	3050	m	40,71	40,69	Psi
94	375	395	3P	715	m	40,77	39,66	Psi
95	395	400	1P	497	m	39,66	39,34	Psi
96	395	405	1P	51	m	39,66	39,62	Psi
97	395	410	3P	1258	m	39,66	38,06	Psi
98	440	445	3P	785	m	35,51	35,35	Psi
99	450	455	1P	101	m	33,67	33,58	Psi
100	450	460	1P	855	m	33,67	32,95	Psi
101	465	470	2P	120	m	35,23	35,21	Psi
102	470	475	1P	2743	m	35,21	32,96	Psi
103	440	480	3P	7390	m	35,51	34,35	Psi
104	485	480	2P	335	m	34,35	34,09	Psi
105	485	490	1P	744	m	34,09	33,47	Psi
106	485	495	1P	203	m	34,09	32,87	Psi
107	635	375	3P	3289	m	47,06	40,77	Psi
108	640	575	1P	7647	m	56,94	52,59	Psi
109	365	635	3P	138	m	47,30	47,06	Psi
110	115	65	2P	2357	m	55,92	54,84	Psi

Rec #	From Node	To Node	Size/Type	Length	Length Units	Inlet Pressure	Outlet Pressure	Pressure Units
111	565	640	1P	89	m	56,98	56,94	Psi
112	580	605	2P	479	m	60,00	59,96	Psi
113	230	220	1P	541	m	41,98	34,62	Psi
114	220	225	1P	169	m	41,98	41,87	Psi
115	330	325	3P	373	m	48,65	47,64	Psi
116	330	335	1P	119	m	48,65	47,45	Psi
117	625	340	1P	50	m	47,05	47,02	Psi
118	625	345	1P	63	m	47,05	47,02	Psi
119	445	465	3P	2619	m	35,35	35,23	Psi
120	445	450	1P	287	m	35,35	33,67	Psi
121	410	420	3P	58	m	38,06	38,00	Psi
122	420	430	3P	230	m	38,00	37,80	Psi
123	430	440	3P	3290	m	37,80	35,51	Psi
124	410	415	1P	38	m	38,06	38,03	Psi
125	420	425	1P	28	m	38,00	37,98	Psi
126	430	435	1P	57	m	37,80	37,76	Psi
127	495	500	1P	176	m	32,87	32,72	Psi
128	495	505	1P	403	m	32,87	32,53	Psi
129	725	355	3P	135	m	49,99	49,48	Psi
130	580	585	3P	1891	m	59,96	59,95	Psi

Se verificó que las redes de distribución de gas natural para el año 2017 funcionan adecuadamente; la simulación muestra que la presión en el punto más crítico (lejano) es de 29.71 psig superior a la presión óptima de funcionamiento que es 20 psig, lo cual indica que se garantiza un flujo a todos los usuarios del municipio de Pitalito a la presión requerida para la buena operación de las redes de polietileno.

6.8 MODELAMIENTO DEL GASODUCTO DE DISTRIBUCION PARA GAS NATURAL AL AÑO 2037

Partiendo de un plan de desarrollo de crecimiento de la población se estimó el aumento de usuarios a 20 años para verificar si las redes de polietileno están en óptimas condiciones para su trabajo. El consumo en la hora crítica proyectado al año 2037 es de 1,897 m³/h, teniendo un incremento de 429 m³/h del año 2017 al 2037.

Rec #	From Node	To Node	Size/Type	Length	Length Units	Inlet Pressure	Outlet Pressure	Pressure Units
1	ERM	605	4P	43	m	60,00	60,00	Psi
2	ERM	5	4P	82	m	60,00	59,21	Psi
3	5	520	4P	492	m	59,21	57,85	Psi
4	5	510	4P	352	m	59,21	58,26	Psi
5	510	10	4P	146	m	58,26	58,24	Psi
6	10	15	2P	631	m	58,24	56,68	Psi
7	15	20	2P	234	m	56,68	56,55	Psi
8	15	35	2P	722	m	56,68	56,64	Psi
9	35	25	4P	791	m	57,95	56,64	Psi
10	25	510	4P	170	m	58,26	57,95	Psi
11	25	30	2P	223	m	57,95	57,95	Psi
12	35	40	4P	505	m	56,64	55,77	Psi
13	40	45	4P	104	m	55,77	55,73	Psi
14	45	50	3P	383	m	55,73	55,27	Psi
15	50	55	2P	534	m	55,27	55,26	Psi
16	50	60	3P	516	m	55,27	54,77	Psi
17	60	115	2P	485	m	54,77	54,40	Psi
18	65	70	1P	1427	m	53,30	52,59	Psi
19	65	75	2P	1577	m	53,30	53,00	Psi
20	75	80	1P	378	m	53,00	52,81	Psi
21	75	85	1P	586	m	53,00	52,71	Psi
22	60	90	3P	221	m	54,77	54,67	Psi

Rec #	From Node	To Node	Size/Type	Length	Length Units	Inlet Pressure	Outlet Pressure	Pressure Units
23	95	90	2P	466	m	54,87	54,67	Psi
24	95	100	3P	605	m	55,56	54,87	Psi
25	100	105	1P	166	m	55,56	55,47	Psi
26	100	110	3P	38	m	55,62	55,56	Psi
27	110	40	4P	259	m	55,77	55,62	Psi
28	110	525	2P	447	m	55,62	55,47	Psi
29	525	120	2P	404	m	55,47	55,42	Psi
30	120	125	4P	582	m	55,42	54,57	Psi
31	520	515	4P	643	m	57,85	56,10	Psi
32	130	95	3P	454	m	54,87	54,56	Psi
33	125	130	3P	94	m	54,57	54,56	Psi
34	125	200	4P	696	m	54,57	53,78	Psi
35	130	135	3P	200	m	54,56	54,37	Psi
36	135	140	3P	274	m	54,37	54,37	Psi
37	140	90	3P	493	m	54,67	54,37	Psi
38	140	145	3P	301	m	54,37	54,16	Psi
39	145	150	1P	347	m	54,16	53,96	Psi
40	145	155	3P	404	m	54,16	53,94	Psi
41	155	160	2P	391	m	53,94	53,50	Psi
42	160	165	1P	323	m	53,50	53,32	Psi
43	160	170	2P	425	m	53,50	53,23	Psi
44	170	175	2P	112	m	53,23	53,15	Psi

Rec #	From Node	To Node	Size/Type	Length	Length Units	Inlet Pressure	Outlet Pressure	Pressure Units
45	170	180	2P	371	m	53,26	53,23	Psi
46	180	185	2P	544	m	53,26	52,84	Psi
47	180	190	2P	426	m	53,88	53,26	Psi
48	190	155	3P	552	m	53,94	53,88	Psi
49	190	195	3P	410	m	53,90	53,88	Psi
50	195	135	3P	718	m	54,37	53,90	Psi
51	195	200	3P	327	m	53,90	53,78	Psi
52	515	120	4P	497	m	56,10	55,42	Psi
53	515	530	3P	203	m	56,10	55,89	Psi
54	530	535	2P	89	m	55,89	55,80	Psi
55	535	540	1P	313	m	55,80	55,62	Psi
56	535	610	2P	243	m	55,80	55,66	Psi
57	610	615	2P	245	m	55,66	55,64	Psi
58	615	620	3P	218	m	55,64	55,63	Psi
59	610	600	2P	534	m	55,66	55,59	Psi
60	600	555	2P	445	m	55,59	55,56	Psi
61	555	560	3P	33	m	55,56	55,56	Psi
62	560	565	2P	257	m	55,56	55,39	Psi
63	565	570	2P	434	m	55,39	55,25	Psi
64	555	550	3P	67	m	55,57	55,56	Psi
65	545	530	3P	530	m	55,89	55,65	Psi
66	545	550	3P	360	m	55,65	55,57	Psi

Rec #	From Node	To Node	Size/Type	Length	Length Units	Inlet Pressure	Outlet Pressure	Pressure Units
67	550	590	2P	424	m	55,57	55,53	Psi
68	590	595	2P	410	m	55,58	55,53	Psi
69	595	545	2P	300	m	55,65	55,58	Psi
70	200	205	4P	213	m	53,78	53,41	Psi
71	205	210	4P	313	m	53,41	53,41	Psi
72	205	215	3P	950	m	53,41	48,04	Psi
73	325	365	3P	165	m	44,57	44,14	Psi
74	325	315	2P	378	m	44,57	44,41	Psi
75	315	310	2P	207	m	44,41	44,38	Psi
76	310	305	1P	684	m	44,38	43,92	Psi
77	315	320	2P	358	m	44,41	44,39	Psi
78	335	625	1P	102	m	44,54	44,12	Psi
79	335	350	1P	396	m	44,54	44,28	Psi
80	355	330	3P	235	m	46,79	45,80	Psi
81	215	725	3P	146	m	48,04	47,39	Psi
82	215	220	1P	415	m	48,04	39,06	Psi
83	230	235	1P	271	m	31,22	30,98	Psi
84	230	240	1P	302	m	31,22	28,63	Psi
85	240	245	1P	461	m	28,63	28,20	Psi
86	240	250	1P	823	m	28,63	25,87	Psi
87	250	255	1P	118	m	25,87	25,84	Psi
88	250	300	1P	333	m	25,87	25,54	Psi

Rec #	From Node	To Node	Size/Type	Length	Length Units	Inlet Pressure	Outlet Pressure	Pressure Units
89	355	360	2P	623	m	46,79	46,77	Psi
90	365	370	2P	1119	m	44,14	43,68	Psi
91	375	380	3P	1524	m	37,19	37,13	Psi
92	380	385	1P	1726	m	37,13	35,98	Psi
93	380	390	3P	3050	m	37,13	37,11	Psi
94	375	395	3P	715	m	37,19	36,00	Psi
95	395	400	1P	497	m	36,00	35,66	Psi
96	395	405	1P	51	m	36,00	35,96	Psi
97	395	410	3P	1258	m	36,00	34,28	Psi
98	440	445	3P	785	m	31,51	31,34	Psi
99	450	455	1P	101	m	29,49	29,40	Psi
100	450	460	1P	855	m	29,49	28,71	Psi
101	465	470	2P	120	m	31,21	31,19	Psi
102	470	475	1P	2743	m	31,19	28,72	Psi
103	440	480	3P	7390	m	31,51	30,24	Psi
104	485	480	2P	335	m	30,24	29,96	Psi
105	485	490	1P	744	m	29,96	29,28	Psi
106	485	495	1P	203	m	29,96	28,62	Psi
107	635	375	3P	3289	m	43,88	37,19	Psi
108	640	575	1P	7647	m	55,34	50,88	Psi
109	365	635	3P	138	m	44,14	43,88	Psi
110	115	65	2P	2357	m	54,40	53,30	Psi

Rec #	From Node	To Node	Size/Type	Length	Length Units	Inlet Pressure	Outlet Pressure	Pressure Units
111	565	640	1P	89	m	55,39	55,34	Psi
112	580	605	2P	479	m	60,00	59,12	Psi
113	230	220	1P	541	m	39,06	31,22	Psi
114	220	225	1P	169	m	39,06	38,95	Psi
115	330	325	3P	373	m	45,80	44,57	Psi
116	330	335	1P	119	m	45,80	44,54	Psi
117	625	340	1P	50	m	44,12	44,09	Psi
118	625	345	1P	63	m	44,12	44,08	Psi
119	445	465	3P	2619	m	31,34	31,21	Psi
120	445	450	1P	287	m	31,34	29,49	Psi
121	410	420	3P	58	m	34,28	34,22	Psi
122	420	430	3P	230	m	34,22	34,00	Psi
123	430	440	3P	3290	m	34,00	31,51	Psi
124	410	415	1P	38	m	34,28	34,25	Psi
125	420	425	1P	28	m	34,22	34,19	Psi
126	430	435	1P	57	m	34,00	33,95	Psi
127	495	500	1P	176	m	28,62	28,45	Psi
128	495	505	1P	403	m	28,62	28,24	Psi
129	725	355	3P	135	m	47,39	46,79	Psi
130	580	585	3P	1891	m	59,12	58,69	Psi

La proyección de aumento de usuarios se distribuyó en los nodos de las posibles zonas de expansión del municipio de Pitalito; se verificó si las redes de distribución del sistema actual de Pitalito son capaces de mantener una presión mínima de 20 psi en los nodos críticos. Al simular en el programa la proyección al año 2037 se obtuvo que la presión mínima simulada en el nodo más lejano es de 25.54 psi siendo superior a los 20 psi requeridos para el óptimo funcionamiento de las redes de polietileno del municipio de Pitalito, indicando la eficiencia de las redes para ese año.

6.9 MODELAMIENTO DEL GASODUCTO DE DISTRIBUCION PARA GAS NATURAL SINTETICO AL AÑO 2017

El gas natural sintético es el sistema de respaldo seleccionado para el municipio de Pitalito, por lo tanto se hace el modelamiento de las redes para verificar si estas pueden trabajar en excelentes condiciones al intercambiar el gas natural por este. La presión de operación en la City Gate y la presión mínima en los nodos críticos para el caso de gas natural sintético también son de 60 psi y 20 psi.

Rec #	From Node	To Node	Size/Type	Length	Length Units	Inlet Pressure	Outlet Pressure	Pressure Units
1	ERM	605	4P	43	m	60,00	60,00	Psi
2	ERM	5	4P	82	m	60,00	59,57	Psi
3	5	520	4P	492	m	59,57	58,80	Psi
4	5	510	4P	352	m	59,57	59,06	Psi
5	510	10	4P	146	m	59,06	59,05	Psi
6	10	15	2P	631	m	59,05	58,53	Psi
7	15	20	2P	234	m	58,53	58,52	Psi
8	15	35	2P	722	m	58,53	58,18	Psi
9	35	25	4P	791	m	58,89	58,18	Psi
10	25	510	4P	170	m	59,06	58,89	Psi
11	25	30	2P	223	m	58,89	58,89	Psi
12	35	40	4P	505	m	58,18	57,64	Psi
13	40	45	4P	104	m	57,64	57,61	Psi
14	45	50	3P	383	m	57,61	57,33	Psi
15	50	55	2P	534	m	57,33	57,32	Psi
16	50	60	3P	516	m	57,33	57,03	Psi
17	60	115	2P	485	m	57,03	56,74	Psi
18	65	70	1P	1427	m	55,89	55,34	Psi
19	65	75	2P	1577	m	55,89	55,66	Psi
20	75	80	1P	378	m	55,66	55,52	Psi
21	75	85	1P	586	m	55,66	55,43	Psi
22	60	90	3P	221	m	57,03	56,98	Psi

Rec #	From Node	To Node	Size/Type	Length	Length Units	Inlet Pressure	Outlet Pressure	Pressure Units
23	95	90	2P	466	m	57,10	56,98	Psi
24	95	100	3P	605	m	57,51	57,10	Psi
25	100	105	1P	166	m	57,51	57,43	Psi
26	100	110	3P	38	m	57,54	57,51	Psi
27	110	40	4P	259	m	57,64	57,54	Psi
28	110	525	2P	447	m	57,54	57,45	Psi
29	525	120	2P	404	m	57,45	57,42	Psi
30	120	125	4P	582	m	57,42	56,93	Psi
31	520	515	4P	643	m	58,80	57,83	Psi
32	130	95	3P	454	m	57,10	56,92	Psi
33	125	130	3P	94	m	56,93	56,92	Psi
34	125	200	4P	696	m	56,93	56,45	Psi
35	130	135	3P	200	m	56,92	56,82	Psi
36	135	140	3P	274	m	56,82	56,82	Psi
37	140	90	3P	493	m	56,98	56,82	Psi
38	140	145	3P	301	m	56,82	56,73	Psi
39	145	150	1P	347	m	56,73	56,57	Psi
40	145	155	3P	404	m	56,73	56,63	Psi
41	155	160	2P	391	m	56,63	56,55	Psi
42	160	165	1P	323	m	56,55	56,41	Psi
43	160	170	2P	425	m	56,55	56,53	Psi
44	170	175	2P	112	m	56,53	56,53	Psi

