

**PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACION DE SISTEMAS
DE SEGURIDAD EN GASODUCTOS VIRTUALES**

MAURICIO HUMBERTO GAITÁN GIL

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE HIDROCARBUROS
BUCARAMANGA
2015**

**PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACION DE SISTEMAS
DE SEGURIDAD EN GASODUCTOS VIRTUALES**

MAURICIO HUMBERTO GAITÁN GIL

**Monografía para optar el título de:
Especialista en Gerencia de Hidrocarburos**

**Director:
Emilsen Ochica Álvarez**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE HIDROCARBUROS
BUCARAMANGA
2015**

Dedicado a la persona que más extraño después de largas jornadas de trabajo, a quien siempre me recibe con una alegría rebotante, un beso y un abrazo. Hija mía eres el regalo más hermoso, de todas las bendiciones que Dios me ha dado, te amo infinitamente.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por darme la vida y la oportunidad de realizar este trabajo.

A mi esposa por su apoyo incondicional frente a mis actividades académicas y a mis iniciativas personales.

A mi madre por su incondicional esfuerzo en ayudarme y por estar siempre presente.

A mi directora de monografía por su orientación, apoyo y consejos.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	13
1. ESPECIFICACIONES GENERALES DEL PROYECTO	15
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.2 JUSTIFICACIÓN	16
1.3 OBJETIVOS	17
1.3.1 Objetivo general	17
1.3.2 Objetivo específicos	18
2. MARCO DE REFERENCIA	19
2.1 REVISIÓN DE ANTECEDENTES.....	19
2.1.1 La masificación del gas natural en Colombia.....	19
2.1.2 Evolución de la demanda del gas natural	20
2.1.3 El transporte de gas en el país	21
2.1.4 El transporte de gas mediante gasoductos virtuales.....	23
2.2 LA DISTRIBUCIÓN DE GAS	25
2.2.1 Monitoreo y control en los sistemas de distribución	25
2.2.2 La distribución de gas por redes de polietileno	27
3. MARCO DE TEORICO	28
3.1 DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE GAS	28
3.1.1 Normativa nacional e internacional	28
3.1.2 Particularidades de normativa empresarial.....	29
3.2 LA SIMULACIÓN DE REDES DE GAS MEDIANTE SOFTWARE	30
4. ROTURAS EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN	31
4.1 IMPACTO DE LAS ROTURAS EN LAS REDES DE GAS	31
4.2 ANÁLISIS DE RIESGOS	34
4.2.1 Definición de factores de impacto.....	35
4.2.2 Identificación de escenarios	36
4.2.3 Parámetros de Referencia.....	37
4.2.4 Valores posibles de riesgo e impacto	41
4.2.5 Aceptabilidad de los riesgos	41
4.2.6 Perfil de los riesgos	43
4.2.7 Patrones normales de distribución.....	44
4.3 IMPACTO AMBIENTAL DE LAS ROTURAS EN LAS REDES.....	46
5. LAS VALVULAS DE EXCESO DE FLUJO.....	47
5.1 FUNCIONAMIENTO.....	49
5.1.1 Principios de operación	49
5.1.2 Instalación del producto.....	52
5.2 VARIABLES BÁSICAS DE OPERACIÓN DE LAS VÁLVULAS DE EXCESO DE FLUJO.....	53
5.2.1 Caudal nominal	54
5.2.2 Caudal de cierre	54
5.2.3 Diámetro y presión de servicio.....	54
5.2.4 Longitud de tubo segura	54
6. SELECCIÓN DE LA VALVULA DE EXCESODE FLUJO ADECUADA	55
6.1 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL FLUJO CON OCASIÓN DE UNA ROTURA EN LA RED	55

6.2	FLUJO MAXIMO DE OPERACIÓN EN UN SISTEMA DE ANILLOS	58
6.3	LONGITUD DE LOS SISTEMAS DE ANILLOS A PROTEGER	59
6.4	SELECCIÓN DEL FABRICANTE DE LAS VALVULAS.....	60
6.5	SELECCIÓN DELA VALVULA (MODELO TECNICO)	60
7.	MODELO ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA VALVULA DE EXCESO DE FLUJO.....	63
7.1	COSTO DE UN PROLONGUE DE RED.....	63
7.2	COSTOS DE UN PROLONGUE DE RED INCLULLENDO LA VALVULA DE EXCESO DE FLUJO.....	64
8.	CONCLUSIONES.....	66
	BIBLIOGRAFÍA.....	67

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Evolución de la cobertura del gas natural en el país.....	21
Figura 2. Numero de poblaciones con servicio.....	21
Figura 3. Pozos productores y Gasoductos de gas natural en Colombia...	22
Figura 4. Fotografía de módulos de transporte y almacenamiento de gas	24
Figura 5. Fotografía de monitoreo mediante el sistema Scada.....	26
Figura 6. Representación de un sistema Scada.....	27
Figura 7. Incendio ocasionado por gas, en el Centro Comercial Titán.....	32
Figura 8. Fugas ocasionadas por terceros 2013 – 2014.....	33
Figura 9. Fugas en la red en municipios con gasoductos virtuales – 2014.	34
Figura 10. Emisiones mundiales de gases de invernadero en el 2000.....	46
Figura 11. Roturas en municipios con gasoductos virtuales – 2014.....	47
Figura 12. Principio de funcionamiento de una válvula de exceso de flujo.	50
Figura 13. Componentes de la válvula de exceso de flujo.....	50
Figura 14. Detalle de ubicación de la válvula en la silleta y acción en caso de rotura.....	52
Figura 15. Modelo GS, Pipelife Gas-Stop.....	53
Figura 16. Modelo GSAE, Pipelife Gas-Stop.....	53
Figura 17. Localización del punto donde se presentó la rotura de red.....	56
Figura 18. Flujo de gas en la estación descompresora de La Calera, registrado por el sistema Scada.....	58
Figura 19. Evaluación mediante Winflow	59
Figura 20. Válvula Gas-Stop GS32/200.....	61

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Selección de factores de impacto.....	35
Tabla 2. Criterios de selección.....	36
Tabla 3. Significancia y selección de escenarios.....	36
Tabla 4. Matriz de significancia para las amenazas.....	37
Tabla 5. Tabla de frecuencias.....	37
Tabla 6. Tabla criterios de las consecuencias.....	38
Tabla 7. Víctimas – Impacto humano.....	39
Tabla 8. Operación – Impacto operacional.....	39
Tabla 9. Valoración de los escenarios de Impacto Humano.....	40
Tabla 10. Valoración de los escenarios de Impacto Operacional.....	40
Tabla 11. Matriz de riesgo e impacto.....	41
Tabla 12. Criterios de aceptabilidad.....	42
Tabla 13. Valores de aceptabilidad.....	42
Tabla 14. Matriz de aceptabilidad de los riesgos.....	43
Tabla 15. Perfil de riesgo humano.....	43
Tabla 16. Perfil de riesgo operacional.....	44
Tabla 17. Distribución normal de escenarios del factor humano.....	44
Tabla 18. Distribución normal de escenarios del factor operacional.....	45
Tabla 19. Índice total de distribución.....	45
Tabla 20. Registros de flujo del sistema Scada.....	56
Tabla 21. Datos técnicos del producto GS32/200.....	62
Tabla 22. Cotización de la construcción de 1000 mts. de red de polietileno de 3/4 “.....	64
Tabla 23: Costos adicionales de implementar la válvula de exceso de flujo	64

RESUMEN

TITULO:PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACION DE SISTEMAS DE SEGURIDAD EN GASODUCTOS VIRTUALES

AUTOR: MAURICIO HUMBERTO GAITAN GIL

PALABRAS CLAVE: FLUJO, VÁLVULA, GAS NATURAL, ROTURA.

DESCRIPCIÓN:

Esta monografía plantea la problemática que enfrentan las empresas distribuidoras de gas, cuando se presentan fugas en las redes de distribución ocasionadas en la ejecución de obras en vía pública, las cuales exponen a la comunidad y a los operarios a riesgos de incendios o explosiones. Se contextualiza esta situación en el entorno de la operación de los sistemas de gas, en el marco normativo de los diseños de las redes de gas y se dimensiona el alcance de las roturas con situaciones de emergencias reales, con un análisis de riesgos de las redes de distribución y explicando los impactos ambientales negativos que se presentan por las emisiones de gas a la atmosfera. Como respuesta a la situación indicada se presentan las válvulas de exceso de flujo, describiendo sus principios de operación y las variables que deben considerarse para su implementación. Posteriormente se analizó el comportamiento del flujo de una red gas, bajo las condiciones normales de operación y cuando se presenta una rotura, se valoraron los fabricantes que ofrecen estos productos en el mercado, seleccionando el que ofrece mayores ventajas para su implementación, bajo criterios de calidad y seguridad. También se eligió el producto más adecuado de los ofrecidos por el fabricante escogido explicando como este se ajusta a las características de operación y diseño de un gasoducto, con el fin de garantizar su adecuado funcionamiento. Finalmente se valoran los costos de la válvula de flujo escogida y se relacionan con la inversión que debe hacer una empresa cuando instala nuevas redes, de modo que se establece un porcentaje aproximado del aumento de la inversión que debe asumir una empresa para implementar estas válvulas.