Rec #	From Node	To Node	Size/Type	Length	Length Units	Inlet Pressure	Outlet Pressure	Pressure Units
45	170	180	2P	371	m	56,53	56,53	Psi
46	180	185	2P	544	m	56,53	56,52	Psi
47	180	190	2P	426	m	56,59	56,53	Psi
48	190	155	3P	552	m	56,63	56,59	Psi
49	190	195	3P	410	m	56,59	56,58	Psi
50	195	135	3P	718	m	56,82	56,58	Psi
51	195	200	3P	327	m	56,58	56,45	Psi
52	515	120	4P	497	m	57,83	57,42	Psi
53	515	530	3P	203	m	57,83	57,74	Psi
54	530	535	2P	89	m	57,74	57,70	Psi
55	535	540	1P	313	m	57,70	57,56	Psi
56	535	610	2P	243	m	57,70	57,64	Psi
57	610	615	2P	245	m	57,64	57,62	Psi
58	615	620	3P	218	m	57,62	57,62	Psi
59	610	600	2P	534	m	57,64	57,63	Psi
60	600	555	2P	445	m	57,63	57,63	Psi
61	555	560	3P	33	m	57,63	57,63	Psi
62	560	565	2P	257	m	57,63	57,59	Psi
63	565	570	2P	434	m	57,59	57,59	Psi
64	555	550	3P	67	m	57,63	57,63	Psi
65	545	530	3P	530	m	57,74	57,66	Psi
66	545	550	3P	360	m	57,66	57,63	Psi

Rec #	From Node	To Node	Size/Type	Length	Length Units	Inlet Pressure	Outlet Pressure	Pressure Units
67	550	590	2P	424	m	57,63	57,63	Psi
68	590	595	2P	410	m	57,64	57,63	Psi
69	595	545	2P	300	m	57,66	57,64	Psi
70	200	205	4P	213	m	56,45	56,19	Psi
71	205	210	4P	313	m	56,19	56,19	Psi
72	205	215	3P	950	m	56,19	52,53	Psi
73	325	365	3P	165	m	50,29	50,03	Psi
74	325	315	2P	378	m	50,29	50,17	Psi
75	315	310	2P	207	m	50,17	50,15	Psi
76	310	305	1P	684	m	50,15	49,81	Psi
77	315	320	2P	358	m	50,17	50,16	Psi
78	335	625	1P	102	m	50,14	49,83	Psi
79	335	350	1P	396	m	50,14	49,95	Psi
80	355	330	3P	235	m	51,71	51,06	Psi
81	215	725	3P	146	m	52,53	52,10	Psi
82	215	220	1P	415	m	52,53	45,99	Psi
83	230	235	1P	271	m	40,62	40,47	Psi
84	230	240	1P	302	m	40,62	38,94	Psi
85	240	245	1P	461	m	38,94	38,66	Psi
86	240	250	1P	823	m	38,94	37,20	Psi
87	250	255	1P	118	m	37,20	37,18	Psi
88	250	300	1P	333	m	37,20	36,99	Psi

Rec #	From Node	To Node	Size/Type	Length	Length Units	Inlet Pressure	Outlet Pressure	Pressure Units
89	355	360	2P	623	m	51.71	51.69	Psi
90	365	370	2P	1119	m	50.03	50.00	Psi
91	375	380	3P	1524	m	45.09	45.05	Psi
92	380	385	1P	1726	m	45.05	44.26	Psi
93	380	390	3P	3050	m	45.05	45.04	Psi
94	375	395	3P	715	m	45.09	44.27	Psi
95	395	400	1P	497	m	44.27	44.04	Psi
96	395	405	1P	51	m	44.27	44.25	Psi
97	395	410	3P	1258	m	44.27	43.10	Psi
98	440	445	3P	785	m	41.26	41.14	Psi
99	450	455	1P	101	m	39.95	39.89	Psi
100	450	460	1P	855	m	39.95	39.45	Psi
101	465	470	2P	120	m	41.06	41.05	Psi
102	470	475	1P	2743	m	41.05	39.45	Psi
103	440	480	3P	7390	m	41.26	40.43	Psi
104	485	480	2P	335	m	40.43	40.25	Psi
105	485	490	1P	744	m	40.25	39.81	Psi
106	485	495	1P	203	m	40.25	39.39	Psi
107	635	375	3P	3289	m	49.84	45.09	Psi
108	640	575	1P	7647	m	57.55	54.12	Psi
109	365	635	3P	138	m	50.03	49.84	Psi
110	115	65	2P	2357	m	56.74	55.89	Psi

Rec #	From Node	To Node	Size/Type	Length	Length Units	Inlet Pressure	Outlet Pressure	Pressure Units
111	565	640	1P	89	m	57.59	57.55	Psi
112	580	605	2P	479	m	60.00	59.97	Psi
113	230	220	1P	541	m	45.99	40.62	Psi
114	220	225	1P	169	m	45.99	45.92	Psi
115	330	325	3P	373	m	51.06	50.29	Psi
116	330	335	1P	119	m	51.06	50.14	Psi
117	625	340	1P	50	m	49.83	49.81	Psi
118	625	345	1P	63	m	49.83	49.81	Psi
119	445	465	3P	2619	m	41.14	41.06	Psi
120	445	450	1P	287	m	41.14	39.95	Psi
121	410	420	3P	58	m	43.10	43.06	Psi
122	420	430	3P	230	m	43.06	42.91	Psi
123	430	440	3P	3290	m	42.91	41.26	Psi
124	410	415	1P	38	m	43.10	43.08	Psi
125	420	425	1P	28	m	43.06	43.04	Psi
126	430	435	1P	57	m	42.91	42.88	Psi
127	495	500	1P	176	m	39.39	39.28	Psi
128	495	505	1P	403	m	39.39	39.15	Psi
129	725	355	3P	135	m	52.10	51.71	Psi
130	580	585	3P	1891	m	59.97	59.96	Psi

Al ejecutar la simulación con las redes existentes pero para gas natural sintético, se tuvieron en cuenta cambios de las propiedades del nuevo gas como, presión atmosférica, gravedad específica, poder calorífico del gas, presión mínima en reguladores domésticos, temperatura de flujo y temperatura de base a simular. El modelamiento se hizo para el consumo de gas natural sintético en hora crítica, con un caudal de 910.16 m³/h; el resultado de la presión en el nodo crítico es de 36.99 psi, superior a la presión mínima requerida de operación que son 20 psi, por lo tanto no es necesario realizar ningún cambio a la red de polietileno del municipio de Pitalito.

6.10 MODELAMIENTO DEL GASODUCTO DE DISTRIBUCION PARA GAS NATURAL SINTETICO AL AÑO 2037

La proyección al año 2037 indica que el consumo de gas natural sintético es de 1,283.93 m³/h, para cubrir la demanda requerida del año 2017 al año 2037 se necesita 373.77 m³/h.

Rec #	From Node	To Node	Size/Type	Length	Length Units	Inlet Pressure	Outlet Pressure	Pressure Units
1	ERM	605	4P	43	m	60,00	60,00	Psi
2	ERM	5	4P	82	m	60,00	59,37	Psi
3	5	520	4P	492	m	59,37	58,28	Psi
4	5	510	4P	352	m	59,37	58,60	Psi
5	510	10	4P	146	m	58,60	58,59	Psi
6	10	15	2P	631	m	58,59	57,35	Psi
7	15	20	2P	234	m	57,35	57,25	Psi
8	15	35	2P	722	m	57,35	57,31	Psi
9	35	25	4P	791	m	58,36	57,31	Psi
10	25	510	4P	170	m	58,60	58,36	Psi
11	25	30	2P	223	m	58,36	58,36	Psi
12	35	40	4P	505	m	57,31	56,63	Psi
13	40	45	4P	104	m	56,63	56,60	Psi
14	45	50	3P	383	m	56,60	56,23	Psi
15	50	55	2P	534	m	56,23	56,22	Psi
16	50	60	3P	516	m	56,23	55,83	Psi
17	60	115	2P	485	m	55,83	55,55	Psi
18	65	70	1P	1427	m	54,68	54,12	Psi
19	65	75	2P	1577	m	54,68	54,44	Psi
20	75	80	1P	378	m	54,44	54,30	Psi
21	75	85	1P	586	m	54,44	54,21	Psi
22	60	90	3P	221	m	55,83	55,76	Psi

Rec #	From Node	To Node	Size/Type	Length	Length Units	Inlet Pressure	Outlet Pressure	Pressure Units
23	95	90	2P	466	m	55,91	55,76	Psi
24	95	100	3P	605	m	56,46	55,91	Psi
25	100	105	1P	166	m	56,46	56,39	Psi
26	100	110	3P	38	m	56,50	56,46	Psi
27	110	40	4P	259	m	56,63	56,50	Psi
28	110	525	2P	447	m	56,50	56,39	Psi
29	525	120	2P	404	m	56,39	56,35	Psi
30	120	125	4P	582	m	56,35	55,68	Psi
31	520	515	4P	643	m	58,28	56,89	Psi
32	130	95	3P	454	m	55,91	55,67	Psi
33	125	130	3P	94	m	55,68	55,67	Psi
34	125	200	4P	696	m	55,68	55,05	Psi
35	130	135	3P	200	m	55,67	55,52	Psi
36	135	140	3P	274	m	55,52	55,52	Psi
37	140	90	3P	493	m	55,76	55,52	Psi
38	140	145	3P	301	m	55,52	55,35	Psi
39	145	150	1P	347	m	55,35	55,20	Psi
40	145	155	3P	404	m	55,35	55,18	Psi
41	155	160	2P	391	m	55,18	54,84	Psi
42	160	165	1P	323	m	54,84	54,69	Psi
43	160	170	2P	425	m	54,84	54,62	Psi
44	170	175	2P	112	m	54,62	54,56	Psi

Rec #	From Node	To Node	Size/Type	Length	Length Units	Inlet Pressure	Outlet Pressure	Pressure Units
45	170	180	2P	371	m	54,65	54,62	Psi
46	180	185	2P	544	m	54,65	54,32	Psi
47	180	190	2P	426	m	55,13	54,65	Psi
48	190	155	3P	552	m	55,18	55,13	Psi
49	190	195	3P	410	m	55,15	55,13	Psi
50	195	135	3P	718	m	55,52	55,15	Psi
51	195	200	3P	327	m	55,15	55,05	Psi
52	515	120	4P	497	m	56,89	56,35	Psi
53	515	530	3P	203	m	56,89	56,72	Psi
54	530	535	2P	89	m	56,72	56,64	Psi
55	535	540	1P	313	m	56,64	56,50	Psi
56	535	610	2P	243	m	56,64	56,53	Psi
57	610	615	2P	245	m	56,53	56,52	Psi
58	615	620	3P	218	m	56,52	56,52	Psi
59	610	600	2P	534	m	56,53	56,48	Psi
60	600	555	2P	445	m	56,48	56,46	Psi
61	555	560	3P	33	m	56,46	56,45	Psi
62	560	565	2P	257	m	56,45	56,31	Psi
63	565	570	2P	434	m	56,31	56,20	Psi
64	555	550	3P	67	m	56,46	56,46	Psi
65	545	530	3P	530	m	56,72	56,53	Psi
66	545	550	3P	360	m	56,53	56,46	Psi

Rec #	From Node	To Node	Size/Type	Length	Length Units	Inlet Pressure	Outlet Pressure	Pressure Units
67	550	590	2P	424	m	56,46	56,43	Psi
68	590	595	2P	410	m	56,47	56,43	Psi
69	595	545	2P	300	m	56,53	56,47	Psi
70	200	205	4P	213	m	55,05	54,77	Psi
71	205	210	4P	313	m	54,77	54,76	Psi
72	205	215	3P	950	m	54,77	50,59	Psi
73	325	365	3P	165	m	47,94	47,62	Psi
74	325	315	2P	378	m	47,94	47,81	Psi
75	315	310	2P	207	m	47,81	47,80	Psi
76	310	305	1P	684	m	47,80	47,45	Psi
77	315	320	2P	358	m	47,81	47,81	Psi
78	335	625	1P	102	m	47,92	47,60	Psi
79	335	350	1P	396	m	47,92	47,72	Psi
80	355	330	3P	235	m	49,63	48,88	Psi
81	215	725	3P	146	m	50,59	50,09	Psi
82	215	220	1P	415	m	50,59	43,83	Psi
83	230	235	1P	271	m	38,23	38,07	Psi
84	230	240	1P	302	m	38,23	36,46	Psi
85	240	245	1P	461	m	36,46	36,17	Psi
86	240	250	1P	823	m	36,46	34,64	Psi
87	250	255	1P	118	m	34,64	34,62	Psi
88	250	300	1P	333	m	34,64	34,42	Psi

Rec #	From Node	To Node	Size/Type	Length	Length Units	Inlet Pressure	Outlet Pressure	Pressure Units
89	355	360	2P	623	m	49,63	49,62	Psi
90	365	370	2P	1119	m	47,62	47,27	Psi
91	375	380	3P	1524	m	42,47	42,42	Psi
92	380	385	1P	1726	m	42,42	41,59	Psi
93	380	390	3P	3050	m	42,42	42,41	Psi
94	375	395	3P	715	m	42,47	41,60	Psi
95	395	400	1P	497	m	41,60	41,36	Psi
96	395	405	1P	51	m	41,60	41,58	Psi
97	395	410	3P	1258	m	41,60	40,38	Psi
98	440	445	3P	785	m	38,44	38,31	Psi
99	450	455	1P	101	m	37,05	36,99	Psi
100	450	460	1P	855	m	37,05	36,52	Psi
101	465	470	2P	120	m	38,23	38,21	Psi
102	470	475	1P	2743	m	38,21	36,53	Psi
103	440	480	3P	7390	m	38,44	37,56	Psi
104	485	480	2P	335	m	37,56	37,37	Psi
105	485	490	1P	744	m	37,37	36,91	Psi
106	485	495	1P	203	m	37,37	36,46	Psi
107	635	375	3P	3289	m	47,42	42,47	Psi
108	640	575	1P	7647	m	56,27	52,77	Psi
109	365	635	3P	138	m	47,62	47,42	Psi
110	115	65	2P	2357	m	55,55	54,68	Psi

Rec #	From Node	To Node	Size/Type	Length	Length Units	Inlet Pressure	Outlet Pressure	Pressure Units
111	565	640	1P	89	m	56,31	56,27	Psi
112	580	605	2P	479	m	60,00	59,29	Psi
113	230	220	1P	541	m	43,83	38,23	Psi
114	220	225	1P	169	m	43,83	43,75	Psi
115	330	325	3P	373	m	48,88	47,94	Psi
116	330	335	1P	119	m	48,88	47,92	Psi
117	625	340	1P	50	m	47,60	47,58	Psi
118	625	345	1P	63	m	47,60	47,57	Psi
119	445	465	3P	2619	m	38,31	38,23	Psi
120	445	450	1P	287	m	38,31	37,05	Psi
121	410	420	3P	58	m	40,38	40,33	Psi
122	420	430	3P	230	m	40,33	40,18	Psi
123	430	440	3P	3290	m	40,18	38,44	Psi
124	410	415	1P	38	m	40,38	40,36	Psi
125	420	425	1P	28	m	40,33	40,32	Psi
126	430	435	1P	57	m	40,18	40,15	Psi
127	495	500	1P	176	m	36,46	36,35	Psi
128	495	505	1P	403	m	36,46	36,20	Psi
129	725	355	3P	135	m	50,09	49,63	Psi
130	580	585	3P	1891	m	59,29	58,95	Psi

El aumento del consumo se distribuyó en las posibles zonas de expansión del municipio de Pitalito, que serían los mismos nodos donde se realizó la distribución de GN al año 2037. Con la simulación se verificó que al implementar GNS como sistema de respaldo fue una decisión viable, ya que para el año 2037 se demostró que la presión en el nodo más crítico fue de 34.42 psi siendo esta superior a la presión mínima requerida de 20 psi para un buen servicio domiciliario.

7. EVALUACION DE COSTOS DE LA PLANTA DE GAS NATURAL SINTETICO

Teniendo en cuenta el consumo máximo horario proyectado a 20 años (66, 976,000 BTU/h) y para garantizar un respaldo de 7 días en el municipio de Pitalito, se requieren 31,864 galones de GLP e instalar 5 tanques de GLP de 10,000 galones en la planta.

La planificación del presupuesto se hizo con un imprevisto del 20%, cada valor está sujeto a modificaciones según la variación del precio, complementación de algún equipo o accesorio o la falla de algún equipo en el momento de la instalación.

7.1 DISCIPLINA CIVIL

7.1.1 Adecuación y cerramiento del lote. Se realizarán las explanaciones, rellenos y las obras de estabilidad pertinentes para la conformación y nivelación adecuada del terreno. El cerramiento se construirá en mampostería (Ladrillo a la vista), malla eslabonada y concertina al contorno del lote.

7.1.2 Pavimento patio de maniobras. Se contempló la conformación y estabilidad de la estructura (Base y Sub-base) y pavimento flexible para un área total de 780 m².

Se debe realizar el estudio de suelo, el diseño de la estructura y de la mezcla asfáltica para este tipo de carga y movimiento.

7.1.3 Placa y cubierta del compresor. Para la operatividad del compresor, se construirá una placa en concreto y su cubierta metálica donde se alojará el equipo con el objetivo de garantizar su estabilidad y correcta operación.

7.1.4 Base – Apoyo tanque GLP. Se deben construir cinco (5) apoyos o bases en concreto en cada tanque de GLP que servirán como soporte y estabilidad de los mismos. Estos tanques son de 10,000 Galones de GLP de capacidad.

7.1.5 Tanque de almacenamiento de agua. Este tanque se debe construir como reservorio de agua en caso de alguna contingencia o emergencia que se llegara a presentar en la planta.

7.1.6 Obras civiles equipo GNS. Para la instalación de los equipos de GNS, se requieren construir las bases en concreto con el objetivo de garantizar su estabilidad y facilitar su operación y mantenimiento. Estas bases corresponden a los siguientes equipos:

- Bomba de Líquido
- Vaporizador
- filtro
- Mezclador
- Bomba – Red Contra Incendio

7.2 DISCIPLINA MECANICA

7.2.1 Interconexión equipos GNS. Para la operación de los equipos de GNS, se deben realizar las respectivas conexiones entre los equipos.

Los equipos a conectar en su orden son:

- Del tanque de GLP a la Bomba de líquido
- De la Bomba de líquido al Vaporizador
- Del vaporizador al filtro
- Del filtro al mezclador
- Del compresor de aire al mezclador

7.2.2 Descargue de GLP. Conexiones que se deben realizar para abastecer al tanque de GLP del combustible requerido y algunos de los equipos y accesorios que comprenden son:

- Bomba
- Actuador neumático
- Válvulas de globo
- Válvulas de bola
- Válvulas de emergencia
- Acoples
- Manómetros
- Filtro en Y

7.2.3 Red contra-incendio. Se requiere realizar la conexión desde la bomba de la red contra-incendio hasta el tanque de GLP y al monitor que se instalará como contingencia en caso de alguna eventualidad.

En la parte superior del tanque se debe construir un anillo al contorno para la instalación de los aspersores.

7.3 DISCIPLINA ELECTRICA

Se construirá una sub-estación eléctrica y sus respectivas instalaciones para la operación de los siguientes equipos y locaciones:

- Iluminación perimetral de la estación y para los equipos
- Compresor de aire
- Bomba del sistema de descargue de GLP
- Bomba de la red contra-incendio
- Bomba del líquido de GLP
- Vaporizador
- Mezclador

El equipo que mayor demanda eléctrica tendrá es el compresor de aire y la bomba de la red contra-incendio, los demás equipos son demandas menores.

	DESCRIPCIÓN	VALOR
DISCIPLINA CIVIL	Adecuación y cerramiento del lote	\$ 190,118,960
	Pavimento patio de maniobras	\$ 70,204,647
	Placa de compresor	\$ 10,106,250
	Cubierta de compresor	\$ 8,921,812
	Base tanque GLP (5 unidades)	\$ 42,251,167
	Tanque de agua (354 m ³)	\$ 163,161,514
	Obras civiles GNS	\$ 44,493,746
	SUBTOTAL	\$ 529,534,096
DISCIPLINA MECANICA	Obra mecánica equipos GNS	\$ 65,521,977
	Descargue GLP	\$ 74,800,727
	Red contraincendios	\$ 115,260,783
	SUBTOTAL	\$ 255,583,487
DISCIPLINA ELECTRICA	Subestación eléctrica	\$ 140,618,381
	Interconexión eléctrica	\$ 16,647,689
	SUBTOTAL	\$ 157,266,070
EQUIPOS	Equipos GNS(Vaporizador, mezclador, compresor, filtro, bomba, calorímetro y tea)	\$ 910,946,484
	Tanque de GLP 10,000 gl (5 unidades)	\$ 673,878,333
	Compresor aire	\$ 229,996,138
	SUBTOTAL	\$ 1,814,820,955
TOTAL		\$ 2,757,204,608

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se evaluaron cada uno de los diferentes sistemas de respaldo, teniendo en cuenta el efecto positivo que se consigue si se tiene presente la implementación de la infraestructura ya existente en el momento de considerar una alternativa, es decir, sin hacer ninguna adecuación a la red de distribución, ni un cambio a los gasodomésticos.

Se determinó que el sistema de respaldo más eficiente es el gas natural sintético, principalmente por sus propiedades fisicoquímicas tan similares al gas natural, por lo tanto, el tema operativo de intercambiar el uno con el otro no es un inconveniente, permitiendo el reemplazo parcial o total del GN.

Se diseñó y evaluó una planta para el sistema de gas natural sintético, teniendo en cuenta que todo el sistema de respaldo seleccionado depende principalmente del consumo del municipio de Pitalito en la hora crítica, ya que la capacidad de esta planta tiene que respaldar el máximo consumo que se requiere en el momento que se origina este intervalo. Si hablamos únicamente de los tanques de almacenamiento, que hacen parte del equipo de suministro de GLP al vaporizador, se concluye que el diseño y la evaluación dependen únicamente del tiempo de respaldo que esta planta debe cubrir, así que el sistema de almacenamiento se diseñó para un máximo de tiempo de 7 días. En caso de requerirse aumentar el tiempo de respaldo, el único equipo que se debe incrementar son los tanques de almacenamiento de GLP.

Se verificó en el programa GAS Works 9.0 que las redes de distribución de gas se encuentran en óptimas condiciones para trabajar eficientemente durante los próximos 20 años, de igual manera se comprobó que al implementar gas natural sintético teóricamente no hay necesidad de realizar cambios, ni excesivas inversiones a la infraestructura existente. Al hacer la simulación, las presiones en los nodos más críticos son superiores a 20 psi.

Para este proyecto teniendo en cuenta el requerimiento máximo según los cálculos y resultados mostrados anteriormente, se recomienda utilizar mínimo un vaporizador de 250 galones, capaz de suministrar la demanda máxima horaria en el municipio de Pitalito.

Se recomienda la implementación de un mezclador de 1000 gal/h tipo Venturi, debido a que es la opción más comercial y asequible en el mercado, y un compresor de 700 m³/h, ya que la presión a la que se va a mezclar el gas requiere de aire comprimido.

Se recomienda manejar un GLP rico en propano de 92-95%, para evitar la condensación de este gas en las redes del sistema de distribución y prevenir los posibles percances.

BIBLIOGRAFÍA

ANDRÈ, Oscar. Diseño y análisis económico de una instalación de Gas Licuado de Petróleo aplicada al edificio Milenio de la ciudad de Loja. Guayaquil-Ecuador. 2005, 203p. Trabajo de grado (obtención de título profesional de ingeniero mecánico). Escuela superior politécnica del litoral. Facultad de ingeniería en mecánica y ciencias de la producción.

ATKINS, P. & JONES, L. Principios de Química, Los caminos del descubrimiento. tercera edición. Argentina, editorial medica panamericana, 2006. p. 237.

ATKINS, P. & JONES, L. Química. Moléculas, Materia. Cambio. Tercera edición. Argentina, editorial omega, 1998. p. 1088.

CADENA, Ángela. UPME & MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA: Cadena del gas licuado de petróleo 2013. (Dic. 2013); p. 14-17.

CÓDIGO DE ASME PARA TUBERÍA A PRESIÓN, B.31 UN ESTÁNDAR NACIONAL ESTADOUNIDENSE ASME B 31.8: Sistemas de tubería para transporte y distribución de gas, Edición de 1999.

COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS CREG-062: Especificaciones de calidad del Gas Natural en el punto de entrada del sistema nacional de transporte de gas, 2008.

COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS CREG-048: Compresión y transporte de Gas Natural comprimido, 2004.

CUCHIMAQUE, Julián. Evaluación del efecto Joule-Thomson y el Holdup de líquido en sistema de transporte de Gas Natural. Bucaramanga, 2006, 128p. Trabajo de grado (obtención de título profesional de ingeniero de petróleos). Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías fisicoquímicas.

CUNALATA, Oscar. Implementación de un análisis de mantenimiento basado en condición de los compresores reciprocantes y de tornillo. Riobamba-Ecuador, 2009. p. 239. Trabajo de grado (obtención de título profesional de ingeniero mecánico). Escuela superior politécnica de Chimborazo. Facultad de mecánica.

D 2837: Standard Test Method for Obtaining Hydrostatic Design Basis for Thermoplastic Pipe Materials or Pressure Design Basis for Thermoplastic Pipe Products, 4 edition.

DI PELINO, A, VIANCO, G, IGLESIAS, F & KATZ P. Instituto Argentino de la Energía "General Mosconi": Informe sobre la situación actual del gas licuado de petróleo. (Nov. 2002); p. 5.

ENGINEERED CONTROLS INTERNATIONAL, INC, manual de servicio para el instalador de Gas-LP, 1962.

INTERNATIONAL STANDARD ISO 4437: Buried polyethylene (PE) pipes for the supply of gaseous fuels — Metric series — Specifications, Third edition 2007-06-15.

JIMÉNEZ, Francisco. La seguridad en la distribución y manipulación del G.L.P.

LINARES, O & WIDMAN, R. Compresores- su funcionamiento y mantenimiento. En: Widman International SRL .Boletín Numero 56.

LIZCANO, N & RODRIGUEZ, C. Estudio técnico-económico del uso de sistema de aire propanado en proyectos de gas domiciliario. Bucaramanga, 2004, 160p. Proyecto de grado (optar al título profesional de ingeniero de petróleos). Universidad industrial de Santan.

LOPEZ, C & GARCIA, P. El gas natural el recorrido de la energía. Consejería de economía e innovación tecnológica. edición 2., 2002. P.3-4. .

MENDOZA, Alejandro. Camión cisterna de GLP. Madrid España. 2013. 86p. Trabajo de grado (obtención de título profesional de ingeniero técnico de Minas). Escuela técnica superior de ingenieros de minas y energía. Facultad de ingeniería. Departamento de ingeniería química y combustibles.

NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC-3853: Equipo, accesorios, manejo y transporte de G.L.P, 1996.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1746: Plásticos. Tubos y accesorios termoplásticos para conducción de gases a presión, 2008-10-29.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 6105-2 (esta norma es una adopción idéntica (IDT) de la norma ISO 16486-2:2012): Sistemas de tuberías plásticas para el suministro de combustibles gaseosos. Sistemas de tuberías de poliamida no plastificada (PA-U) con uniones por fusión y uniones mecánicas. Parte 2: Tubos, 2015-02-18.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 3725: Ingeniería civil y arquitectura. Métodos nucleares para determinar en sitio la densidad del concreto fresco y endurecido, 1995-08-23.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 6105-1 (esta norma es una adopción idéntica (IDT) de la norma ISO 16486-1:2012): Sistemas de tuberías plásticas para el suministro de combustibles gaseosos. Sistemas de tuberías de poliamida no plastificada (PA-U) con uniones por fusión y uniones mecánicas. Parte 1: Generalidades, 2015-02-18.

PEREZ, R & MARTINEZ, M. Características y comportamiento de los hidrocarburos. Maracaibo-Venezuela, ingeniería de gas, 1995. p. 307.

PINZÓN, Carmen. Fisicoquímica con aplicaciones a sistemas hidrocarburos, editorial sur colombiana Neiva, 2014. p. 245.

TAPIAS, C & ANAYA, R. Gas Natural Licuado alternativo de abastecimiento para Colombia y estado del arte de su metrología en: MET&FLU N°03 Ciencia, tecnología e innovación Santander- Colombia. p. 25-29.

UYASABA, Luis. Estudio de factibilidad técnica y económica para el suministro de GNC domiciliario en el municipio de San Gil Santander. Bucaramanga, 2011, 155p. Trabajo de grado (obtención de título profesional de ingeniero de petróleos). Universidad industrial de Santander. Facultad de fisicoquímica.

ANEXOS

Anexo A. Leyes de los gases

1. Ley de Boyle: efecto de la presión sobre el volumen. El proceso de compresión del gas natural se puede representar a través de un proceso termodinámico; en donde el gas con una presión P_1 , se comprime y posteriormente se descarga a los niveles de presión P_2 superiores requeridos. “La ley de Boyle establece que la presión de un gas en un recipiente cerrado es inversamente proporcional al volumen del recipiente, cuando la temperatura es constante”, esto ocurre porque al aumentar el volumen, las partículas (átomos o moléculas) del gas tardan más en llegar a las paredes del recipiente y por lo tanto chocan menos veces por unidad de tiempo contra ellas, esto significa que la presión será menor ya que ésta representa la frecuencia de choques del gas contra las paredes. Cuando disminuye el volumen la distancia que tienen que recorrer las partículas es menor y por tanto se producen más choques en cada unidad de tiempo por lo tanto aumenta la presión²⁸.

La expresión matemática de esta ley está dada por:

$$P * V = K$$

(El producto de la presión por el volumen es constante a temperatura constante)

Supongamos que tenemos un cierto volumen de gas V_1 que se encuentra a una presión P_1 al comienzo del experimento. Si variamos el volumen de gas hasta un nuevo valor V_2 , entonces la presión cambiará a P_2 , y se cumplirá:

$$P_1 * V_1 = P_2 * V_2$$

2. Ley de Charles: Relaciona el volumen y la temperatura de una cierta cantidad de gas ideal, mantenida a una presión constante, mediante una constante de proporcionalidad directa. Lo que establece el libro principio de química “los caminos del descubrimiento” es que para una cierta cantidad de gas a una presión constante al aumentar la temperatura, el volumen del gas aumenta y al disminuir la temperatura, el volumen del gas disminuye.²⁹ Esto se debe a que la temperatura está directamente relacionada con la energía cinética debido al movimiento de las moléculas del gas. Así que, para cierta cantidad de gas a una presión dada, a mayor velocidad de las moléculas (temperatura), mayor volumen del gas.

²⁸ PINZÓN, Carmen. Físicoquímica con aplicaciones a sistemas hidrocarburos. Neiva, editorial sur colombiana, 2014. 245p.

²⁹ ATKINS, P. & JONES, L. Principios de Química, Los caminos del descubrimiento. Editorial médica panamericana, tercera edición. 736p.

3. Licuefacción de gases: Si se repite la compresión de un gas a temperaturas constantes pero cada vez más bajas, se observará que, por debajo de una determinada temperatura, la presión ascendente del gas se detiene a cierta altura y se mantiene allí invariable aunque continúe aumentando la compresión. Esto se debe a que el acercamiento entre las moléculas y la disminución de la energía cinética de las mismas, permite que predominen las fuerzas de Van der Waals, las que tienden a condensar el gas, es decir, a convertirlo en estado líquido. Para que sea posible este proceso de licuación de un gas por compresión, es necesario descender su temperatura por debajo de cierto nivel, conocido como temperatura crítica. Se denomina presión crítica a la presión requerida para licuar un gas a nivel de su temperatura crítica³⁰.

Ningún gas puede ser licuado sin enfriarlo primero por debajo de su temperatura crítica, y la presión necesaria para su licuación será tanto menor cuanto más lejos de ese nivel se haya descendido la temperatura del gas.

4. Proceso de expansión isoentálpica: “El proceso de expansión Joule-Thomson, o estrangulamiento, es un proceso en el cual la entalpía del fluido permanece constante, es decir, no hay transferencia de calor entre el sistema y sus alrededores y no se realiza trabajo”³¹. Cuando un gas se expande sus moléculas deben vencer las fuerzas de atracción entre ellas; la energía necesaria para esto proviene de la energía cinética de las moléculas lo que se reduce en una disminución de la velocidad. La consecuencia general de esto es que un gas real se enfría cuando se expande.

³⁰ ATKINS, P. & JONES, L. Química: Moléculas, Materia. Cambio. Barcelona, tercera edición, 1998. 878p.

³¹ CUCHIMAQUE, Julián. Evaluación del efecto Joule-Thomson y el Hold up de líquido en sistema de transporte de Gas Natural. Bucaramanga, 2006. 128p.

Anexo B. Propiedades de los combustibles

1. Gas Natural

El gas natural recibe este nombre porque se extrae directamente de la naturaleza y llega a su punto de consumo sin haber experimentado prácticamente ninguna transformación química.