* Monografía

* Facultad de Ingenierías Físico químicas. Especialización en Gerencia de Hidrocarburos.
Director: Emilsen Ochica Álvarez

ABSTRACT

TITLE:PROPOSAL FOR IMPLEMENTATION OF SECURITY SYSTEMS IN VIRTUALS GAS PIPELINES

AUTHOR: MAURICIO HUMBERTO GAITAN GIL

KEYWORDS: FLOW, VALVE, NATURAL GAS, BREAKAGE.

DESCRIPTION:

This thesis pose the problems faced by the gas carrier company, when the distribution networks present leaks caused by the implementation of a public work Project on the streets, which expose the community and workers to risks as conflagrations or explosions. This situation has context on the environment of the operation of gas systems, in the normative framework of the gas networks designs and takes the measure of the breakage range with real emergency situations, with an analysis of risks of the natural gas network and explaining the negative environment impact which are caused by the gas emissions to the atmosphere. As a response to the last situation named, it introduces the valves excess of flow valve, describing its operation principles and variables that must be considered in order to implement it. Afterward the behavior of the flow in a gas network was analyzed, under the normal conditions of an operation and when it presents a breakage, the manufacturers who offer this products in the market where assessed, choosing that one who offers the most advantages for implement it, under qualities and security standards. Also was selected the most suitable product offered by manufactured chosen, explaining how it adapts to the operation features and gas pipeline design, in order to guarantee the correct working. Finally the valves' cost was valued and matched with the investment a company must doing when it installs new networks, in such a way that it establish a percentage approximated of the investment increase that must take on to implement these valves.

* Thesis

* Pysical chemistry engineering faculty. Majoring in management of hydrocarbon. Thesis Director Emilsen Ochica Alvarez

INTRODUCCIÓN

En la distribución de gas natural por redes de tubería, como en los procesos de suministro de energía o combustibles, se presentan riesgos que pueden ocasionar daños potenciales al ambiente o entorno de operación. De manera particular la infraestructura de las redes de gas se encuentra expuesta a las obras que se realizan en vía pública, y diariamente las empresas contratistas causan daños que exponen a sus trabajadores y a la comunidad a la generación de ambientes explosivos o a posibles incendios.

Los riesgos de las roturas en las redes de gas tienen un impacto significativo para las empresas distribuidoras, no solo por los potenciales daños a enseres y terceros, sino por la contaminación ambiental, las pérdidas económicas por el gas no contabilizado (gas perdido) y por el gas que se deja de facturar, así como los peligros a los que se exponen los técnicos que deben atender estas fugas a media y alta presión.

Aunque las roturas ocasionadas por terceros son las que más afectan las redes de distribución, en esta monografía se realizó un análisis de riesgos donde se evidenciaron escenarios diferentes que pueden impactar las redes de distribución, de modo que se pueden establecer prioridades de intervención, de acuerdo a una metodología específica.

Con el fin de mitigar los riesgos que pueden presentar las redes de distribución de gas cuando se generan fugas, se propone el uso de válvulas de exceso de flujo, se explican detalladamente las características, beneficios y funcionamiento del producto y se analizan parámetros particulares de las redes de distribución que deben tenerse en cuenta antes de implementar este tipo de válvulas.

Esta monografía plantea la problemática de las roturas en las redes de distribución, que afecta a las empresas distribuidoras de gas, usuarios y operarios de empresas contratistas; dentro de un contexto nacional que evidencia la evolución de la masificación del gas, explica el sistema de transporte y la comercialización de gas en el país, y presenta detalles de la distribución por redes de polietileno, del monitoreo y control que se realiza para la operación de la distribución y se contextualiza dentro del marco de normativas nacionales e internacionales para el diseño de redes de gas y de la modelación del funcionamiento de redes mediante software. Se incluyó un capítulo que explica la problemática de las roturas, con un detallado análisis de riesgo y se plantean los problemas ambientales que se causan cuando éstas se presentan.

El Capítulo quinto presenta las válvulas de exceso de flujo, como un producto que puede solucionar la problemática planteada y explica el funcionamiento de las válvulas y sus variables de operación, para dar paso a los detalles técnicos que se tuvieron en cuenta para seleccionar la válvula adecuada, que responda a las condiciones de los sistemas de distribución donde se propone implementar, y finalmente explica los costos que debería asumir una empresa para implementar estas válvulas en sus sistemas de distribución.

1. ESPECIFICACIONES GENERALES DEL PROYECTO

La presente monografía aborda un problema que es común a las ciudades o poblaciones que ejecutan obras en vía pública, y donde las empresas distribuidoras de gas han instalado gasoductos urbanos en redes de polietileno.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los municipios donde no existen gasoductos para transporte de gas, se les suministran el servicio, mediante módulos de almacenamiento transportados en grandes camiones. Debido a las obras ejecutadas en vía pública, constantemente se producen roturas de las redes de distribución presentando el riesgo de que los usuarios de los municipios se queden sin gas, ya que un escape en la red puede desocupar los módulos de almacenamiento de gas en pocos minutos dependiendo del diámetro de la red averiada, del orificio de la rotura y las reservas de gas. En situaciones de movimientos de tierra ocasionadas por deslizamientos se han presentado roturas en las redes lo donde se generan riesgos inherentes para las comunidades aledañas.

Las roturas en la red tienen ocasión por el crecimiento y la expansión de los municipios, lo que promueve la ejecución de trabajos en vía pública, exponiendo la infraestructura del sistema de distribución de gas (troncales y anillos). Los gasoductos virtuales no cuentan con dispositivos que permitan el control inmediato de fugas en la red, producidas por terceros, por lo que el control de las fugas depende de que se realice oportunamente el reporte a la línea de urgencias de Gas Natural (164), para atender la urgencia oportunamente en campo por parte del personal técnico controlando las fugas mediante el prensado de la tubería o el cierre de las válvulas.

Las roturas en las red tienen un alto estadístico de ocurrencia, por lo que el riesgo de suspensión del servicio para los usuarios de los Municipios con abastecimiento de Gas Natural Comprimido es alto, situación que desencadena efectos negativos de diferente índole como: contaminación por emisiones directas de metano a la atmósfera, pérdidas económicas por el gas perdido, riesgos en términos de seguridad para los usuarios ya que al momento de hacer la rehabilitación del servicio se corre el riesgo de escenarios explosivos, de incendio o de asfixia por acumulación de gas en ambientes cerrados, situación que se puede presentar por válvulas de paso abiertas dentro de las viviendas.

Por lo anterior se propone implementar la utilización de válvulas de exceso de flujo o limitadores de caudal, adaptados dentro de la misma infraestructura para que en el momento en que se produzca una rotura en la red, se genere el control automático de la fuga, eliminando los riesgos para la comunidad, las pérdidas económicas para la empresa, la posibilidad de que se quede el municipio sin gas, los impactos en imagen pública y para el medio ambiente por la emisiones de metano a la atmosfera.

1.2 JUSTIFICACIÓN

En Colombia se ejecutan permanentemente obras civiles en los municipios, para construir infraestructura urbana, vivienda nueva y se realizan obras de mejoramiento para los predios. Estas obras ocasionan a diario un gran número de roturas en la red de distribución, que producen escapes de gas a alta presión y generan riesgos a la población, como filtraciones de gas a espacios confinados en viviendas, centros comerciales o centros educativos, ocasionando evacuaciones masivas, afectaciones a personas por asfixia, explosiones o incendios con afectación a viviendas o a la salud de terceros.

Esta monografía busca mitigar los riesgos indicados en el párrafo anterior, cuando se producen fugas en la red de distribución como consecuencia de roturas por obras en vía pública, mediante un mecanismo que de manera automática suspenda el flujo de gas, evitando no solo las pérdidas de gas para la empresa sino la ocurrencia de incidentes que pueden afectar a la comunidad e impactar negativamente la imagen pública de la empresa.

De primera mano se evitan riesgos a los que se pueden ver sometidos en caso de una rotura los clientes que hacen uso del servicio de gas y los transeúntes que pueden estar en cercanía a obras que afecten el espacio público, donde habitualmente se presentan situaciones de riesgo asociados a roturas en las redes de gas, como incendios explosiones, o filtraciones de gas a espacios confinados. De igual manera la empresa puede presentar una gestión importante de responsabilidad social corporativa, al generar acciones en pro de la seguridad pública en la distribución del servicio de gas.