El gas natural es un compuesto no tóxico, incoloro e inodoro, constituido por una mezcla de hidrocarburos en la que su principal componente es el metano (CH_4), una molécula sencilla formada por un átomo de carbono y cuatro átomos de hidrógeno. Su composición química, no obstante, varía sensiblemente según su procedencia, ya que acostumbra a ir asociada a otras moléculas o elementos como el ácido sulfhídrico (H_2S), el anhídrido carbónico (CO_2), el nitrógeno (N_2) o el helio (He) que se extrae cuando el gas natural se destina a usos industriales y domésticos.³²

El gas natural se puede clasificar como³³:

- I. Gas dulce: es aquel que contiene cantidades de sulfuro de hidrógeno (H_2S) menores a 4 ppm.
- II. Gas agrio: es aquel que contiene cantidades apreciables de sulfuro de hidrógeno (H_2S), dióxido de carbono (CO_2) y otros componentes ácidos razón por la cual se vuelve corrosivo en presencia de agua libre.
- III. Gas rico (húmedo): es aquel del cual se pueden obtener cantidades apreciables de hidrocarburos líquidos, C_3^+ de aproximadamente mayor a 3,0 GPM (galones por 1000 pies cúbicos en condiciones normales) ó de vapor de agua que pueda contener el gas.
- IV. Gas pobre (seco): es un gas que prácticamente está formado por metano (C_1) y etano (C_2).

³² *Ibíd.*, p.70

³³ PEREZ, R & MARTINEZ, M. Características y comportamiento de los hidrocarburos. Maracaibo-Venezuela, ingeniería de gas, 1995. 307p.

Tabla 24. Especificaciones de la calidad del gas natural en Colombia.

Especificaciones	Sistema Internacional	Sistema Ingles
Máximo poder calorífico bruto	42.8 MJ/m ³	1.150 BTU/ft ³
Mínimo poder calorífico bruto	35.4 MJ/m ³	950 BTU/ft ³
Contenido de líquido	Libre de líquidos	Libre de líquidos
Contenido total de H ₂ S máximo	6 mg/m ³	0,25 grano/100PCS
Contenido total de azufre máximo	23 mg/m ³	1.0 grano/100PCS
Contenido de CO ₂ , máximo en % volumen	2%	2%
Contenido de N ₂ , máximo en % volumen	3	3
Contenido de inertes máximo en % volumen	5%	5%
Contenido de oxígeno máximo en % volumen	0.1%	0.1%
Contenido máximo de vapor de agua	97 mg/m ³	6.0 Lb/MPCS
Temperatura de entrega máximo	49 °C	120 °F
Temperatura de entrega mínimo	7.2 °C	45 °F
Contenido máximo de polvos y material en suspensión	1.6 mg/m ³	0.7 grano/1000pc

Fuente. Comisión de regulación de energía y gas (CREG-062).

➤ Equivalencias del gas natural.

Tabla 25. Equivalencias del gas natural.

$\frac{\text{m}^3 \text{ de Gas Natural}}{2.6} = \text{m}^3 \text{ de gas de GLP vaporizado}$
$\frac{\text{f}^3 \text{ de Gas Natural}}{2.6} = \text{f}^3 \text{ de gas de GLP vaporizado}$
$1 \text{ m}^3 \text{ de Gas Natural} = 35,314.7 \text{ BTU/m}^3$
$1 \text{ m}^3 \text{ de Gas Natural} = 0.62 \text{ m}^3 \text{ GNS}$
$1 \text{ f}^3 \text{ de Gas Natural} = 1,000 \text{ BTU/m}^3$

Fuente. Guía de equivalencia energética y volumétrica de combustible, PROMIGAS.

➤ Propiedades del gas natural. El gas natural es una mezcla de hidrocarburos livianos, donde el principal componente es el metano CH₄, se analiza separándolo en cada uno de sus componentes e identificando cada uno por sus propiedades. Las propiedades básicas de los gases aplicadas al comportamiento de los gases son³⁴:

³⁴ LIZCANO, N & CALIXTO, C, op. Cit, p.3.

- Los gases son afectados por los cambios de temperatura y presión debido a su facilidad de expandirse y comprimirse con facilidad.
- Si no están confinados, los gases se expanden al calentarse y se contraen al enfriarse.
- Los gases puros contienen un solo componente gaseoso, son tratados generalmente como gases ideales a baja presión.

Tabla 26. Propiedades físicas y químicas del Gas Natural.

Fórmula molecular	CH ₄
Peso molecular mezcla	18,2
Temperatura de ebullición a 1 atmósfera	-160,0 °C
Temperatura de fusión	-180,0 °C
Densidad de los vapores (Aire = 1) a 15,5 °C	0,61
Densidad del líquido (Agua = 1) a 0°/4 °C	0,554
Relación de Expansión	1 litro de líquido se convierte en 600 litros de gas
Solubilidad en agua a 20 °C	Ligeramente soluble (de 0,1 a 1,0%)
Apariencia y color	Incoloro y con ligero olor a huevos podridos.

Fuente. Gas Natural distribución, Barcelona.

2. Gas licuado del petróleo (GLP)

Los gases licuados del petróleo (G.L.P.) reciben este nombre debido a que son un subproducto de la refinación del petróleo y de plantas de Gas Natural. En dicha operación se van separando según su densidad y punto de ebullición. Entre los subproductos obtenidos están el Butano y el Propano.

La denominación de Gases Licuados del Petróleo, se aplica a un pequeño número de hidrocarburos derivados del petróleo, que a temperatura ambiente y a la presión atmosférica se encuentran en estado gaseoso y tienen la propiedad de pasar al estado líquido al someterlos a una presión relativamente baja o refrigeración.

➤ Equivalencias del GLP

Tabla 27. Equivalencias del GLP.

m³ GLP vaporizado * 2.6 = m³ de Gas Natural
f³ GLP vaporizado * 2.6 = f³ de Gas Natural
1 galon de GLP = 92000 BTU/gal
1 galon de GLP = 0,97 m³ Gas GLP

Fuente. Guía de equivalencia y volumétricas de combustibles, PROMIGAS.

- Tipos de GLP comerciales: Existen dos tipos de GLP comercial, comúnmente llamados Propano (propano comercial) y Butano (butano comercial). El propano comercial es una mezcla de propano, propileno y otros compuestos minoritarios (etano, butano, etc.). Puede tener hasta un máximo de 30% de butano. El butano comercial es una mezcla de butano, butilenos y otros compuestos minoritarios (propano, pentanos, etc.). Puede tener un máximo de 50% de propano.³⁵
- Características generales del GLP.

Estado del GLP: A presión atmosférica y temperatura ambiente (1 atmósfera y 20 °C), el Gas Licuado de Petróleo se encuentra en estado gaseoso. Para obtener líquido a presión atmosférica, la temperatura del butano debe ser inferior a 31 °F (−0.6 °C) y la del propano a −44 °F (−42.2 °C). En cambio, para obtener líquido a temperatura ambiente, se debe someter al GLP a presión. Para el butano, la presión debe ser de más de 2 atmósferas. Para el propano, la presión debe ser de más de 8 atmósferas³⁶. Un litro de líquido se transforma en 272,6 litros de gas para el propano y 237,8 litros de gas para el butano.

Efecto de la temperatura: Al aumentar la temperatura del GLP que se encuentra dentro de un tanque cerrado, aumenta su presión. Esto es debido a que aumenta la presión de vapor y, además, el líquido se expande. Por lo tanto, nunca se debe calentar un recipiente que contiene GLP y tampoco se debe llenar totalmente un recipiente con GLP líquido, sino que se debe dejar un espacio de por lo menos el 15% del volumen total del recipiente para la dilatación del líquido³⁷.

Densidad y viscosidad: La densidad y presión de vapor del GLP varían según la composición. La densidad y peso específico son mayores que el aire, por lo que el GLP resulta más pesado que éste. Por lo tanto una nube de GLP tenderá a permanecer a nivel del suelo. El GLP líquido es más liviano y menos viscoso que el agua, por lo que hay que tener cuidado ya que puede pasar a través de poros donde ni el agua, gasoil o kerosene pueden hacerlo³⁸.

Poder calorífico: Para el caso del butano comercial, el poder calorífico inferior (P.C.I.) es, 10938 Kcal/Kg y el poder calorífico superior (P.C.S.) es, 11867 Kcal/Kg.

³⁵ DI PELINO, A, VIANCO, G, IGLESIAS, F & KATZ P. Instituto Argentino de la Energía "General Mosconi": Informe sobre la situación actual del gas licuado de petróleo. 2002. 37p.

³⁶ *Ibíd.*, p.73.

³⁷ *Ibíd.*, p.73.

³⁸ NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC-3853: Equipo, accesorios, manejo y transporte de G.L.P. 1996. p. 3.

De igual forma, para el caso del propano comercial, el poder calorífico inferior (*P.C.I.*) es, 11082 *Kcal/Kg* y el poder calorífico superior (*P.C.S.*) es, 12052 *Kcal/Kg*.³⁹

3. GAS NATURAL SINTETICO (GNS)

El Propano-Aire, también llamado GLP-AIRE o GNS, es esencialmente gas natural sintético que se forma mezclando vapor de propano o GLP con aire. Una vez mezclado, forma una mezcla homogénea que puede utilizarse como sustituto directo del gas natural en aplicaciones de combustión.

➤ Parámetros de combustión del GNS.

Los parámetros de combustión que afectan la intercambiabilidad entre dos gases incluyen:

- Gravedad específica.
- Poder calorífico.
- Índice de Wobbe.
- Propagación de la flama y color.
- Punto de condensación de hidrocarburo.

Gravedad específica: La gravedad específica de un gas es su densidad relativa al aire. La gravedad específica del aire es igual a 1.0; la del gas natural es típicamente 0.60, el vapor de propano y butano tiene gravedades específicas de 1.53 y 2.0 respectivamente. Consecuentemente el GNS tiene una gravedad específica mayor a 1.0.

La diferencia en poderes calóricos de un combustible original, contra un combustible de reemplazo resulta primeramente de las diferencias en sus gravedades específicas y al final por su química. Mientras más alta es su gravedad específica más pesado es el gas. Consecuentemente las aperturas fijas, tales como orificios de quemador, reguladores y ciertos tipos de medidores de flujo permiten menos flujo de un gas pesado que de uno más ligero. La física establece que el flujo de gas a través de un orificio es directamente proporcional a la raíz cuadrada de su gravedad específica, por lo tanto, un gas más pesado (Ej. La mezcla de GNS) debe tener un poder calórico más alto para proveer la misma energía a un quemador que un gas más ligero.

Puesto de una manera sencilla el gas más pesado fluye más lentamente a través del orificio, por lo tanto, cada unidad de volumen debe tener un valor calorífico

³⁹ JIMÉNEZ, Francisco. La seguridad en la distribución y manipulación del G.L.P. 23p.

superior para compensar el flujo reducido. De cualquier forma, al otro lado del orificio los gases con valores Wobbe iguales proveerán igual energía neta.

Poder calorífico: Las tablas de datos típicamente consideran poderes calóricos ya sea como poder calorífico bruto superior o como poder calorífico neto inferior. La diferencia entre ambos es el calor latente de condensación del vapor de agua producido durante la combustión.

El poder calorífico bruto asume que toda el agua producida durante la combustión es condensada. En otras palabras el calor latente de condensación es utilizado. El poder calorífico neto asume que el agua se va con los productos de la combustión sin ser condensada.

Índice wobbe: El índice Wobbe es una propiedad de un gas individual que permite igualar un gas original (Ej. Gas natural) a un gas de reemplazo (Ej. Mezcla GNS). Si dos gases diferentes poseen un índice Wobbe idéntico, ellos producirán una cantidad igual de calor en cualquier quemador. El índice Wobbe es un factor crítico cuando se considera la información para una planta de GNS. Nuestra definición de índice Wobbe (WI) es

$$I.W. = \frac{\text{Poder calorífico (PC)}}{\sqrt{GE}}$$

El IW debe ser igualado por el del gas de reemplazo y ambos deben haber sido calculados de la misma forma.

Como la fórmula anterior indica, el índice Wobbe es una función de la calidad del gas. Varía en relación a la proporción de la mezcla del GNS y por lo tanto a la composición final de los hidrocarburos del GLP. Los gases hidrocarburos con un índice Wobbe idéntico generan igual volumen de calor y de productos de la combustión, además ellos requieren la misma cantidad de aire de combustión. Si un quemador es ajustado para un poder calorífico específico o índice Wobbe, y es provisto con un gas de reemplazo con un índice Wobbe inferior, se notarán características de combustión menores. Las características de la flama en el quemador dictan los límites de la aceptación de una composición de combustible, substituyendo un gas por otro de un índice Wobbe superior típicamente reduce el rango de aceptación.

Propagación y color de la flama: Las velocidades de propagación de la flama del GLP y del butano casi igualan a las del metano, por lo tanto, no ocurren diferencias significativas de la elevación de la flama entre el gas natural y el GNS. En términos de color el GNS produce una flama más amarilla debido al número de átomos de carbono en la molécula del GLP o butano, en relación al gas natural. Por ejemplo, el GLP tiene aproximadamente 20% más carbón que el metano y el butano tiene

aproximadamente 24% más. Las partes amarillas de la flama no son de importancia y no afectan la operación del quemador ni su eficiencia.

Punto de condensación del hidrocarburo: El punto de condensación del hidrocarburo es la temperatura a la cual una composición específica de GLP se condensa de vapor a la fase líquida. De cualquier forma el punto de condensación es importante porque la recondensación del vapor de GLP en las líneas de distribución puede crear situaciones potencialmente peligrosas. La dilución del vapor de GLP con aire, baja significativamente el punto de condensación, haciendo las mezclas de GNS ventajosas para muchas aplicaciones.

➤ Compatibilidad y presión de operación. Para determinar la presión de operación del sistema se toma como referencia la siguiente información:

Tabla 28. Propiedades de los gases.

Combustible	Poder calorífico BTU/pc	Gravedad específica	Índice de Wobbe BTU/pc
Gas Natural	1,000	0.60	1,291
Propano	2,516	1.53	2,034
Aire	0	1	0
Gas Natural Sintético	1,477	1.307	1,291

Fuente. Alcanos de Colombia.

Para lograr igualar el Índice de Wobbe del gas natural con propano puro y aire, se necesita tener una mezcla aproximadamente de 55% propano y 40% aire.

El GNS tiene una gravedad específica mayor que la del gas natural, al cual reemplaza. Consecuentemente fluye menos GNS a través de tuberías u orificios en comparación con el GN, dadas las mismas caídas de presión. La reducción del flujo volumétrico se compensa incrementando el valor calorífico de la mezcla de gases (GLP y aire). En otras palabras, ya que menos gas (GNS) fluye a través de la tubería, el gas debe contener un poder calórico mayor.

Lo que se debe lograr es un GNS con el mismo valor Wobbe que el gas natural, al cual simula.

➤ Combustión del propano con aire.

Principios básicos de la combustión. La combustión o quemado, es una combinación de Oxígeno con un combustible, resultando una liberación de calor (reacción de oxidación exotérmico). El oxígeno suministrado para la combustión proviene del aire, a causa de que el aire contiene una gran proporción de nitrógeno, el volumen requerido de aire es más grande que el volumen requerido de oxígeno puro. La composición del aire normal puede considerarse aproximadamente como

78% de Nitrógeno, 21% de Oxígeno y 1% de Argón Como se muestra en la tabla 29. El nitrógeno del aire no toma parte en la reacción de combustión, y se produce exactamente la misma cantidad suministrada en el proceso⁴⁰.

Tabla 29. Composición del Aire.

Componente		Temperatura de bulbo seco (db) y Humedad relativa (rb)					
		60°F db	60°F db	60°F db	90°F db	90°F db	90°F db
		0% rb	80% rb	100% rb	20% rb	80% rb	100% rb
Oxígeno	% Vol.	20.99	20.70	20.62	20.79	20.19	19.99
	% peso	23.20	23.00	22.94	23.06	22.63	22.50
Nitrógeno	% Vol.	78.03	76.94	76.67	77.29	75.06	74.32
	% peso	75.46	74.86	74.63	75.01	73.61	73.18
Argón	% Vol.	0.94	0.93	0.92	0.93	0.90	0.90
	% peso	1.30	1.29	1.29	1.29	1.27	1.26
Otros*	% Vol.	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
	% peso	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Agua	% Vol.	0.00	1.40	1.75	0.95	3.81	4.75
	% peso	0.00	0.87	1.10	0.59	2.45	3.02
Peso moleculares equivalentes		28.96	28.81	28.77	28.86	28.55	28.45
Densidad lb/ft ³		0.07532	0.07592	0.07581	0.07189	0.07111	0.07086
Densidad kg/m ³		1.222	1.216	1.214	1.152	1.139	1.135
Densidad*CO ₂ (acerca de 0.03%), H ₂ (acerca del de 0.01%), Neón. Helio, Criptón y Xenón en pequeñas proporciones.							

Fuente. Proyecto de grado, Estudio Técnico - Económico del Uso de Sistemas de Aire Propanado en Proyectos de Gas Domiciliario.

Proceso de Combustión. La combustión es un conjunto de reacciones de oxidación con desprendimiento de calor, que se producen entre dos elementos: el COMBUSTIBLE, que puede ser un sólido (Carbón, Madera, etc.), un líquido (Gasóleo, Fuel-Oil, etc.) o un gas (Natural, Propano) y el COMBURENTE, Oxígeno. La combustión se distingue de otros procesos de oxidación lenta, por ser un proceso de oxidación rápida y con presencia de llama; a su vez también se diferencia de otros procesos de oxidación muy rápida (detonaciones, deflagraciones y explosiones) por dar como resultado una llama estable. Para que la combustión tenga lugar han de coexistir tres factores⁴¹:

- Comburente.
- Combustible.
- Energía de activación.

⁴⁰ LIZCANO, N & CALIXTO, C, op. cit, p.3.

⁴¹ Ibíd., p.77.

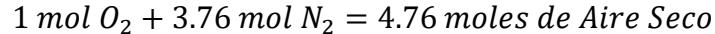
Si falta alguno de estos tres factores, la combustión no puede llevarse a cabo. El comburente universal es el oxígeno, por lo que en la práctica se utiliza el aire como comburente (únicamente en casos especiales se utilizan atmósferas enriquecidas en oxígeno e incluso oxígeno puro como en la soldadura). La energía de activación es el elemento desencadenante de la reacción de combustión; en los quemadores habitualmente suele obtenerse mediante una chispa eléctrica entre dos electrodos, en las calderas individuales de gas se obtiene por llama piloto, tren de chispas, etc⁴².

La combustión puede ser:

- Completa: reactivos transformados en productos al 100%.
- Incompleta: todos los reactivos no son transformados en productos.

Para que exista un óptimo rendimiento en el caso del gas natural sintético o cualquier otro combustible gaseoso es indispensable garantizar una combustión completa.

Para fines de cálculo, generalmente se desprecia el argón y se supone la composición del aire: como 79% de nitrógeno y por un 21% de oxígeno. Por consiguiente la relación que hay sería, $79/21 = 3.76$ moles de nitrógeno por cada mol de oxígeno presente en el aire.



Como:

$$\frac{m_i}{m} = \frac{M_i n_i}{M n} \therefore \frac{n_i}{n} = \frac{V_i}{V}$$

$$M = X_{N_2} * M_{N_2} + X_{O_2} * M_{O_2}$$

$$M = (0.79) * (28.02 \text{ Kg/Kgmol}) + (0.21) * (32 \text{ Kg/Kgmol}) = 28.86 \text{ Kg/Kgmol}$$

$$M_{\text{aire}} = 28.86 \text{ Kg/Kgmol}$$

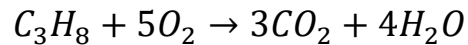
$$\text{fracción masa de Oxígeno con el aire: } \frac{M_{O_2} \left| \frac{\text{Kg}}{\text{Kgmol}} \right| * X_{O_2}}{M \left| \frac{\text{Kg}}{\text{Kgmol}} \right|} = \frac{32 * 0.21}{28.86} = 0.233$$

$$\text{fracción masa del Nitrogeno en el Aire: } \frac{28.02 * 0.79}{28.86} = 0.767$$

⁴² Ibíd., p.77.

Por lo tanto el análisis gravimétrico para el aire aproximadamente es: 23.3% de oxígeno (O₂) y 76.7% de nitrógeno (N₂), es decir que por cada libra de oxígeno hay 76.7/23.3 = 3.3 lb de N₂.

➤ **Combustión del propano.** La reacción química implica una ecuación química. La reacción del propano es representada mediante la siguiente ecuación:



Dónde 1 mol de propano reacciona con 5 moles de oxígeno y se producen 3 moles de gas carbónico y 4 moles de agua.

➤ **Combustión completa o perfecta del propano.** Es obtenida solo por el mezclado y quemado exacto, en las proporciones correctas de combustible (propano) y oxígeno. Si también mucho oxígeno (exceso de aire) es suministrado, decimos que el mezclado se está “oxidando”, el exceso de aire no juega un papel en el proceso, por ejemplo, si cuatro átomos de oxígeno (en lugar de dos) fueron mezclados con un átomo de carbono, dos átomos de oxígeno deben salir con los productos. Si también, mucho combustible (o muy poco oxígeno) es suministrado, decimos que la mezcla es rica y se está “reduciendo”. Esto es usualmente llamado combustión incompleta, por ejemplo, si mezclamos dos átomos de carbono (en lugar de uno) con dos átomos de oxígeno, el átomo de carbono puede distribuirse con el oxígeno disponible, pero ninguno puede llegar a ser dióxido de carbono, en cambio ellos pueden producir monóxido de carbono (CO). La tabla 30 muestra las proporciones apropiadas para combustiones completas o perfectas para el propano y varios combustibles típicos.⁴³

Tabla 30. Relaciones Aire - Combustible para combustiones completas.

Combustible	$\frac{Vol O_2}{Vol Comb}$	$\frac{Vol Aire}{Vol Comb}$	$\frac{Peso O_2}{Peso Comb}$	$\frac{Peso Aire}{Peso Comb}$
Benceno C₆H₆	7.50	35.7	3.08	13.3
Butano C₄H₁₀	6.50	31.0	3.59	15.5
CO	0.50	2.38	0.571	2.46
Etano C₂H₆	3.50	16.7	3.73	16.1
Hidrogeno H₂	0.50	2.38	8.00	34.5
Metano CH₄	2.00	9.53	4.00	17.2
Octano C₈H₁₈	-	-	3.51	15.1
Propano C₃H₈	5.00	23.8	3.64	15.7

Fuente. Proyecto de grado, Estudio Técnico - Económico del Uso de Sistemas de Aire Propanado en Proyectos de Gas Domiciliario.

⁴³ *Ibíd.*, p.77.

“Debido a intereses económicos y aprovechamiento máximo del propano en procesos industriales y domiciliarios se utiliza la mayor cantidad de energía de la combustión del propano cuando éste es quemado en una combustión completa o perfecta, una combustión incompleta nos reduciría la efectividad del proceso donde estamos utilizando dicha energía”⁴⁴.

Requerimientos para una combustión completa. Una buena combustión de propano con aire para su óptimo aprovechamiento requiere:

- a) Una apropiada proporción estequiométrica de GLP-AIRE: el GLP es llevado a estado gaseoso y luego debe ser mezclado con el aire para ser quemado.
- b) Un completo mezclado de GLP con aire: Una buena mezcla del combustible con el aire es importante porque la mezcla debe ser uniforme por todas partes (cada partícula de combustible debe estar en contacto con una partícula de aire).
- c) Una constante ignición de la mezcla: proceso de encendido de una sustancia combustible. Se produce cuando la temperatura de la mezcla de propano y aire se eleva hasta el punto en que sus moléculas reaccionan espontáneamente con el oxígeno, y la sustancia empieza a arder.

Para obtener una correcta combustión debe lograrse una buena mezcla del combustible con el aire; en este sentido los combustibles gaseosos presentan mayor facilidad de mezcla que los líquidos y éstos a su vez más que los sólidos; por este motivo pueden obtenerse menores excesos de aire con los combustibles gaseosos.

Al propano o al GLP, se le añade aire antes de la combustión para proporcionar una cantidad suficiente de oxígeno. La mezcla de aire y combustible surge del quemador a una velocidad mayor que la de la propagación de la llama, evitando así el retroceso de ésta al quemador, pero permitiendo el mantenimiento de la llama en éste.

La combustión estequiométrica o perfecta del propano prácticamente es irrealizable, lo que obliga a operar con excesos de aire con el fin de lograr combustiones completas. El calor producido en la combustión completa es independiente del exceso de aire, pero el aprovechamiento de este calor es tanto menor cuanto mayor es el exceso de aire con el que se trabaja, ya que una parte del calor de la combustión se utiliza en calentar a los vapores y éstos aumentan con el exceso de aire; por todo ello, en la práctica se buscan combustiones completas con los

⁴⁴ *Ibíd.*, p.77.

menores excesos de aire posibles; esto se consigue con una adecuada cantidad precisa de los elementos que intervienen en la combustión⁴⁵.

➤ Relación oxígeno-combustible del gas natural sintético. El aire teórico o aire estequiométrico es la mínima cantidad de aire para producir una combustión completa. La relación de oxígeno combustible (AC), se usa para el caso en que se necesite saber la proporción de combustible con respecto al aire.

$$\text{BASE MOLAR:} \quad \overline{AC} = \frac{\text{moles de aire}}{\text{moles de combustible}}$$

$$\text{EN BASE MASICA:} \quad AC = \frac{\text{masa de aire}}{\text{masa de combustible}}$$

- Relación Aire – Combustible (AC):

$$AC = \frac{\text{masa de aire}}{\text{masa de combustible}} = \frac{\text{moles de aire} * M_{\text{aire}}}{\text{moles de combustible} * M_{\text{comb.}}}$$

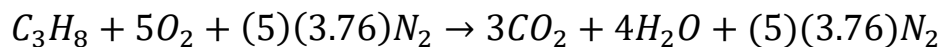
$$AC = \frac{\text{moles de aire}}{\text{moles de combustible}} \left(\frac{M_{\text{aire}}}{M_{\text{comb.}}} \right)$$

$$AC = \overline{AC} \left(\frac{M_{\text{aire}}}{M_{\text{comb.}}} \right)$$

$AC =$ cociente Aire – Combustible base masica.

$\overline{AC} =$ cociente Aire – Combustible base molar.

Esta cantidad de aire tiene la cantidad exacta de oxígeno para producir la combustión completa o estequiométrica del propano (quemando todo el combustible con el 100% del aire teórico). Para el gas natural sintético se tiene entonces que:



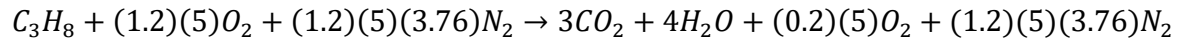
Y la cantidad de aire necesario es de (5)*(4.76) moles de aire para quemar completamente 1 (una) mol de C₃H₈.

$$\text{Base molar:} \quad AC_{C_3H_8} = \frac{5*4.76}{1} = 23.8 \frac{\text{moles de aire}}{\text{moles de propano}}$$

⁴⁵ *Ibíd.*, p.77.

Que es la cantidad exacta de mezcla del aire con el propano para crear el combustible sustituto (GNS) del Gas Natural.

Si la cantidad de aire teórico es del 120% la relación aire-combustible para el gas natural sintético sería entonces.



Base molar: $AC_{C_3H_8} = \frac{1.2 \cdot 5 \cdot 4.76}{1} = 28.56 \frac{\text{moles de aire}}{\text{moles de propano}}$

Base másica: $\frac{28.56 \left| \frac{\text{moles de aire}}{\text{moles de propano}} \right| \cdot 28.9 \left| \frac{\text{lbs aire}}{\text{moles de aire}} \right|}{44.1 \left| \frac{\text{lbs propano}}{\text{moles de propano}} \right|} = 18.72 \frac{\text{lbs de aire}}{\text{lbs de propano}}$

Anexo C. Accesorios y características del camión cisterna de GLP⁴⁶

1. Depósito: El depósito se construye a partir de virolas cilíndricas y dos fondos (cascos). Las virolas cilíndricas y los cascos están unidos mediante soldaduras. El depósito puede ser de forma recta o en cuello de cisne.

Los fondos son más abombados si el depósito está diseñado para resistir presiones interiores altas. Los depósitos de transporte líquido, acostumbran a tener los fondos más planos y en el transporte de gases licuados a presión más semiesféricos. Para dar mayor resistencia, los depósitos llevan unos aros exteriores soldados, es muy habitual ver éstos, en las cisternas de líquido.

Los fondos abombados del depósito serán toroidales debido a que estos ocupan menos espacio, lo que hace que disminuya la longitud de la cisterna.

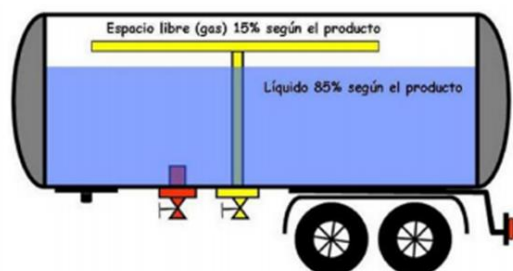
Ilustración 28. Representación de un depósito y su forma en cuello de cisne.



Fuente. Camión cisterna de GLP.

Todos los tanques de los camiones-tanque deberán ser diseñados, fabricados y probados de acuerdo con el código ASME, Sección VIII, División I, además, se considera que el tanque por norma de seguridad solo debe llenarse hasta el 85% de su capacidad total, para permitir la expansión del gas en caso de aumento de temperatura en el interior del depósito y que la mínima cantidad de GLP aprovechando al máximo la capacidad del tanque sea al 20%.

Ilustración 29. Cisterna de GLP, parte líquida - parte gaseosa.

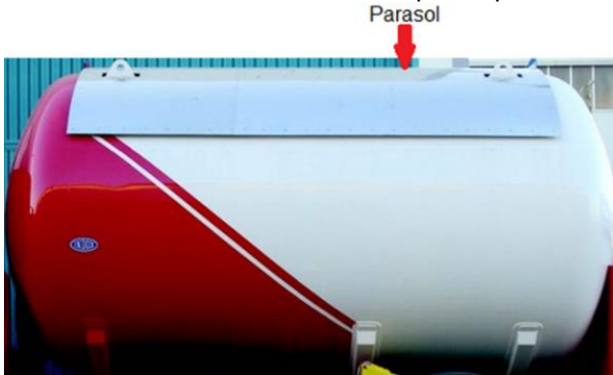


Fuente. Camión cisterna de GLP.

⁴⁶ MENDOZA, Alejandro. Camión cisterna de GLP. 2013. 86p.

2. Parasol: Los tanques de cisternas de GLP se caracterizan por llevar el parasol sobre el depósito. Es una plancha curvada puesta longitudinalmente a unos 4 cm encima, evitando que la radiación solar incida directamente y caliente el producto, evitando el aumento de la presión interior.

Ilustración 30. Parasol sobre un depósito para GLP.



Fuente. INDOX.

3. Puerta de acceso: Tiene solo una puerta de acceso para su revisión interna, solo se puede quitar en talleres especializados. Puede estar situada en la parte delantera, trasera o ventral.

Ilustración 31. Puerta de acceso.



Fuente. INDOX

4. Conducciones de carga y descarga: tiene dos tubos ubicados en la parte baja de la cisterna, uno es la entrada/salida de la fase líquida y otro entrada/salida de la fase gas. El tubo de fase líquida, en la gran mayoría de cisternas es de sección mayor que el de fase gas y pintado en color rojo. La fase gas suele estar pintada de color amarillo.

Ilustración 32. Conducción de carga y descarga.



Fuente. INDOX.

5. Armario de válvulas de carga y descarga: Las válvulas de fondo, una para cada salida/entrada, se accionan mediante presión hidráulica, neumática o manualmente. Algunas cisternas llevan incorporada (en el armario de las válvulas de carga/descarga) una bomba de trasvase.

Ilustración 33. Armario de válvulas.



Fuente. INDOX.

6. Válvula de fondo (Fischer o Rego):

Ilustración 34. Tubos y conectores de carga/descarga, válvula fondo.



Fuente. <https://es.slideshare.net/b22tf1/presentacion-autotanques>.

Las válvulas de fondo de accionamiento manual con palanca (es la más utilizada) habitualmente llevan una cuerda atada al final de la palanca. Durante la carga/descarga la palanca que acciona la válvula de fondo está atada a un punto fijo, fuera de la cisterna. Si durante las maniobras de carga/descarga el vehículo se desplazara por cualquier causa (fallo de frenos, mal calzado, etc.) la cuerda al ser el punto más débil se rompería, cerrando (por acción del muelle) la válvula de fondo. Igualmente si se produjera un incendio durante dichas maniobras, las llamas quemarían la cuerda cerrándose la válvula.

Las válvulas de fondo de las cisternas de GLP de marca fischer o rego, se accionan manualmente (con palanca), hidráulica o neumáticamente (abren la palanca mediante un cilindro).

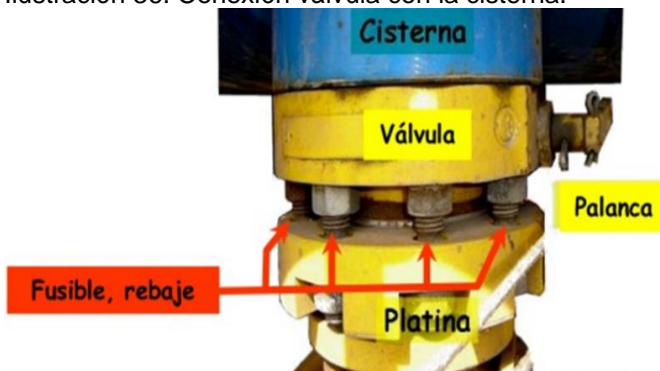
Ilustración 35. Válvula de fondo.