Cuando se presenta una rotura en la red de distribución, el control de la fuga puede demorarse varios minutos o hasta horas, debido a que depende de la llegada de un técnico de urgencias y de la facilidad que éste encuentre en terreno para realizar el control, debido a que puede encontrar la red enterrada, el lugar de la rotura lleno de agua o barro, válvulas perdidas u ocultas bajo lozas de concreto, etc. por lo que mientras se realiza el control de la fuga, se incrementan los riesgos de presentarse infiltraciones de gas, acumulación en espacios confinados y todas

las consecuencias que se pueden asociar a la fuga sin control, de un combustible altamente inflamable.

La solución presentada permite un control en un tiempo reducido, uno o dos segundos, el cual no depende de los tiempos de desplazamiento de un técnico que puede localizarse a gran distancia y que está expuesto a dificultades asociadas a la movilidad o imprevistos mecánicos, y que puede encontrarse con problemas para lograr un rápido control de la fuga por condiciones del terreno, roturas en redes de otros servicios, perforaciones dirigidas no visibles, problemas en la localización o funcionamiento de las válvulas que pueden retrasar por horas el control de las fugas.

Para implementar las válvulas de exceso de flujo, se requiere conocer el valor óptimo de flujo volumétrico al cual puede activarse una válvula y la configuración de diseño adecuada para asegurar que la válvula no se active en condiciones normales de operación en las poblaciones que habitualmente se atienden mediante el sistema de gasoductos virtuales.

La metodología puede ser aplicada a cualquier tipo de gasoducto construido en redes de polietileno, siempre y cuando se ajuste para que no sobrepase un umbral de caudal máximo, el cual se determinará en el desarrollo de la monografía, y se adapte el mecanismo a la salida de la silleta donde el flujo de gas opera en un único sentido.

Al desarrollar esta monografía se encontrará metodología adecuada para aplicar una tecnología que aunque ya existe en países desarrollados, aún no ha sido aplicada en Colombia, por no tener un parámetro fijo o volumen máximo caudal de operación de las redes de distribución de gas de media presión.

1.3 OBJETIVOS

A continuación se presentan el objetivo general y los objetivos específicos que se pretenden abordar con el desarrollo de esta monografía.

1.3.1 Objetivo general

Elaborar una propuesta que permita evaluar la factibilidad técnica de, implementar válvulas de exceso de flujo en el sistema de distribución de los municipios que son abastecidos mediante gasoductos virtuales, para que en casos de roturas en la red ocasionadas por terceros, se controle de manera automática el flujo de gas, con el fin de evitar riesgos a la comunidad y personal de obra, impedir la ausencia

total de suministro debido a que las pérdidas por la fuga del gas, pueden desocupar los módulos de almacenamiento y reducir las emisiones de metano a la atmósfera.

1.3.2 Objetivo específicos

- Determinar el flujo volumétrico de gas óptimo, que en la situación de presentar una rotura sobre una red de anillos de media presión, permita el cierre automático de una válvula de exceso de flujo.
- Definir una matriz de riesgos asociados al presentarse una rotura en le red de gas, mediante una metodología de análisis de riesgo reconocida.
- Desarrollar un modelo técnico y económico que permita conocer la viabilidad y factibilidad de la implementación de las válvulas de flujo.

2. MARCO DE REFERENCIA

A continuación se contextualiza el proyecto en la situación permitió al país, pasar del uso de combustibles poco eficientes, inseguros y de alto costo a un combustible económico, seguro y eficiente, enmarcado en políticas regulatorias que permitieron la expansión hacia todo el país, así como los sistemas usados para hacer una distribución segura y eficiente a la mayor parte del territorio colombiano.

2.1 REVISIÓN DE ANTECEDENTES

A continuación se plantean algunos aspectos que permiten detallar aspectos inherentes a la distribución del país, que han marcado hitos en el avance de los sistemas de distribución y que en algunos casos implican cambios en el modo de operar estos sistemas.

2.1.1 La masificación del gas natural en Colombia

El uso del gas natural en Colombia inició con el descubrimiento de los campos de Santander. El gas asociado fue considerado en el país como un subproducto de la explotación del crudo, y era quemado en las teas de los campos petroleros. Desde 1961, la conciencia sobre el valor del gas se empieza a plasmar en la legislación, y es por primera vez a través de la Ley 10 de 1961, que se prohíbe de forma explícita su quema, posteriormente se ratifica mediante el decreto 1873 de 1973.

En 1973 se comenzó la construcción del primer gasoducto para atender las necesidades del sector industrial en la costa atlántica, extendiéndose a todos sus departamentos. Inicialmente se atendió el sector térmico y luego se incursionó en los mercados residencial, comercial y de la pequeña industria.

En 1986 se inició el Plan de Masificación del Gas Natural en Colombia, el cual fomentó la construcción de una infraestructura de transporte que conectó a Bogotá, y otras ciudades desde la zona central del país, con los grandes yacimientos de gas natural de la costa Caribe Colombiana.

En los años 90 el Gobierno Nacional definió en los documentos CONPES, denominados: el Plan de Gas y el Programa para la Masificación del Consumo de Gas, las acciones necesarias para promover una matriz de consumo de energía más eficiente y conveniente para el país, mediante la sustitución de recursos

energéticos de alto costo por gas natural y GLP (gas propano) en los sectores industrial, comercial, residencial y termoeléctrico.

Posteriormente en 1994 se expidió la Ley 142, que definió el marco legal para la prestación de los servicios públicos domiciliarios. Esta ley definió el gas combustible (Gas Natural y GLP) como un servicio público domiciliario y en el artículo 69 creó la Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG, con el fin de Regular el ejercicio de las actividades de los sectores de energía y gas, asegurar la disponibilidad de una oferta energética eficiente, expedir regulaciones específicas para la autogeneración y cogeneración de electricidad, y fijar las tarifas de venta de electricidad y gas combustible entre otras funciones.

Ecopetrol dejó de ejecutar el Plan de Masificación de Gas de forma centralizada y así mismo de realizar inversiones en la construcción de gasoductos troncales, para dedicarse exclusivamente a la exploración y explotación de hidrocarburos, actividad principal objeto social de negocio.

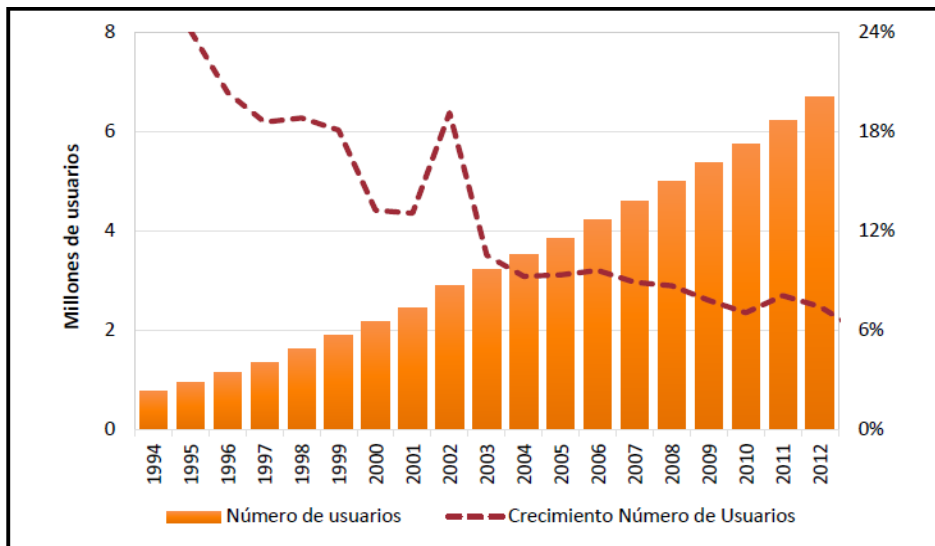
Bajo este nuevo esquema institucional, se dividieron los activos de transporte del patrimonio de Ecopetrol y fueron capitalizados en la Empresa Colombiana de Gas “Ecogas” creada mediante la Ley 401 de 1997 para el transporte de gas. Posteriormente en el año 2006 la Empresa de Energía de Bogotá adquirió a Ecogas, que era del estado y pasó a llamarse “TGI”, Transportadora de Gas Internacional.

2.1.2 Evolución de la demanda del gas natural

En Colombia la demanda del gas natural ha estado supeditada a las posibilidades de inversión, de las empresas distribuidoras, ya que debido al bajo costo del servicio para los usuarios, tan pronto se inicia la gasificación en un municipio se suscriben un número significativo de personas interesadas en obtener el servicio.