Fuente. <https://es.slideshare.net/b22tf1/presentacion-autotanques>

En la unión de válvula de fondo con la platina del colector de salida/entrada, los tornillos (espárragos) que sujetan dicha unión, tienen un punto débil (rebaje, fusible), lugar donde, en caso de impacto, romperían quedando la válvula de fondo sujeta a la cisterna, evitando una posible fuga. Las válvulas de fondo (Fischer o Rego), actúan además, como válvulas de exceso de flujo; si se rompiera un manguete en las operaciones de carga/descarga (por descompensaciones de presión) se cerraría la válvula.

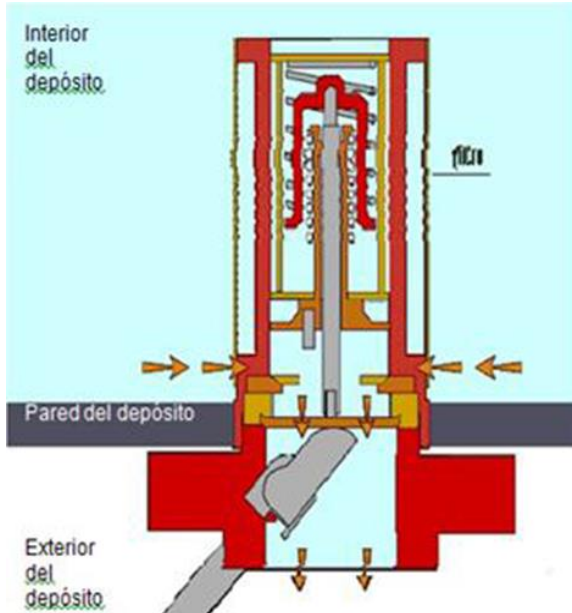
Ilustración 36. Conexión válvula con la cisterna.



Fuente. <https://es.slideshare.net/b22tf1/presentacion-autotanques>

La válvula de fondo tiene un cuerpo superior en el interior de la cisterna (la válvula propiamente dicha) y un cuerpo inferior al exterior de la cisterna, lugar de acople de la conexión del colector de carga/descarga.

Ilustración 37. Introducción de la válvula.



Fuente. <https://es.slideshare.net/b22tf1/presentacion-autotanques>.

7. Válvulas de corte: Las válvulas de corte de las cisternas de GLP, pueden ser de palanca o de volante, las dos actúan de la misma manera.

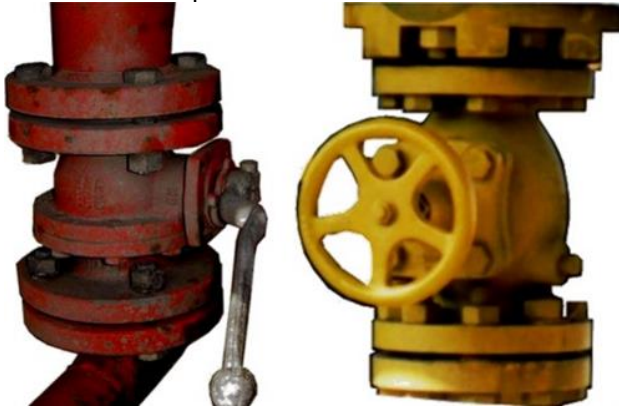
Ilustración 38. Válvula de corte.



Fuente. <https://es.slideshare.net/b22tf1/presentacion-autotanques>

En la ilustración 40, se observan los dos tipos de válvula de corte, la de color rojo representa la de palanca y de volante color amarillo.

Ilustración 39. Tipos de válvula de corte.



Fuente. <https://es.slideshare.net/b22tf1/presentacion-autotanques>.

8. Galga rotativa o indicador de nivel: La galga rotativa es un instrumento que permite conocer el nivel de líquido contenido en el depósito. La galga rotativa es característica de las cisternas de GLP (butano, propano, butadieno, amoniaco, etc.) y está situada en una concavidad en el exterior del depósito, en un lateral o en el fondo posterior. Está compuesta de una palanca giratoria, un purgador colocado en el eje de la palanca y un disco indicador del porcentaje %. En el centro de la palanca conectado interiormente hay un tubo de pequeño diámetro en forma de codo, que gira cuando se hace girar la palanca.

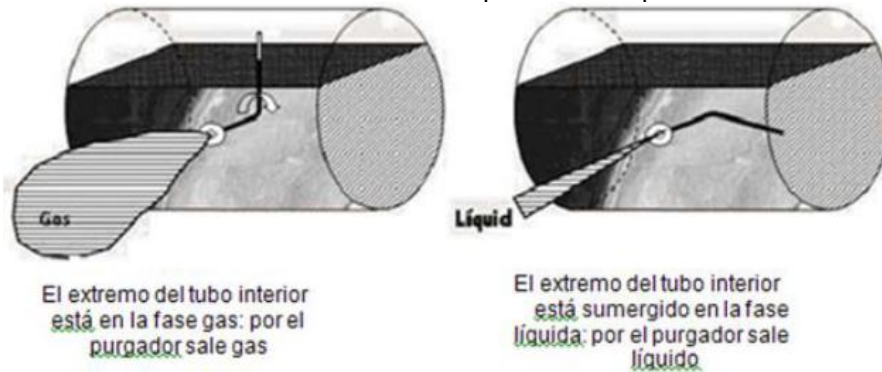
Ilustración 40. Galga rotativa.



Fuente. Group Engineering Limited (Lite).

Para comprobar el nivel del líquido contenido en el depósito, se gira la palanca hasta situar el tubo interior en posición vertical, se abre el tapón del purgador y saldrá gas. Si continuamos girando la palanca, seguirá saliendo gas hasta el momento en que empezará a salir líquido, que será cuando el extremo del tubo llegue a la superficie del líquido (fase líquida). En este momento, si se consulta la lectura de la palanca sobre el disco indicador, se sabrá el volumen del líquido respecto al volumen total del depósito (porcentaje %). Esta lectura solo será real si la cisterna está en posición horizontal y de rodaje.

Ilustración 41. Lectura del volumen de líquido en el depósito.



Fuente. <https://es.slideshare.net/b22tf1/presentacion-autotanques>

9. Indicador de nivel de máximo llenado: Con este indicador se evita el sobrellene. Está compuesto por una válvula de accionamiento manual (volante) que se encuentra instalada en el orificio de la cisterna destinado a este fin y por cuya parte interior se prolonga por medio de un tubo sonda que desciende hasta el nivel que como máximo debe alcanzar el líquido en el interior de la cisterna, por motivos de seguridad.

10. Acoplamiento weco: Cada una de las válvulas exteriores de trasiego, lleva acoplado un elemento que sirve para facilitar una conexión rápida y segura a la instalación fija.

- Racor macho: consiste en una pieza de acero que por uno de sus extremos va unido a la referida válvula y por el otro termina en un alojamiento troncocónico y dispone de una rosca externa.
- Racor hembra: elemento compuesto por una pieza en forma de segmento esférico y otra que pueda girar, dispone de una rosca interior y de dos orejetas sobre las que se puede accionar para su roscado y apriete al racor macho. Está en el extremo libre del brazo de la instalación fija.

Ilustración 42. Acoplamiento weco.



Fuente. Camión cisterna GLP.

11. Manómetro: mide la presión del gas en el interior de la cisterna con la finalidad de reducir el número de orificios, se suele colocar en la válvula interior.

12. Orificio de drenaje: En la parte más baja existe un orificio, dotado de un tapón ciego, que tiene por finalidad eliminar cualquier resto de agua y otros residuos, y que no se podrá retirar mientras la cisterna no se haya vaciado y desgasificado totalmente.

13. Brazos de carga: los brazos de carga/descarga permiten realizar el trasvase de fluidos a camiones cisterna de una manera segura y sin esfuerzos para el operario.

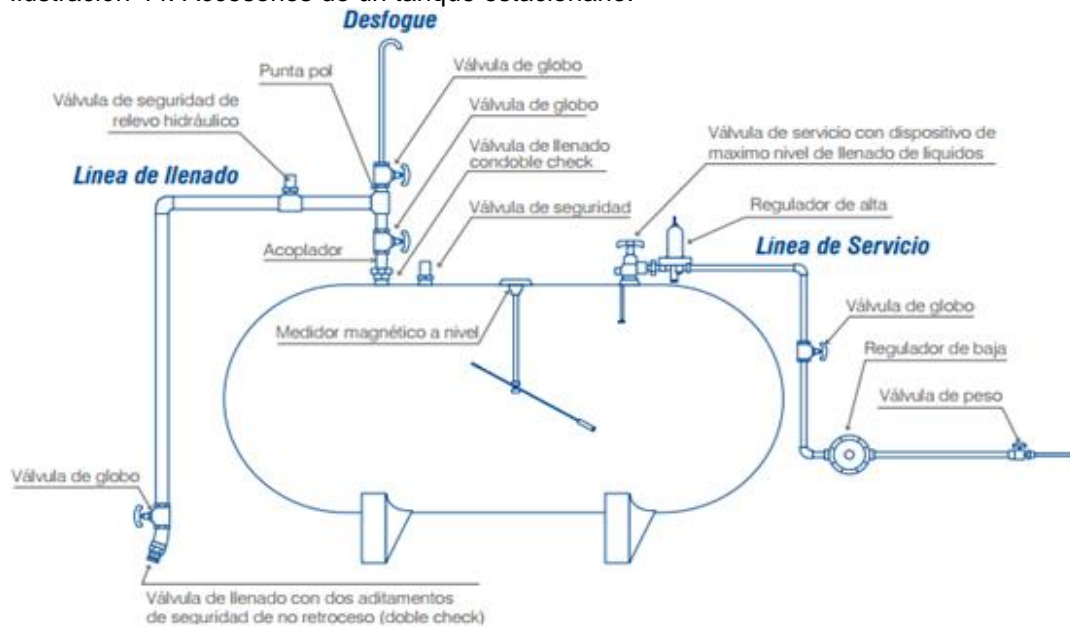
Ilustración 43. Brazos de carga de GLP.



Fuente. SETI.

Anexo D. Accesorios de un tanque estacionario⁴⁷

Ilustración 44. Accesorios de un tanque estacionario.



Fuente. www.Insa.com.co

1. **Válvula de llenado:** Se utiliza para conectarse a la manguera del carro tanque que suministra el GLP en estado líquido. El empuje del gas vence la resistencia del resorte permitiendo el paso de la manguera al tanque estacionario.
2. **Válvula de servicio con dispositivo de máximo nivel de llenado de líquido:** Acoplada directamente al tanque, permite el paso del GLP en estado vapor a los aparatos de consumo, muy frecuentemente está acompañada de un dispositivo que permite determinar el máximo nivel de GLP líquido permitido durante la operación de llenado.
3. **Válvula de seguridad:** Calibrada para abrirse a una presión de 250 psi, esta válvula actúa en caso que el tanque se haya sobrellenado o cuando es sometido a calor extremo; una vez la presión se encuentre debajo de este nivel, la válvula se cerrará automáticamente. Es importante no bloquearla con válvulas o elementos que en su momento impidan la apertura.
4. **Medidor magnético de nivel:** Este accesorio permite determinar el volumen de GLP en estado líquido que contiene el tanque estacionario; la información se obtiene en porcentaje y no puede exceder del 95% en climas fríos y por seguridad, en climas cálidos hasta el 90%. Para determinar la cantidad de gas, se multiplica el porcentaje

⁴⁷ ANDRÈ, Oscar. Diseño y análisis económico de una instalación de Gas Licuado de Petróleo aplicada al edificio Milenio de la ciudad de Loja. Guayaquil-Ecuador. 2005. p. 213.

leído en el medidor magnético de nivel, por la capacidad del tanque y se divide por 100.

5. Válvula de drenaje: Accesorio ubicado en la parte inferior del tanque, cuya utilidad es permitir retirar los pesados no evaporables durante el proceso de mantenimiento.

6. Manómetro: Algunos tanques traen un coupling para instalarlo, de lo contrario se puede instalar en un sistema de multiválvulas. El manómetro es un accesorio que nos permite medir la presión del GLP dentro del tanque; gracias a él, podemos determinar situaciones de riesgo si se determinan presiones por encima de 200 psi.

Anexo E. Tipos de tanques de GNL

El típico tanque de GNL tiene doble pared: una pared externa de hormigón armado, recubierto con acero al carbono, y una pared interna de acero niquelado al 9%. La seguridad y la resistencia son las consideraciones de diseño primarias al construir estos tanques, los cuales se diseñan para soportar terremotos y fuertes vientos.

Existen varios tipos de tanques que se utilizan hoy en día para el almacenamiento de GNL en tierra, entre ellos están:⁴⁸

- Tanque de contención simple: Es un tanque con pared doble de acero construido de forma tal que sólo la pared interior del tanque, la cual está en contacto con el GNL, tenga las propiedades mecánicas requeridas para contener el líquido criogénico. La pared exterior del tanque se utiliza principalmente para la retención y la protección del aislamiento, y para contener la presión de gas depurado, pero no para contener el líquido refrigerado en caso de fugas en el contenedor principal.
- Tanque de contención doble: Los tanques de contención doble se diseñan y construyen de manera que tanto el contenedor principal interno autosuficiente y el contenedor secundario logren contener, independiente el uno del otro, el líquido refrigerado almacenado. El contenedor principal contiene el líquido refrigerado bajo condiciones normales de funcionamiento. El segundo contenedor tiene por objetivo contener las eventuales pérdidas de líquido refrigerado, pero no el vapor resultante de dichas pérdidas.
- Tanque de contención completa o total: Los tanques se diseñan y construyen de manera que tanto el contenedor principal autosuficiente y el contenedor secundario logren contener, independiente el uno del otro, el líquido refrigerado almacenado y, en uno de ellos, el vapor. El contenedor principal contiene el líquido refrigerado bajo condiciones normales de funcionamiento. El segundo contenedor sostiene el techo externo. Asimismo, el segundo contenedor deberá ser capaz de contener el líquido refrigerado y controlar la ventilación del vapor resultante de la pérdida de producto.
- Tanque de membrana: Los tanques tipo membrana deben diseñarse y construirse de forma tal que el contenedor principal, constituido por una membrana, sea capaz de contener el gas licuado y su vapor bajo condiciones normales de funcionamiento. El contenedor secundario de hormigón, que soporta al primero, deberá ser capaz de contener todo el gas licuado del primer contenedor y la ventilación controlada del vapor resultante de las pérdidas de producto del tanque interior.

⁴⁸ Definición de alternativas y metodologías de remuneración. Preparado por: Consorcio Itansuca-Freyre y Asociados, 2010. 191p.

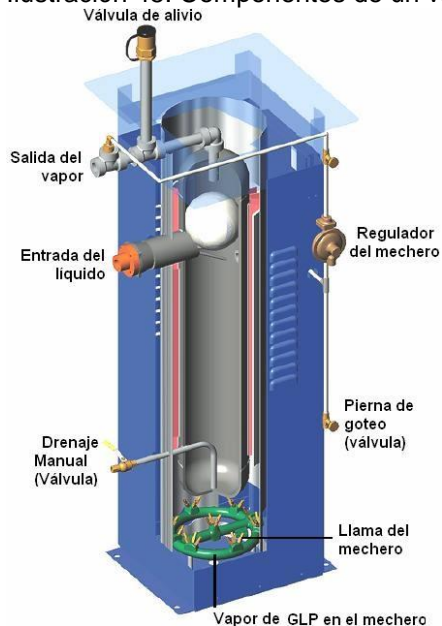
Anexo F. Tipos de vaporizadores de GLP

➤ Vaporizador de llama directo⁴⁹. No requiriendo ninguna fuente eléctrica para su funcionamiento, el vaporizador de llama directo se fabrica para capacidades de 50, 80, 120, 160, 240, 360 y 480 galones por hora, donde la vaporización de propano ocurre a 0 °F.

Funcionamiento del vaporizador de llama directo: El suministro de GLP líquido se conecta a la válvula de entrada líquido. Una bola de acero inoxidable está descansando en el accionador, por la válvula de entrada de líquido, abriendo la válvula, y permitiéndole al GLP líquido entrar en el Tubo de vaporización. El nivel del líquido subirá hasta que la bola de acero inoxidable sea levantada fuera del accionador de la válvula de la entrada de líquido por efecto de flotación.

Se lleva una pequeña fracción de gas de GLP de la vaporización ocurrida naturalmente, a través del regulador de presión del quemador dual y la válvula de control de temperatura, lo lleva al mechero en el fondo de la unidad dónde es utilizado por el piloto del quemador creando la chispa de ignición. Los gases calientes del quemador suben a lo largo del tubo de vaporización y las aletas de metal a lo largo del tubo de vaporización aumentan la transferencia de calor de los gases calientes al tubo de vaporización y al GLP. El vapor de GLP sale a través de la salida de vapor del vaporizador como se muestra a continuación.

Ilustración 45. Componentes de un vaporizador de llama directa.



Fuente. Estudio técnico económico del uso del sistema de aire propanado en proyectos de gas domiciliario.

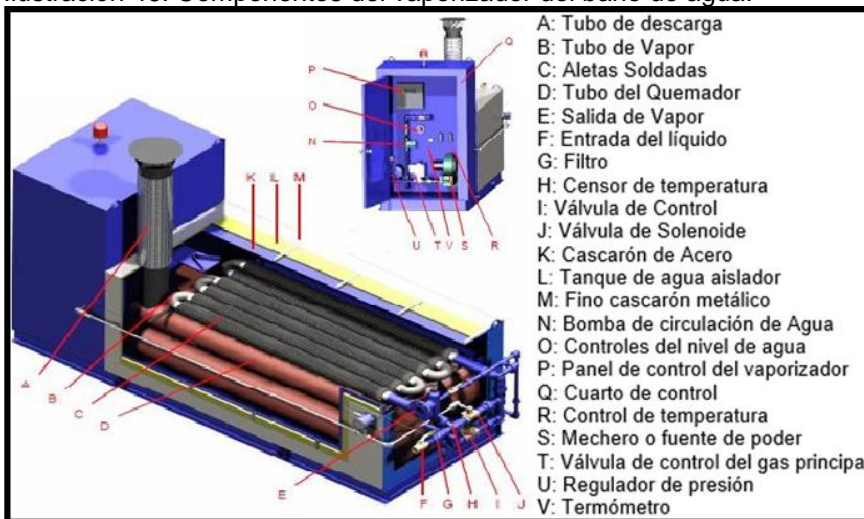
⁴⁹ LIZCANO, N & CALIXTO, C, op. cit, p.3.

➤ Vaporizadores de baño de agua⁵⁰. Los vaporizadores de baño de agua horizontales son rectangulares en su diseño, su techo y paredes están aisladas con una lámina de fibra para mantener la temperatura del baño de agua, y se cubren con una lámina de aluminio.

Usando una mezcla de agua con una solución de anticongelante (Glicol) como medio de intercambio de calor, y una bomba que constantemente circula dicha solución para reducir la estratificación del calor, estos vaporizadores son montados sobre rodillos, probados en las fábricas, preparados para la conexión apropiada al suministro eléctrico, líneas de GLP y salida de vapor.

Funcionamiento de los vaporizadores de baño de agua: Los Vaporizadores de baño de agua están disponibles en capacidades normales de 200 gph, a 7000 gph. Ellos se diferencian unos a otros principalmente en su tamaño, capacidad de vaporización, la cantidad de intercambio de calor medio y el área activa de intercambio de calor del tubo de vapor y el tubo del quemador, que también determina su capacidad de vaporización. La ilustración 47 presenta una configuración típica de un vaporizador de 1000 gph.

Ilustración 46. Componentes del vaporizador del baño de agua.



Fuente. Estudio técnico económico del uso del sistema de aire propanado en proyectos de gas domiciliario.

El tubo del quemador y el tubo de vapor se sumergen totalmente en una solución anticongelante de agua. El vapor de GLP que pasa a ser vaporizado, se toma del cabezal de toma de corriente de vapor (E) y es mantenida a través de un regulador de presión (U) al quemador (S), el quemador calienta la solución anticongelante de agua a través del tubo del quemador (D), los controles de temperatura (R) mantienen la temperatura del agua constante a 180 °F. El calor del

⁵⁰ Ibíd., p.94

agua es transferido a través del tubo de vapor (B) al GLP que entonces se evapora y sale del sistema a través del cabezal de toma de corriente de vapor (E). Un sensor de temperatura (H) se inserta en el cabezal de toma de corriente de vapor. Este sensor de temperatura manifestará cualquier caída de temperatura, asociada con la presencia de GLP líquido. Si esto ocurre, la válvula del solenoide (J) en serie con la entrada líquida se cierra e impide al líquido entrar en el vaporizador (protección de líquido remanente). Otros componentes en serie con la entrada de líquidos son la válvula de cerrado líquida (F), el filtro (G), y la válvula cheque (I), aprobando el exceso de presión del GLP en el tubo de vapor saliendo por la línea del suministro del líquido y el tanque.

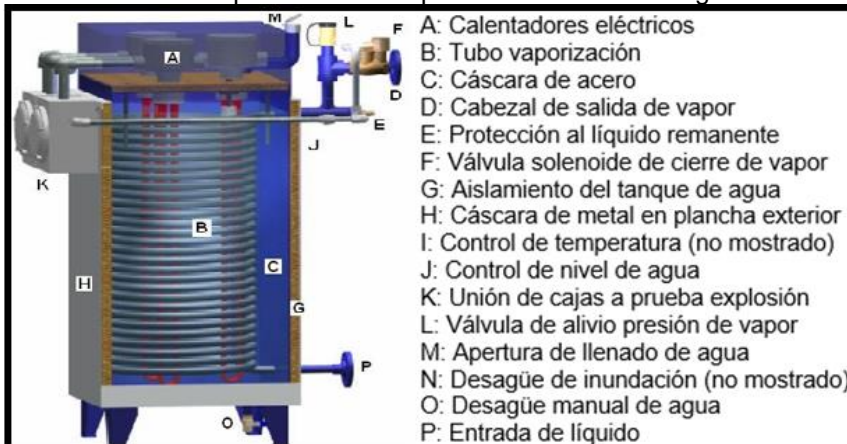
➤ Vaporizadores de baño de agua eléctricos⁵¹. Éstos usan electricidad para calentar la solución de agua y anticongelante (Glicol) usado como medio de intercambio de calor. Se aíslan la cima y los lados con una capa de fibra para mantener la temperatura del baño de agua, y es cubierta con una capa de aluminio. Dependiendo de su capacidad, las unidades usan 1, 2 o 3 elementos calentadores eléctricos, cada uno con una capacidad nominal de 16 kW, todas las unidades usan un rollo de acero limpio continuo para la vaporización.

Funcionamiento de los vaporizadores de baño de agua eléctrico: los vaporizadores de baño de agua eléctricos están disponibles en capacidades desde 100 kg por hora (50 gph), a 300 kg por hora (150 gph). Externamente, todos los modelos parecen iguales, Internamente, difieren en el número de elementos calentadores que usan, la longitud del tubo de vaporización, y en sus controles eléctricos. La ilustración 48 muestra una configuración típica de un vaporizador de 300 kg/h (150 gph).

Las porciones activas de los elementos del calentador y el tubo de vapor se sumergen totalmente en la solución de agua-anticongelante. Los elementos del calentador elevan la temperatura de la solución, con los controles de temperatura (I), manteniendo una temperatura constante del agua de 180 °F. El calor del agua se transfiere a través del tubo de vapor (B) al GLP que entonces se evapora y termina el sistema a través del cabezal de salida de vapor (D). Un sensor de temperatura (E) se instala en el cabezal de salida de vapor, este sensor detectará cualquier caída de temperatura, asociado con la presencia del GLP líquido. Si esto ocurre, la válvula del solenoide (F) cierra la salida lateral de vapor e impide al líquido salir del vaporizador (Protección de líquido remanente)

⁵¹ *Ibíd.*, p.94.

Ilustración 47. Componentes del vaporizador de baño de agua eléctrico.



Fuente. Estudio técnico económico del uso del sistema de aire propanado en proyectos de gas domiciliario.

➤ Vaporizadores de baño de agua vertical (VWB)⁵². es de tipo indirecto por ser vaporizadores de baño de agua con calentadores de agua externa (llamados VWB), se diseña específicamente para aplicaciones donde el dueño prefiere usar un suministro de agua caliente existente para el proceso de vaporización. Otra aplicación típica es en instalaciones donde los códigos locales o nacionales prohíben el uso de cualquier tipo de llama directa en el proceso de vaporización de GLP. Comparado con los vaporizadores con fuentes de calor locales, la serie de VWB, ofrece una alternativa adicional de seguridad en donde fuese instalado, debido a la falta de componentes de alto poder energético cerca al GLP.

Diseñados para el suministro de agua caliente externo, la cima y los lados del vaporizador se aíslan con una capa de fibra, para mantener la temperatura del baño de agua, y se cubre con una tapa de aluminio. Las unidades más pequeñas, usan un tubo de acero continuo para la vaporización, las unidades más grandes tienen un conjunto de 9 tubos de vapor ubicados verticalmente.

La solución de agua-anticongelante se usa como un medio de intercambio de calor y es circulada entre la fuente de agua caliente externa y el vaporizador.

Funcionamiento de los vaporizadores de baño de agua vertical: los vaporizadores de baño de agua verticales están disponibles para capacidades de 120 kg por hora (60 gph), a 2000 kg por hora (1000 gph). Las capacidades más grandes son logradas combinando varias unidades más pequeñas a través de la entrada de líquido y cabezal de salida de vapor. Externamente, todos los modelos parecen iguales, internamente, difieren principalmente en el tipo y el área de intercambio el

⁵² Ibíd., p.94

calor activo de sus tubos de vaporización. La ilustración 49 muestra una configuración típica de un vaporizador de 360 kg/h (180 gph).

Las porciones activas de los elementos del calentador y el tubo de vapor se sumergen totalmente en una solución caliente de agua y anticongelante, proporcionada por una fuente externa. La fuente externa (normalmente una caldera o calentador de agua comercial) controla la temperatura del agua, nivel de agua, y flujo de agua, los controles de temperatura para el vaporizador sólo se proveen a conveniencia, y no se usan en el funcionamiento del vaporizador. El calor del agua se transfiere a través del tubo de vapor (B) al GLP que entonces se evapora y sale del sistema a través del cabezote de salida de vapor (D), un sensor de temperatura (E) se inserta en el cabezote de salida de vapor, y dicho sensor descubre cualquier caída de temperatura, asociado con la presencia del GLP líquido. Si esto ocurre, la válvula solenoide (F) cierra la salida de vapor e impide al líquido salir del vaporizador (protección de líquido remanente).

Modelos con las capacidades de 750 kg por hora o mayores usan tubos de vaporización verticalmente apilados, en lugar de las versiones enrolladas de los modelos más pequeños, como se muestra en la ilustración.

Ilustración 48. Componentes del vaporizador de baño de agua vertical.



Fuente. Estudio técnico económico del uso del sistema de aire propanado en proyectos de gas domiciliario.

➤ “Vaporizadores de GLP “secos”⁵³. son Calentadores con una resistencia eléctrica utilizada como fuente de energía para generar el calor necesario para la vaporización de propano, utilizando una lámina de aluminio monolítico como medio para transferir calor, el diseño reduce así la necesidad para su mantenimiento, aumentando su confiabilidad”.

Los vaporizadores eléctricos “secos” están complementados con válvulas de solenoide en la entrada del líquido, aprobando la presión para el gas GLP a 250 psig y la válvula de alivio de seguridad. Todos los vaporizadores de éste tipo necesitan electricidad. El vaporizador se mantiene lleno 100% de su capacidad y está disponible en capacidades de 25 kg/h y 50 kg/h.

Funcionamiento de los vaporizadores eléctricos “Secos”: De acuerdo a la ilustración 50, donde se ven los componentes principales de este tipo de vaporizador, el suministro de GLP se conecta a la válvula solenoide de la entrada de líquido (1), el cual está normalmente cerrada. Cuando se aplica electricidad al elemento del calentador (2), calienta el molde del bloque de aluminio con el tubo de vaporización integrado (3), la temperatura interna es supervisada por un sensor, cuando la temperatura interna alcanza 50 °C, el sensor solenoide de temperatura de la salida del vapor se cierra, energizando la válvula en la entrada de líquido, permitiendo la entrada del GLP al tubo de vaporización. El vapor de GLP deja la unidad a través de la conexión de salida de vapor (5).

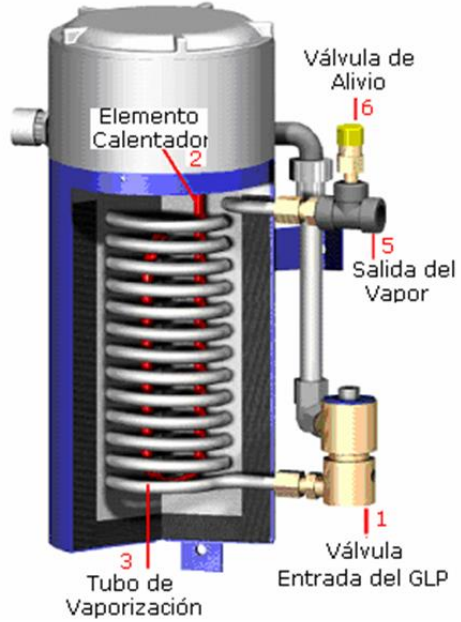
La temperatura interna es supervisada por un sensor principal. Cuando la temperatura alcanza 120 °C, el sensor interrumpe la corriente eléctrica al elemento del calentador (2). El elemento se enciende de nuevo, cuando la temperatura interna ha caído a 70 °C.

El sensor de temperatura de límite alto, actúa como un dispositivo de seguridad. El sensor de temperatura en la salida del vapor es posicionado en un bolsillo en el centro del aluminio, muy cerca del tubo de vaporización, detectando caídas de temperatura, que están asociadas con la presencia de GLP líquido, e inmediatamente cierra la válvula solenoide de la entrada de líquido. Esta acción previene cualquier abandono de líquido de la unidad.

La parte superior del vaporizador, aloja los bloques de conexión para la electricidad y la válvula de solenoide en la entrada del líquido. Los sensores de temperatura y el fusible, están cerrados con una tapa forzada, formando una caja de unión a prueba de explosión.

⁵³ Ibíd., p.94.

Ilustración 49. Componentes principales del vaporizador eléctrico.



Fuente. Estudio técnico económico del uso del sistema de aire propanado en proyectos de gas domiciliario.

Anexo G. Tipos de mezcladores de gas natural sintético

➤ Mezcladores de vapor de GLP-AIRE tipo Venturi⁵⁴. El vapor de GLP presurizado usado a través de un arreglo de Venturi al inspirar aire, hace que la cantidad de BTU de la mezcla, sea determinado regulando la presión del vapor de GLP. La mezcla de GLP-AIRE en este instante del proceso, ya es directamente compatible e intercambiable con gas natural, y es reunido en un tanque de ola que es parte del sistema. La presión en el tanque de ola es supervisada por transmisores de presión (los sistemas más pequeños usan interruptores de presión), y se pone a la presión requerida por el sistema (presión de gas de entrega).

Cuando la presión en el tanque de la ola se deja caer debido a la salida de gas, las válvulas del solenoide a la entrada que se encuentran al lado de los sistemas del Venturi se activan, permitiendo al vapor de GLP presurizado del vaporizador fluir a través de la combinación del tubo-boquilla, generando la mezcla de GLP-AIRE. Cuando la presión en el tanque de la ola se alcanza de nuevo, las válvulas del solenoide están cerradas y el sistema descansa hasta que se demande nuevamente gas, y se repite otra vez el ciclo (Esto para sistemas con capacidades de 30 MM BTU por hora y superiores). El uso de los transductores de presión electrónicos y un controlador lógico programable (PLC), se implementan en lugar de los interruptores de presión mecánicos. En general, éste sistema de mezclado está disponible para capacidades de mezclado de 7 MMBTU/h hasta 200 MMBTU/h.

Los componentes de dicho mezclador son: la línea de entrada de vapor ensamblado al Venturi, medidor de presión, inhalador del tanque de ola, válvulas de seguridad de alivio para su protección, válvula de seguridad del gas de la mezcla alta y baja, válvula de seguridad de presión de propano baja y el sistema de válvula de chequeo dual.

Los modelos estándar manejan presiones hasta 15 psig y los modelos de alta presión están disponibles pero ellos requieren aire comprimido para su funcionamiento.

Los sistemas de mezclado tipo Venturi se diseñan para mezclar GLP-AIRE en un tubo Venturi Hallberg con su boquilla, ésta combinación de tubo-boquilla de alta eficacia se usa en varios tamaños diferentes a lo largo de rangos de los productos deseados.