En la Figura 1, se evidencia que para el año 2012 el país contaba con 6.8 millones de usuarios, del servicio de gas natural, de los que el 98% corresponden al sector residencial. Mientras que la cobertura del servicio aumenta, la tasa de crecimiento disminuye, debido a que el proceso se inició en las principales ciudades del país y las poblaciones incorporadas en los últimos años son las que tienen menor número de habitantes.

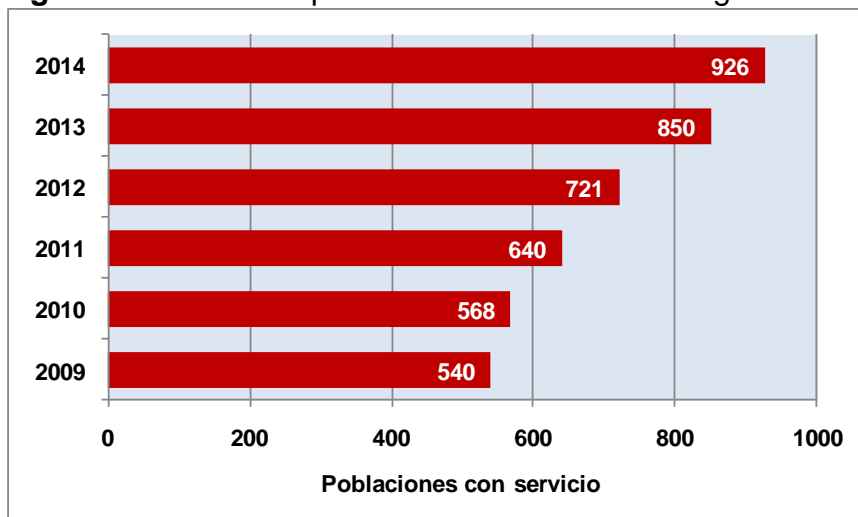
Figura 1. Evolución de la cobertura del gas natural en el país



Fuente: Ministerio de Minas y Energía, 2013

La figura 2 corresponde a una grafica que Naturgas publicó en el periódico el colombiano, donde divulga que el negocio del gas mantiene un crecimiento sólido, pues en el año 2014 la cobertura llegó a 926 municipios del país y a 7.244.384 viviendas conectadas.

Figura 2. Numero de poblaciones con servicio de gas



Fuente: Naturgas, 2014

2.1.3 El transporte de gas en el país

En Colombia la mayor parte del gas natural que se consume, es transportado por tuberías de acero, desde los pozos productores de los llanos orientales, los Santanderes y la Guajira hasta las grandes ciudades o centros de consumo. La

figura 3, presenta la localización de los pozos, los gasoductos de transporte y los consumidores.

Figura 3. Pozos productores y Gasoductos de gas natural en Colombia



Fuente: Ecopetrol, 2014

Para transportar el gas se eleva su presión por medio de grandes compresores, hasta 1200 libras de presión con el fin de que tenga la energía necesaria para llegar a los centros de consumo. El Sistema Nacional de Transporte cuenta con 7.204 kilómetros de gasoductos, de los cuales, TGI opera 3.957 kilómetros.

2.1.4 El transporte de gas mediante gasoductos virtuales

Sin embargo existen muchas poblaciones que por encontrarse alejadas de los centros urbanos aún no cuentan con el servicio debido a que las grandes inversiones que se requieren en infraestructura de redes de transporte no permiten la viabilidad de los proyectos.

Teniendo en cuenta lo anterior hace algunos años se comenzaron a presentar soluciones en cuanto al suministro de gas para estas poblaciones, mediante el sistema de gasoductos virtuales, por medio de módulos de transporte y almacenamiento.

Este sistema permite mediante el aumento de la presión de gas, incrementar la energía por unidad de volumen, reduciendo los costos de transporte por unidad de volumen.

Lo anterior se realiza en tres etapas; i) La compresión, donde se toma el gas natural de un gasoducto de transporte o una red de distribución y se aumenta la presión por medio de compresores hasta 3.000 psi, ii) El transporte y almacenamiento en donde se lleva este gas a cilindros dispuestos en camiones diseñados para tal fin con el fin de transportarlo hasta en centro de consumo y iii) La descompresión, en donde por medio de reguladores se reduce la presión y se transfiere a las redes de distribución para llevarlo a los usuarios finales.

La siguiente imagen corresponde al proceso de trasvase de gas a alta presión, de los módulos de transporte a los módulos de almacenamiento en un gasoducto virtual.

Figura 4. Fotografía de módulos de transporte y almacenamiento de gas



Actualmente empresas como Gas Natural Fenosa, Alcanos de Colombia, EPM, Madigas y Enerca entre otras utilizan este sistema para la comercialización del gas natural en distintas poblaciones.

La empresa Gas Natural Fenosa, inició a manejar el sistema de gasoductos virtuales a partir del año 2011, incursionando inicialmente en el municipio de La Calera y beneficiando a más de 2.500 familias con el servicio. A partir de este año se inició un programa de gasificación de los municipios cercanos a Bogotá que no contaban con este servicio. A la fecha los municipios de El Rosal, La Mesa, Anapoima y El Colegio ya cuentan con suministro de gas. En estos municipios se han presentado fugas de gas en las redes de distribución, como consecuencia de obras civiles que terceros ejecutan al realizar intervenciones en espacio público.

Gas Natural Fenosa ha diseñado un plan de masificación de gas, dirigido a municipios de del departamento de Cundinamarca que no cuentan con redes de transporte para el suministro de gas, entre los cuales se tiene proyectado Saboya, Viotá, Anolaima, Cachipay, Choachí, Chocontá, Villapinzón, Sesquilé, Guatavita, Guasca, Suesca, Fómeque y Ubaque. Los anteriores municipios serán gasificados mediante el sistema de gasoductos virtuales.

2.2 LA DISTRIBUCIÓN DE GAS

La distribución de gas en Colombia a evolucionado con el avance de las empresas en la masificación del servicio, planteando sistemas innovadores que han permitido llevar el servicio a poblaciones en donde inicialmente no era viable el suministro de gas y mejorando la operación a través la aplicación de sistemas de telemedición y control de los sistemas de distribución.

2.2.1 Monitoreo y control en los sistemas de distribución

Las empresas de distribución de gas, que por su tamaño, complejidad y responsabilidad de suministro del servicio a grandes ciudades, industrias y poblaciones, requieren garantizar el suministro de manera permanente y bajo la presión adecuada, a cada uno de sus clientes. Para lograr este propósito se apoyan en equipos de personas y sistemas electrónicos que realizan la gestión, supervisión y operación en tiempo real de los sistemas de distribución de manera ininterrumpida.

2.2.1.1 Sistema Scada

Sistema informático dedicado a la supervisión, control y adquisición de datos, de los equipos remotos conectados a las instalaciones de distribución, como City Gate, estaciones reguladoras, actuadores o a la red. Comprende el hardware y software necesario para su funcionamiento.

Estos sistemas permiten monitorear los parámetros significativos de la red, del sistema de distribución, revisando la como presión, calidad del gas, cantidad de gas entregado, temperatura y funcionamiento de las instalaciones auxiliares para garantizar el suministro de gas de forma adecuada. La siguiente imagen muestra las pantallas de visualización de un sistema Scada, donde se representan esquemas de la operación de los sistemas de distribución.

Figura 5. Fotografía de monitoreo mediante el sistema Scada

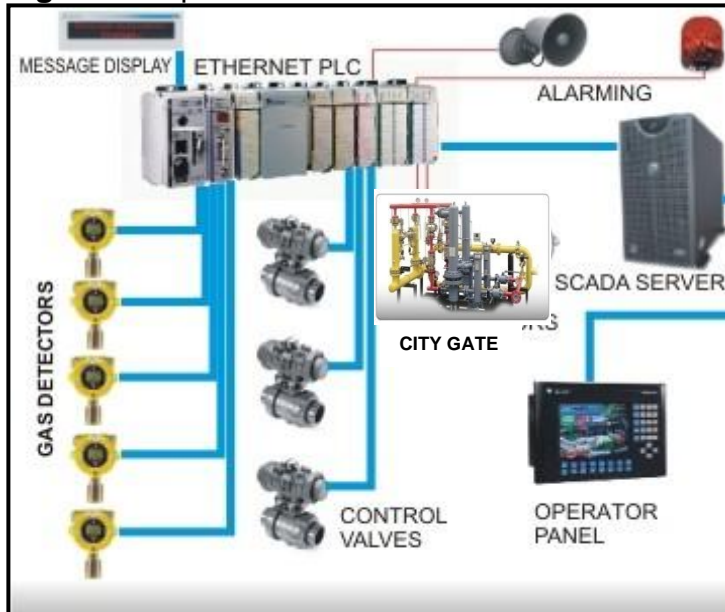


Fuente: <http://www.hidrocarburosbolivia.com/noticias-archivadas>, 2014

Estos sistemas incorporan elementos de campo como sensores de temperatura, presión, de fugas, de medición etc., conectados directamente al proceso de distribución, que mediante equipos de comunicación tipo GPRS transmiten los datos que son recibidos y almacenados en servidores, en donde un software compara parámetros establecidos y genera alarmas que permiten a los operadores del sistema quienes laboran las 24 horas, tomar decisiones oportunamente solicitando el apoyo de los técnicos, con el fin de evitar anomalías en el servicio o emergencias.