- Funcionamiento de los mezcladores de GLP-AIRE tipo Venturi: éstos mezcladores (HVS), se diseñan para ser usados con un vaporizador de GLP como fuente existente, y además se requiere una fuente de aire. Ellos vienen completos con un rodillo o cilindro de acero, cabezal de entrada de vapor, arreglos Venturi,

⁵⁴ *Ibíd.*, p.94.

tanque de ola, controles eléctricos y electrónicos, y todo el equipo necesario para un funcionamiento seguro.

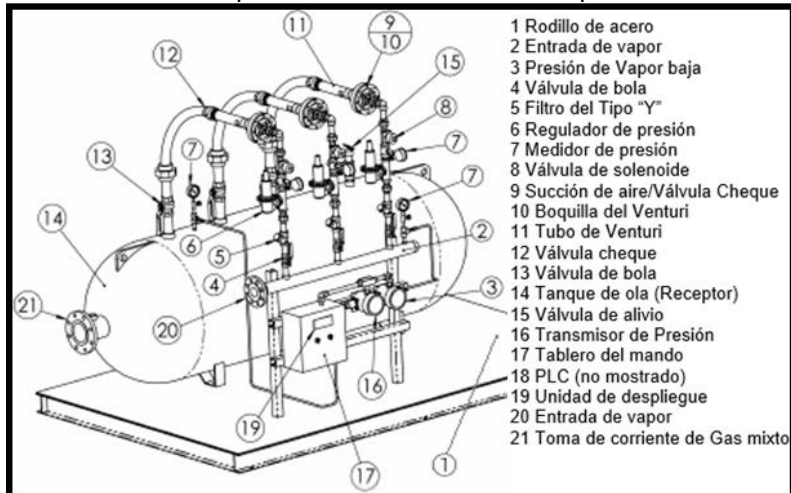
La cantidad de aire mezclado en el vapor de GLP, depende de la forma y dimensión de la configuración de tubo de Venturi y su boquilla, así como en la presión de vapor de GLP. Las propiedades del gas mixto (poder calorífico) pueden ser ajustadas cambiando la presión de vapor al regulador. Típicamente, ajustando la mezcla de vapor-aire a una gravedad específica de 1.3, asegura compatibilidad directa del gas mixto con gas natural. Sin embargo, para la intercambiabilidad y compatibilidad de mezclas de GLP-aire con gas natural, es el Índice de Wobbe. Debemos recordar que se deben asumir gases con el mismo número de Wobbe, para ser directamente intercambiables.

La ilustración 51, muestra los componentes típicos de un mezclador tipo Venturi, donde la línea de entrada (2), recibe el vapor de GLP del vaporizador y el arreglo tubo boquilla Venturi (9 y 10) con sus componentes de línea, absorben aire y lo mezclan para terminar en el tanque de ola (14), gracias al efecto de la válvula de bola (13) donde es almacenado y listo para ser utilizado cuando sale por la toma de corriente del gas mixto (21).

Todos los sistemas de (HVS) supervisan la presión de gas en el tanque de ola. La demanda en el sistema produce una caída momentánea en la presión del tanque. En sistemas con tres o más arreglos de Venturi, esta caída es descubierta por un transmisor de presión que se conecta a un (PLC). (En sistemas más pequeños, estas funciones son proporcionadas por interruptores de presión mecánicos). El (PLC) activa la válvula del solenoide en el primer arreglo del Venturi que empieza produciendo gas mixto. Como los aumentos de la carga, y la presión del tanque de ola sufren disminuciones, se activan los arreglos del Venturi adicionales, produciendo gas adicional. A través del uso de transmisores de presión electrónicos en lugar de los interruptores de presión mecánicos, pueden mantenerse unidos los puntos entre las presiones del tanque muy cercanos, produciendo fluctuaciones de presión muy pequeñas entre donde no hay carga, carga parcial y donde existen condiciones de carga total, en sistemas grandes.

El (PLC) no solo interviene en sistemas con tres o más arreglos en líneas del Venturi, sino también controla todas las otras funciones del sistema, como la comunicación con una unidad de despliegue optativa, indicando la presión del sistema y cualquier condición de problema que pueda ocurrir.

Ilustración 50. Componentes de un mezclador Tipo Venturi.



Fuente. Estudio técnico económico del uso del sistema de aire propanado en proyectos de gas domiciliario.

➤ Mezclador operado por pistón (POM)⁵⁵. Estos mezcladores pueden ser usados con vaporizadores de GLP existentes, o como reemplazo para sistemas de mezclado de GLP-AIRE de otros fabricantes. Estos mezcladores son muy sencillos de diseñar, fáciles para integrarlo con un equipo existente, y requiere una fuente eléctrica de 115 V a sólo CA 60 Hz, monofásico. Ellos pueden proveerse con varias opciones, incluyendo control de gravedad específico automático, control de presión y supervisor de temperatura, un control de mando de flujo, etc.

La simplicidad del (POM) permite diseñar un mezclador que ofrece una muy buena confiabilidad, y puede fabricarse en cualquier material compatible con el elemento de mezclado. El mantenimiento es muy sencillo, simplemente se requiere levantar la tapa que cubre el pistón, se retira el pistón y se lava con un solvente, limpiándolo fuera de la cámara del pistón. Este mezclador al usar un pistón, no registra presión de diseño y sin restricciones de temperatura, que normalmente se encuentran en los diafragmas que tienen restricciones de temperatura altas o bajas, pudiendo deteriorar la vida del equipo.

Una vez instalado, el (POM) mezclará dos gases a una proporción constante: una mezcla de aire y GLP, que es intercambiable con gas natural, sin tener en cuenta la demanda. Para un sistema de grandes capacidades, o para aplicaciones a presiones de sistema altas, se usa el mezclador operado por pistón (POM). Este también permite tener un control automático muy cómodo y confiable para las propiedades de la mezcla.

En la ilustración 52, se muestra un (POM) en una vista transversal y sus características principales de sus diferentes modelos son: Capacidades nominales

⁵⁵ Ibíd., p.94.

desde 20 MMBtu/h a 10 psi hasta 400 MMBtu/h a 40-100 psi, salida de la mezcla de gas por un solo costado; una entrada para el vapor y otra entrada para el aire comprimido, dispositivos electrónicos para la presión de vapor, presión del aire comprimido y presión de la mezcla gaseosa, dispositivos para la variación en la presión del vapor de aire con vapor de GLP, un controlador lógico programable (PLC) para toda la seguridad de las funciones de control en el proceso, válvula auxiliar de seguridad (de alivio), tradicional tablero de mando, gravitómetros y calorímetros, corrección automática de las propiedades del gas mezclado (capacidad calorífica, índice de Wobbe y gravedad específica), emisor de temperaturas de la mezcla gaseosa, emisor de temperatura del vapor suministrado y emisor de temperatura del aire comprimido.

Ilustración 51. Vista transversal de un mezclador operado por pistón.



Fuente. Estudio técnico económico del uso del sistema de aire propanado en proyectos de gas domiciliario.

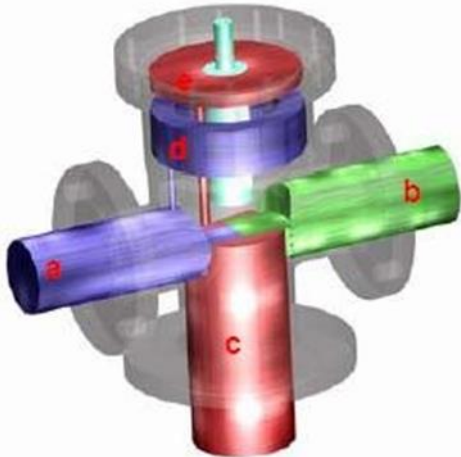
Funcionamiento del mezclador operado por pistón: El gas dominante (es decir el propano), entra al mezclador por la pequeña puerta (a), (ver ilustración 53). El aire comprimido entra al puerto de entrada (b), ambos gases terminan juntos al puerto de salida (c). Un pequeño tubo conecta el puerto de entrada (a) con la cámara (d) y, otro tubo conecta la cámara (e), (a través del pistón) con el puerto de la salida (c).

Cuando la razón de flujo es constante, el pistón (en color celeste) debe “flotar” parcialmente, abriendo las líneas de entrada. Esto es debido al posicionamiento muy exacto del pistón, que con mucha precisión mide el flujo de gas, sin tener en cuenta cambios en la demanda.

Durante el reposo o en ningún periodo de flujo, el pistón descansa en posición cerrada. En la demanda de gas, la presión en el puerto de salida (c) cae ligeramente y esta depresión es transmitida a través del pistón en la cámara (e). La presión en el puerto de entrada (a) (el gas dominante) es mayor y, ya que esta área conecta a

la cámara (d), el pistón sube o se baja dependiendo de los cambios en la demanda o la variación en la presión en el puerto de salida (c). Así, el pistón puede medir con precisión el flujo de los gases sin tener en cuenta la disminución en la demanda.

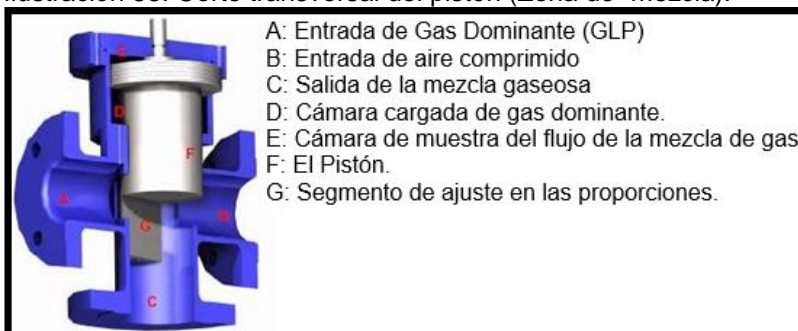
Ilustración 52. Sistema de mezclado de pistón en el POM.



Fuente. Estudio técnico económico del uso del sistema de aire propanado en proyectos de gas domiciliario.

Un corte del segmento exterior del pistón encaja en los bordes de los puertos (a-b) (ver ilustración 54). El pistón es puesto entre un resorte encajado que se mueve entre una guía fija y la cima del pistón. Una masa, ligada al cuerpo de la guía, permite fácilmente el ajuste para ser hecho exteriormente, rotando la guía para restringir cualquier puerto de la entrada y controlar la proporción de gas y de aire. El pistón es diseñado con una serie de ranuras como un laberinto, que generan anillos redondos, que impiden que los gases se trasladen entre la cima y el fondo de la cámara. Este diseño elimina la necesidad de un diafragma o un sello mecánico tal como un anillo en el pistón. También le permite al (POM), ser equipado con un posicionador para una corrección automática de las propiedades del gas mixto, es decir, la capacidad calorífica, el índice de Wobbe, contenido de O_2 y la Gravedad específica, etc.

Ilustración 53. Corte transversal del pistón (Zona de mezcla).



Fuente. Estudio técnico económico del uso del sistema de aire propanado en proyectos de gas domiciliario.

Anexo H. Opciones y accesorios de un sistema de gas natural sintético

➤ Válvulas de bola y válvulas de globo⁵⁶. Las válvulas son instaladas en varios lugares en un vaporizador de GLP o un sistema de mezcla GLP-AIRE. La válvula se diseña dependiendo del trabajo que desempeñe, la principal diferencia entre ambos tipos de válvula está en el diseño del mecanismo sellante: las válvulas de bola son muy simples en su diseño y confían en el acabado liso de la bola del centro que después de unos 90 grados se vuelve a sellar; las válvulas de globo son más complejas, y crean un sello positivo bloqueando el flujo del fluido con un sólido. La ilustración 55, muestra las válvulas de bola y de globo respectivamente.

A similar tamaño de válvula, las válvulas de bola ofrecen mayores tasas de flujo, mientras las válvulas de globo tienen la clara ventaja de crear un sello positivo. A tasas de flujo similares, las válvulas de globo son considerablemente más grandes y más pesadas.

Ilustración 54. Válvulas de bola y de globo.



Fuente. Estudio técnico económico del uso del sistema de aire propanado en proyectos de gas domiciliario.

➤ Sistemas de control de gravedad específica⁵⁷. Están diseñados para trabajar en combinación con los mezcladores (POM), es decir, en plantas auxiliares que son también denominadas plantas de “corte máximo”. Son usados en instalaciones donde la composición del GLP puede variar con el tiempo. Muestra señales de rendimiento en línea con un calorímetro, un sensor de O₂, u otro dispositivo que mida las propiedades del gas mezclado. Este controlador envía una señal de ajuste a un agudizador, instalado encima de la válvula de mezcla (POM), la cual cambia la posición rotatoria del pistón hasta que las propiedades del gas mezclado están de nuevo dentro de los valores preestablecidos.

⁵⁶ *Ibíd.*, p.94.

⁵⁷ *Ibíd.*, p.94.

Ilustración 55. Control automático de las propiedades del gas mezclado.



Fuente. Estudio técnico económico del uso del sistema de aire propanado en proyectos de gas domiciliario.

- Medidor de gravedad específica “Graviblend”⁵⁸. Mide la gravedad específica de la mezcla de gas natural sintético. La señal resultante es un indicador para la calidad del gas producido, manteniendo un valor constante de la gravedad específica de la mezcla de aire y propano, es importante en aplicaciones donde las variaciones del contenido de calor del gas deben cambiar en la entrada del quemador y donde este cambio en el calor entregado tiene un efecto negativo en el proceso de vaporización.

Si combinamos este elemento con un “accublend”, la señal del gravitómetro es monitoreado en el posicionador del control de propiedades de la válvula de mezclado, el cual cambiaría la relación aire-gas, para uno más apropiado a nuestras necesidades variando la gravedad específica de la mezcla gaseosa.

Ilustración 56. Medidor de gravedad específica.



Fuente. Estudio técnico económico del uso del sistema de aire propanado en proyectos de gas domiciliario.

- Medidores de flujo⁵⁹. En muchas instalaciones es importante saber la rata de flujo del gas producido por un vaporizado o del mezclador, las unidades medidas de flujo pueden ser mecánicas, electromecánicas, o electrónicas.

⁵⁸ *Ibíd.*, p.94.

⁵⁹ *Ibíd.*, p.94.

Los medidores de flujo con señales electrónicas de salida pueden ser conectados a monitores, dónde la tasa actual es corregida por presión y temperatura. La señal de salida del medidor o monitor también puede ser usado para el control de válvulas de control de flujo.

Ilustración 57. Medidores de flujo y Computadoras de flujo.



Fuente. Estudio técnico económico del uso del sistema de aire propanado en proyectos de gas domiciliario.

➤ Válvulas de control de flujo⁶⁰. Son usadas para limitar el flujo a través de una tubería. Las aplicaciones standard incluyen la protección de sistemas de GLP-AIRE de condiciones de sobrecarga (qué podría potencialmente cerrar el sistema), y el “corte máximo” de gas natural.

Las válvulas de control de flujo se fabrican de varios tamaños y presiones, pueden ser manualmente ajustables, pre-juego fijado, o totalmente automático.

Ilustración 58. Válvulas de control de flujo.



Fuente. Estudio técnico económico del uso del sistema de aire propanado en proyectos de gas domiciliario.

⁶⁰ Ibíd., p.94.

- Cabezal de quemador de señal luminosa (prueba de señales luminosas)⁶¹. Se usan las pruebas de señales luminosas durante el arreglo del sistema, y para sistema periódico de prueba y mantenimiento, en ellos se ensaya el quemado de gas natural sintético o la mezcla resultante del sistema. Ellos actúan como cargas grandes, y permiten que el sistema sea probado bajo condiciones de carga reales. Se fabrican la prueba normal de señales luminosas con 2" líneas de gas, o con 3" líneas de gas. Todas las pruebas de señales luminosas están provistas con ignición automática, piloto en pie, y su chimenea con tapa abierta.

Ilustración 59. Cabezal de Quemador de señal luminosa.



Fuente. Estudio técnico económico del uso del sistema de aire propanado en proyectos de gas domiciliario.

- Válvulas de 3 vías "Y"⁶². La aplicación principal para las válvulas de tres vías radica en sistemas de mezcla de GLP-AIRE como sistemas de reserva. Son instaladas en la línea principal de suministro de gas natural, y permite al sistema de gas natural sintético tomar remotamente el suministro de gas sin interrumpir el proceso. Esto se logra a través del uso de un pistón rotatorio que gradualmente abre el lado de la entrada para la mezcla de GLP-AIRE, mientras cierra simultáneamente el lado del gas natural. Permitiendo la intercambiabilidad de estos dos combustibles cumpliendo este elemento el objetivo de este sistema de reserva.

⁶¹ Ibid., p.94.

⁶² Ibid., p.94.