A continuación, se representan gráficamente los componentes de un sistema scada que se comunican entre si llevando información a grandes distancias, para facilitar la toma de decisiones.

Figura 6.Representación de un sistema Scada



Fuente: <http://www.detectoresymedidores.com/>

Este sistema permite agilizar la toma de decisiones en la operación diaria y frente a emergencias, optimiza la utilización de los recursos operativos, evitando desplazamientos innecesarios y permite disponer de una base de datos que facilite y agilice la elaboración de reportes estadísticos de cada una de las variables monitoreadas.

2.2.2 La distribución de gas por redes de polietileno

El gas que llega a alta presión a las ciudades y centros de consumo, por medio de las City Gate o puertas de ciudad, en donde se odoriza (inyección de sustancia que permite percibir el gas mediante el olfato) se le baja la presión y es transferido a las redes de polietileno a una presión de 60 libras. En este proceso las redes llevan el gas hasta las viviendas, industrias y el comercio en donde nuevamente se le baja la presión a niveles mucho más seguros.

Debido a que son fabricadas con polietileno, las redes de distribución de media presión no presentan corrosión, y permiten que en los casos de movimientos del terreno por deslizamientos o sismos, estas no se fracturen sino que se desplacen evitando en la mayor parte de los casos roturas y fugas de gas.

3. MARCO DE TEORICO

Con el fin de realizar un adecuado planteamiento a la solución del problema expuesto se hace necesario comprender los criterios mínimos, bajo los cuales se diseñan las redes de gas, y se prueban los mecanismos o cambios por mantenimiento que se hacen para su mejora, ya que el funcionamiento de los dispositivos de seguridad, depende del volumen de gas que fluye por la tubería en condiciones normales de operación y en condiciones anormales o cuando se presentan roturas en las redes de gas.

3.1 DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE GAS

Para el diseño de las redes de distribución de gas natural en Colombia se usan varios criterios entre los cuales se encuentran las normas internacionales, las normas nacionales y las normas particulares de cada compañía que se complementan entre si buscando las mejores prácticas aplicadas a la realidad del país.

3.1.1 Normativa nacional e internacional

Criterios básicos de dimensionamiento:¹

- a) Las líneas de transporte deben diseñarse para garantizar su vida útil, un volumen y presión de gas adecuados para las necesidades de cada consumidor
- b) Los diseños de las líneas de transporte y las redes de distribución de gas deben contemplar, las posibles ampliaciones futuras del área de influencia.
- c) El diseño de las líneas de transporte y las redes de distribución de gas deben considerar, entre otros, los siguientes aspectos:
 - a. Características químicas y físicas del fluido
 - b. Máxima y mínima presión de operación
 - c. Máxima y mínima temperatura de operación
 - d. Especificaciones del material seleccionado
 - e. Cargas adicionales
 - f. Factor de seguridad por densidad de población
 - g. Factor de eficiencia por las juntas
 - h. Espesor adicional por desgaste o margen de corrosión
 - i. Inspección y mantenimiento del sistema de operación

¹ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACION, Gasoductos. Líneas de transporte y redes de distribución de gas. NTC 3728. Bogotá D.C. 2001. 76 p.

- d) Se debe elaborar una memoria técnico-descriptiva que contenga los diagramas de flujo, planos del proyecto, especificaciones, memoria de cálculo y la información básica que involucre todos los aspectos considerados en el diseño.

3.1.2 Particularidades de normativa empresarial

De manera particular se presentan algunos criterios que manejan las empresas distribuidoras:

3.1.2.1 Criterios de continuidad del servicio²

- a) En lo posible los sistemas destinados a uso residencial y/o comercial se diseñaran en forma de anillo, lo cual permitirá que el gas llegue al punto o a puntos de suministro en los dos sentidos.

3.1.2.2 Criterios de dimensionamiento

- a) Los diseños de las líneas de transporte y las redes de distribución de gas deben contemplar las posibles ampliaciones futuras en el área de influencia
- b) Los diseños de las líneas de transporte y las redes de distribución de gas deben considerar entre otros los siguientes aspectos
 - a. Características químicas y físicas del fluido
 - b. Máximas y mínima presión de operación
 - c. Máxima y mínima temperatura de operación

3.1.2.3 Caudales

El primer paso para el diseño de las redes es el cálculo del caudal o el volumen de gas consumido en horas críticas. Los caudales a usar en el diseño son los caudales de punta máximos esperados expresados en m³/h, para clientes previstos a captar en 20 años.

Los caudales se determinan por consumos de clientes tipo doméstico, comercial e industrial. La sumatoria de los anteriores caudales indica el caudal total demandado sobre el cual se debe hacer el diseño.

3.1.2.4 Criterios de Calculo

El diseño de nuevas redes se hace utilizando módulos de cálculo y ecuaciones habituales previamente aceptadas y reconocidas por la empresa. Al aplicar las formulas se deben tomar los diámetros internos.

El cálculo de los anillos se realizará tomando el tubo principal que distribuye mayor caudal, y las pérdidas se hacen teniendo en cuenta la diferencia de presión entre

² GAS NATURAL FENOSA, Criterios y procedimientos técnicos de distribución. Diseño y cálculo de redes de distribución. NT-200-COL. Parte 0. 2009. 36 p.

el punto de conexión y la presión de garantía en el extremo, que no debe ser inferior a 20 psi.

Lo anterior no constituye una secuencia de pasos para realizar el diseño de una red, sino unos criterios generales que son importantes tener en cuenta al incluir dispositivos de seguridad en gasoductos virtuales, ya que al incluir un elemento adicional a la red se deben tener en cuenta sus efectos sobre el diseño para que no se afecte el funcionamiento de los sistemas y se garantice la correcta operación y funcionamiento en el largo plazo.

3.2 LA SIMULACIÓN DE REDES DE GAS MEDIANTE SOFTWARE

Con el fin de comprobar el funcionamiento de los diseños de las redes de gas, o evaluar la aplicación de cambios o ajustes en los sistemas de distribución ya instalados se utilizan software de simulación de redes, que permiten comprobar previamente los parámetros de garantía del servicio establecidos en la distribución del gas.

Las tuberías son sistemas dinámicos. El clima, las horas del día, los días de la semana y la fuerza del mercado que incrementa los consumos causa constantes cambios en el suministro y la demanda. Este tipo de cambios sumado a cortes programados o no programados del servicio, crean una genuina necesidad de herramientas de simulación diseñadas para dar una verdadera representación de condiciones reales.

Un modelo de simulación transitorio bien diseñado, permite mirar más allá de las condiciones inmediatas para determinar el estado probable de las tuberías varias veces en el futuro. El modelo transitorio creado mediante un software de simulación puede dar una oportunidad para evaluar y mejorar el rumbo de una acción elegida de entre varias alternativas.

La simulación transitoria de tuberías mediante software, se puede aplicar para:

1. Estudios de sistemas de respuesta a fallas de equipos
2. Evaluación de alternativas de estrategias operativas
3. Entrenamiento de sistemas de control
4. Costo de evaluación de modos alternativos de operación
5. Estudios de sistemas de tiempo de supervivencia

Para el desarrollo de esta monografía se realizaron modelaciones mediante el software Winflow, con el fin de evaluar el máximo caudal de diseño que puede soportar un sistema de anillos de $\frac{3}{4}$ de pulgada, cumpliendo parámetros básicos de funcionamiento como la velocidad máxima de 20m/s.

4. ROTURAS EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN

Cuando en la ejecución de obras en vía pública se ocasionan daños a las redes de gas, se generan riesgos para operarios y comunidades; se pueden presentar pérdidas económicas o de vidas humanas y se ocasionan impactos negativos al medio ambiente, que se detallan a continuación.

4.1 IMPACTO DE LAS ROTURAS EN LAS REDES DE GAS

Las redes de distribución en polietileno normalmente no presentan escapes, sin embargo como consecuencia de las obras que a diario se adelantan en el espacio público, por donde discurren las redes de distribución de gas, se ocasionan roturas que causan fugas de gas, y se generan riesgos de incendios, explosiones o asfixia, que pueden afectar al personal de obra o a terceros de comunidades aledañas a las obras.

Como consecuencia de las roturas ocasionadas por obras en espacio público, se han presentado accidentes e incidentes, en Colombia y el mundo, que en algunos casos han resultado con daños materiales, personas lesionadas y muertes. Para ejemplificar la situación se relacionó un accidente que pone en contexto el riesgo que representa una rotura en la red.

En la página de RCN la radio el 8 junio de 2012 se publicó:

Un escape de gas en la construcción de un nuevo centro comercial en el occidente de Bogotá, generó un incendio de grandes proporciones, que por fortuna no dejó ni víctimas ni heridos. Una chispa de una soldadura que cayó a un tubo de gas, generó la conflagración en el centro comercial ubicado en la calle 80 con Av. Boyacá.

Las llamas alcanzaron los 50 metros de altura debido a que el tubo de gas generó un efecto soplete. Según los guardias de seguridad privados de la obra mientras un obrero soldaba una estructura metálica, una chispa cayó sobre un tubo de gas que estaba en prueba generando la emergencia. Cinco carros de bomberos lograron controlar la conflagración, después de hora y media.

Figura 7. Fotografía de incendio ocasionado por gas, en el Centro Comercial Titán

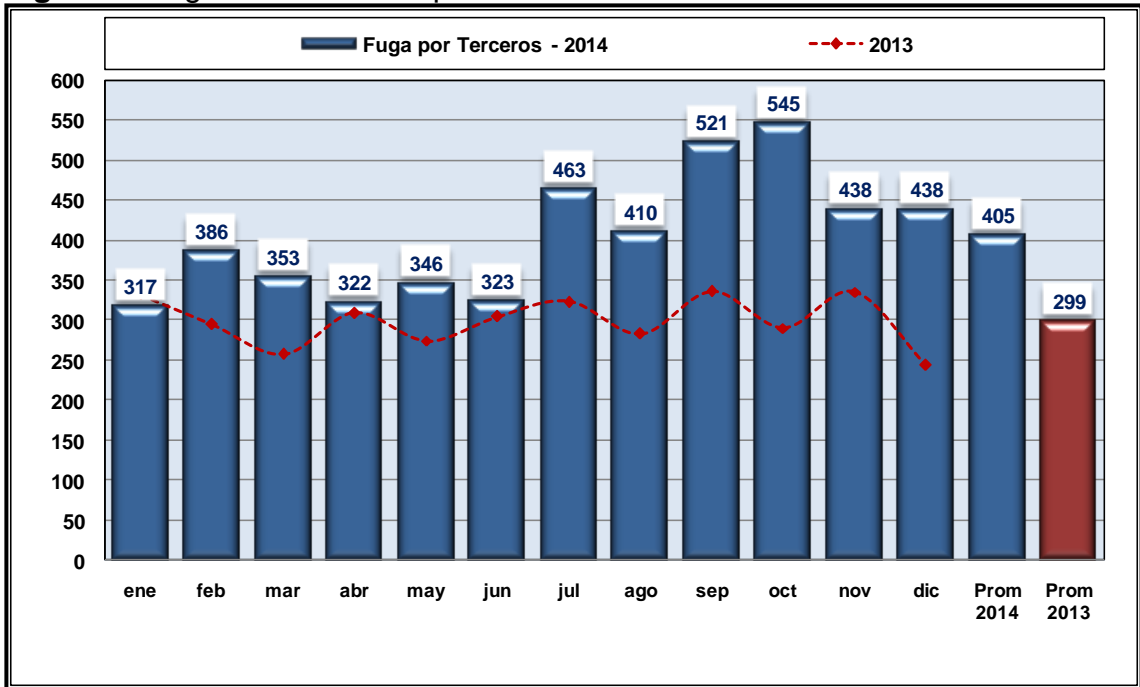


Fuente: <http://www.rcnradio.com/>, 2012

Este incendio que se presentó cuando el centro comercial Titán Plaza estaba en obra, ocurrió por la falta de prudencia de operarios de la constructora, quienes realizaban trabajos de soldadura y dejaron caer material de aporte de la soldadura a altas temperaturas sobre una red troncal de gas de dos pulgadas, que se había instalado recientemente, para el suministro del centro comercial. En el lugar no se presentaron personas afectadas, ni pérdidas materiales, debido a que ocurrió en horas de la madrugada y no había personal en la obra, pero el evento fue registrado por medios locales y nacionales resaltando los riesgos presentados.

En la ciudad de Bogotá, se presenta una gran actividad constructiva y de igual manera, a diario se presentan un importante número de roturas que la empresa Gas Natural Fenosa, debe atender en forma inmediata con el fin de prevenir riesgos o accidentes que afecten las vidas humanas. A continuación se presenta un gráfico que evidencia el comportamiento de las roturas en la red de distribución, de la sociedad Gas Natural S.A., que distribuye el servicio de gas en la ciudad de Bogotá y los municipios de Soacha, Sibaté, La Calera, El Rosal, La Mesa, Anapoima y El Colegio.

Figura 8. Fugas ocasionadas por terceros 2013 – 2014

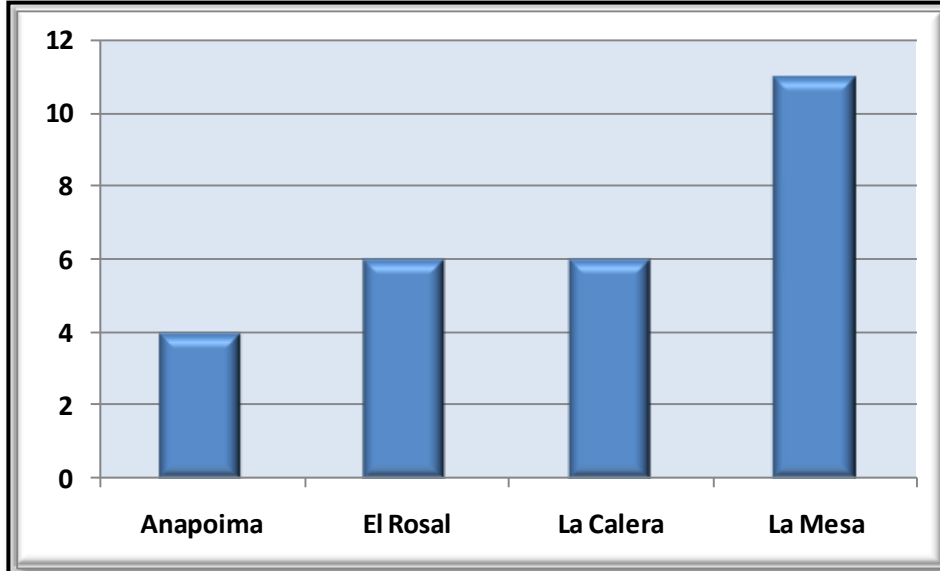


Fuente: Gas Natural Fenosa, 2014

Dado que los municipios a los que se les suministra el servicio mediante el sistema de gasoductos virtuales, disponen de módulos de almacenamiento en donde se dispone de una cantidad limitada de gas, en los momentos en los que se han presentado roturas sobre las redes de gasoductos virtuales, se presenta un alto riesgo de que toda la población se quede sin suministro, además de los riesgos que se pueden asociar a las fugas no controladas de gas, tanto en seguridad como en imagen pública para la empresa.

El siguiente grafico evidencia las fugas en las redes ocasionadas por contratistas, en los municipios que funcionan mediante el sistema de gasoductos virtuales, en la distribuidora Gas Natural Fenosa que comercializa el gas en el centro del país.

Figura 9. Fugas en la red en municipios con gasoductos virtuales - 2014



Fuente: Gas Natural Fenosa, 2014

Se debe tener en cuenta que cuando los técnicos de emergencias se disponen a controlar las fugas, deben ingresar a un lugar que normalmente es una excavación y manipular una red que se encuentra escapando gas a alta presión, lo que genera riesgos para la persona que debe realizar este procedimiento.

4.2 ANÁLISIS DE RIESGOS

Se realizó un análisis de riesgos que busca conocer las distintas situaciones que pueden presentarse asociadas a las roturas en la redes, y la manera como las válvulas de exceso pueden contribuir a reducir o mitigar estos riesgos.

El análisis se realizó usando una de las tres metodologías planteadas en una publicación del Fondo de Prevención y Atención de Emergencias FOPAE. Se escogió la metodología del método Semicuantitativo GHA, debido a que las otras metodologías están orientadas a temas corporativos, seguridad, salud y ambiente, y dado que no es motivo de esta monografía se descartaron estas metodologías.

Se define el análisis o evaluación de riesgos, como el proceso de estimar la probabilidad de que ocurra un evento no deseado con una determinada severidad o consecuencias en la seguridad, salud, medio ambiente y/o bienestar público.³

³ Fondo de Prevención y Atención de Emergencias FOPAE, Metodologías de Análisis de Riesgo, Bogotá D.C., Enero de 2014, 59 p.

La metodología del método cuantitativo del Análisis Global de Peligros o GHA (GrossHazardAnalysis) utiliza métodos de carácter inductivo, orientados a tratar de determinar lo que podría pasar.

Esta metodología establece una visión total de la posición y peso relativo de los riesgos que se producen en un proceso. Se basa en criterios y procedimientos requeridos para gestionar los riesgos relacionados con la realización de cualquier actividad, con el fin de salvaguardar la integridad de las personas, las instalaciones, el medio ambiente y la actividad económica que se realice.

A continuación se detalla el procedimiento propuesto por la metodología que se desarrolló evaluando los escenarios que pueden afectar las redes de distribución de gas, ocasionar fugas y generar riesgos que pueden afectar las vidas humanas, los bienes materiales así como la operación e imagen de las empresas distribuidoras de gas combustible por redes de distribución.

4.2.1 Definición de factores de impacto

Debido a que la el impacto de los riesgos en cada empresa puede ser diferente, se debe revisar su sensibilidad a los tipos de consecuencias. La metodología define factores como humano, económico, ambiental, operacional y de imagen o institucional. A continuación se desarrolla la evaluación de los factores de impacto.

Tabla 1. Selección de factores de impacto

ITEM	FACTOR DE IMPACTO	SENSIBILIDAD			SELECCIÓN
		BAJA (B)	MEDIA (M)	ALTA (A)	
F-1	Humano			X	X
F-2	Ambiental		X		
F-3	Operacional			X	X
F-4	Económico	X			
F-5	Institucional	X			

Para el caso de esta monografía se seleccionaron, los factores de impacto humano y operacional, ya que cuando se presentan roturas en las redes de distribución, se presenta o se puede presentar una alta sensibilidad sobre estos, mientras que los demás factores no son impactados. Se requiere que cada escenario se analice respecto de los factores seleccionados.

4.2.2 Identificación de escenarios

Las amenazas de origen natural, antrópico no intencional pueden afectar las redes de distribución, ocasionando incidentes o accidentes de distinto orden. Con el fin de limitar el análisis se califican los escenarios para seleccionar los que pueden ocasionar impacto de acuerdo a las siguientes matrices:

Tabla 2. Criterios de selección

Indice	Nivel de Significancia
De 1 a 2	No Significativa
De 3 a 4	Significativa
De 6 a 9	Muy Significativa

Fuente: FOPAE, 2014

La Significancia se obtiene multiplicando los valores estimados del Tamaño Relativo de la amenaza por el potencial de daño.

Tabla 3. Significancia y selección de escenarios

ITEM	AMENAZA	SIGNIFICANCIA				SELECCIÓN	
		(TR)	(PD)	(S)	NIVEL	SI	NO
E-1	Incendios Forestales	1	2	2	No Significativa		X
E-2	Fenómenos de Remoción de Masa	1	3	3	Significativa	X	
E-3	Movimientos Sísmicos	3	2	6	Muy Significativa	X	
E-4	Eventos atmosféricos (vendavales, granizadas, tormentas eléctricas, etc.)	1	1	1	No Significativa		X
E-5	Inundaciones por desbordamiento de cuerpos de agua (ríos, quebradas, humedales, etc.)	1	2	2	No Significativa		X
E-6	Avenidas torrenciales	2	1		No Significativa		X
E-7	Incendios (estructurales, eléctricos, por líquidos o gases inflamables, etc.)	1	3	3	Significativa	X	
E-8	Fugas de gas, ocasionadas por roturas de la red, en la ejecución de obras en vía pública.	1	3	3	Significativa	X	
E-9	Explosión (gases, polvos, fibras, etc.)	1	3	3	Significativa	X	
E-10	Inundación por deficiencias de la infraestructura hidráulica (redes de alcantarillado, acueducto, etc.)	2	1	2	No Significativa		X
E-11	Fallas en sistemas y equipos	1	2	2	No Significativa		X
E-12	Comportamiento no adaptativos por temor	1	2	2	No Significativa		X
E-13	Accidentes de vehículos	1	3	3	Significativa	X	
E-14	Hurtos	1	2	2	No Significativa	X	

Conveniones: TD, Tamaño Relativo; PD, Potencial de Daño; S, Significancia.

Tabla 4. Matriz de significancia para las amenazas

		POTENCIAL DE DAÑO		
		1 BAJO	2 MEDIO	3 ALTO
TAMAÑO RELATIVO	ALTO 3	3	6	9
	MEDIO 2	2	4	6
	BAJO 1	1	2	3

Fuente: FOPAE, 2014

Dentro de la lista de escenarios planteados, se seleccionaron aquellos escenarios que pueden causar o han causado daños en las redes de distribución, y que con ocasión de presentarse pueden causar fugas en la red.

4.2.3 Parámetros de Referencia

Para desarrollar el análisis se determinaron algunos parámetros de referencia para ayudar a realizar una adecuada medición, los cuales se describen a continuación:

4.2.3.1 Probabilidad de los siniestros

La probabilidad se determina por la posibilidad de ocurrencia, asignando un valor relativo a cada uno. La probabilidad frecuentista estima el número de casos año para cada evento posible. Se explica en la siguiente tabla:

Tabla 5. Tabla de frecuencias

TABLAS DE FRECUENCIAS			
FRECUENCIA	DEFINICION	CASOS/AÑO	VALOR
IMPROBABILIDAD	Difícil que ocurra; se espera que ocurra menos de una vez en 50 años.	Menos de 0.02	1
REMOTO	Baja probabilidad de ocurrencia; ha sucedido o se espera que suceda solo pocas veces, una vez entre los 20 y 50 años.	Entre 0.02 y 0.05	2
OCASIONAL	Limitada probabilidad de ocurrencia; sucede en forma esporádica, una vez entre los 5 y los 20 años.	Entre 0.05 y 0.2	3
MODERADO	Mediana probabilidad de ocurrencia; sucede algunas veces, una vez entre 1 y los 5 años.	Entre 0.2 y 1.0	4
FRECUENTE	Significativa probabilidad de ocurrencia; sucede en forma reiterada, entre 1 vez y 10 veces al años.	Entre 1.0 y 10	5
CONSTANTE	Alta probabilidad de ocurrencia; ocurre en forma seguida, mas de 10 veces al año.	Más de 10	6

Fuente: FOPAE, 2014

4.2.3.2 Gravedad de las consecuencias

Para cuantificar la gravedad de las consecuencias, esta metodología realiza una clasificación de las consecuencias sobre los factores afectados, que para el caso de esta monografía corresponden a las víctimas y afectación operacional, los que son presentados en la siguiente tabla:

Tabla 6. Tabla criterios de las consecuencias

CRITERIOS DE LAS CONSECUENCIAS	
CRITERIO	DEFINICIÓN
INSIGNIFICANTE	Las consecuencias no afectan de ninguna forma a la Organización. Las pérdidas o daños son despreciables; no producen lesiones a las personas o solo producen lesiones leves sin incapacidad.
MARGINAL	Las consecuencias no afectan en forma significativa el funcionamiento de la Organización. Las pérdidas o daños son pequeños; se pueden producir solo lesiones leves con incapacidad.
GRAVE	Las consecuencias solo afectan parcialmente el funcionamiento de la Organización. Pero no genera peligro su estabilidad; pérdidas o daños moderados; produce o puede producir hasta 30 víctimas graves que requieren hospitalización; no produce muertes.
CRITICA	Las consecuencias afectan de manera total el funcionamiento de la Organización, en forma temporal, pero no de una manera irrecuperable; perdida y daños significativos; produce más de 30 víctimas graves o hasta 5 muertes.
DESASTROSA	Las consecuencias afectan totalmente a la Organización. Generando daños irrecuperables, pero sin hacerlo desaparecer; pérdidas o daños considerables; puede producir entre 6 y 10 muertes.
CATASTRÓFICA	Las consecuencias afectan en forma total a la Organización y puede hacerla desaparecer; pérdidas o daños de gran magnitud; puede producirse más de 10 muertes.

Fuente: FOPAE, 2014

Para esta metodología se establecen las siguientes tablas de consecuencias para cada uno de los factores de impacto:

Tabla 7. Víctimas – Impacto humano

GRAVEDAD DE LAS CONSECUENCIAS - VÍCTIMAS (Impacto Humano)		
FRECUENCIA	DEFINICION	VALOR
INSIGNIFICANTE	Sin lesiones o lesiones leves sin incapacidad	1
MARGINAL	Lesiones leves con incapacidad	2
GRAVE	Hasta 30 víctimas graves	5
CRITICA	Más de 30 víctimas graves, hasta 5 muertes	10
DESASTROSA	Entre 6 y 10 muertes	20
CATASTRÓFICA	Mas de 10 muertes	50

Fuente: FOPAE, 2014

Tabla 8. Operación – Impacto operacional

GRAVEDAD DE LAS CONSECUENCIAS – OPERACIÓN (Impacto Operacional)		
FRECUENCIA	DEFINICION	VALOR
INSIGNIFICANTE	Menos de dos (2) horas	1
MARGINAL	Entre dos (2) y cuatro (4) horas	2
GRAVE	Entre cuatro (4) y ocho (8) horas	5
CRITICA	Entre ocho (8) y veinticuatro (24) horas	10
DESASTROSA	Entre veinticuatro (24) y cuarenta y ocho (48) horas	20
CATASTRÓFICA	Más de cuarenta y ocho (48) horas	50

Fuente: FOPAE, 2014

En las tablas de valoración de escenarios de impacto humano e impacto operacional, el riesgo marginal tiene el propósito de definir los riesgos a intervenir, no para eliminarlos sino para llevarlos a un nivel aceptable, considerado como seguro por la empresa que realiza el análisis de riesgos.

El desarrollo de la valoración de los escenarios se establece en las siguientes tablas:

Tabla 9. Valoración de los escenarios de Impacto Humano

VALORACION INICIAL DE LOS ESCENARIOS						FACTOR DE IMPACTO:			HUMANO	
No.	ESCENARIO	FRECUENCIA		CONSECUENCIAS		RIESGO HUMANO	IMPACTO HUMANO	POSICIÓN ESCENARIO	CALIFICACIÓN DE ACEPTABILIDAD	RIESGO MARGINAL
		Nivel	Vr	Nivel	Vr					
E-2	Fenómenos de Remoción de Masa	Moderado	4	Grave	5	20	8,3%	4-5-	INACEPTABLE	5,3%
E-3	Movimientos Sísmicos	Ocasional	3	Grave	5	15	5,0%	3-5	TOLERABLE	2,0%
E-7	Incendios (estructurales, eléctricos, por líquidos o gases inflamables, etc.)	Constante	6	Critica	10	60	20,0%	6-10	INACEPTABLE	17,0%
E-8	Fugas ocasionadas por roturas de red, en la ejecución de obras en vía pública.	Constante	6	Critica	10	60	20,0%	6-10	INACEPTABLE	17,0%
E-9	Fugas por falla de material o por acción de roedores.	Frecuente	5	Critica	10	50	16,5%	5-10	INACEPTABLE	13,5%
E-13	Accidentes de vehículos	Frecuente	5	Grave	5	25	8,3%	5-5	INACEPTABLE	5,3%
E-14	Hurtos de centros de medición	Constante	6	Marginal	2	12	4,0%	6-2	TOLERABLE	1,0%

Tabla 10. Valoración de los escenarios de Impacto Operacional

VALORACION INICIAL DE LOS ESCENARIOS						FACTOR DE IMPACTO:			OPERACIONAL	
No.	ESCENARIO	FRECUENCIA		CONSECUENCIAS		RIESGO OPERACIONAL	IMPACTO OPERACIONAL	POSICIÓN ESCENARIO	CALIFICACIÓN DE ACEPTABILIDAD	RIESGO MARGINAL
		Nivel	Vr	Nivel	Vr					
E-2	Fenómenos de Remoción de Masa	Moderado	4	Marginal	2	8	2,6%	4-2	ACEPTABLE	-0,4%
E-3	Movimientos Sísmicos	Ocasional	3	Grave	5	15	5,0%	3-5	TOLERABLE	2,0%
E-7	Incendios (estructurales, eléctricos, por líquidos o gases inflamables, etc.)	Constante	6	Grave	5	30	10,0%	6-5	INACEPTABLE	7,0%
E-8	Fugas ocasionadas por roturas de red, en la ejecución de obras en vía pública.	Constante	6	Marginal	2	12	4,0%	6-2	TOLERABLE	1,0%
E-9	Fugas por falla de material o por acción de roedores.	Frecuente	5	Marginal	2	10	3,3%	5-2	TOLERABLE	0,3%
E-13	Accidentes de vehículos	Frecuente	5	Marginal	2	10	3,3%	5-2	TOLERABLE	0,3%
E-14	Hurtos de centros de medición	Constante	6	Marginal	2	12	4,0%	6-2	TOLERABLE	1,0%

Las tablas de valoración de los escenarios, toman como base la frecuencia y las consecuencias sobre el factor evaluado asignando un factor de impacto y una calificación de aceptabilidad que asociada a un riesgo marginal permiten orientar las acciones de la empresa para reducir el riesgo marginal, para que en lo posible estos escenarios se puedan llevar a un nivel aceptable.

4.2.4 Valores posibles de riesgo e impacto

Después de definir los parámetros de referencia, se calculan los valores de riesgo e impacto, para cada escenario de acuerdo a su frecuencia y consecuencias relativas; asignando un valor de riesgo un valor de impacto. Para este ejercicio se tomó la tabla de la misma manera conforme se propone en la metodología por parte de la FOPAE.

Tabla 11. Matriz de riesgo e impacto

FRECUENCIA RELATIVA							
CONSTANTE	6	6 (2%)	12 (4%)	30 (10%)	60 (20%)	120 (40%)	300 (100%)
FRECUENTE	5	5 (1.6%)	10 (3.3%)	25 (8.3%)	50 (16.5%)	100 (33%)	250 (83%)
MODERADO	4	4 (1.3%)	8 (2.6%)	20 (6.6%)	40 (13.3%)	80 (26%)	20 (66%)
OCASIONAL	3	3 (1%)	6 (2%)	15 (5%)	30 (10%)	60 (20%)	150 (50%)
REMOTO	2	2 (0.6%)	4 (1.3%)	10 (3.3%)	20 (6.6%)	40 (13%)	100 (33%)
IMPROBABLE	1	1 (0.3%)	2 (0.6%)	5 (1.6%)	10 (3.3%)	20 (6.6%)	50 (16%)
		1	2	5	10	20	50
		INSIGNIFICANTE	MARGINAL	GRAVE	CRITICA	DESASTROSA	CATASTRÓFICA
		CONSECUENCIA RELATIVA					

Fuente: FOPAE, 2014

4.2.5 Aceptabilidad de los riesgos

Para calificar la gravedad relativa de un riesgo y definir la necesidad de intervenirlo y su prioridad, así como la asignación de recursos, se establecen los criterios de aceptabilidad en función del impacto relativo, por lo que la metodología define los siguientes impactos.

Tabla 12. Criterios de aceptabilidad

CRITERIOS DE ACEPTABILIDAD	
CRITERIO	DEFINICIÓN
ACEPTABLE	Significa que la relación Frecuencia-Consecuencia; no implica una gravedad Significativa, por lo que no amerita la inversión de recursos y no requiere acciones para la gestión sobre el factor impacto considerado, diferentes a las ya aplicadas en el escenario.
TOLERABLE	Significa que la relación Frecuencia-Consecuencia; aunque deben desarrollarse actividades para la gestión sobre el riesgo, tiene una prioridad de segundo nivel, pudiendo ser a mediano plazo.
INACEPTABLE	Significa que la relación Frecuencia-Consecuencia; se requiere siempre desarrollar acciones prioritarias e inmediatas para su gestión, debido al alto impacto que tendrían sobre la Organización
INADMISIBLE	Significa que la relación Frecuencia-Consecuencia; por bajo ninguna circunstancia se deberá mantener un escenario con esa capacidad potencial de afectar la estabilidad de la Organización, pues podría hacerla desaparecer. Por ello estos escenarios requieren una atención de “Alta Prioridad” para disminuir a corto o inmediato plazo su impacto.

Fuente: FOPAE, 2014

Se establece la Matriz de Aceptabilidad de Riesgos; en ella se grafica los criterios sobre los niveles de riesgo que son aceptables o no para la organización. Para ello se definen los valores de aceptabilidad de cada una de las zonas dentro de la matriz, de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 13. Valores de aceptabilidad

VALORES DE ACEPTABILIDAD		
	ZONA	CRITERIO DE ACEPTABILIDAD
	ACEPTABLE	Hasta el 3.0% de Impacto
	TOLERABLE	Del 3.1% hasta el 5.0% de Impacto
	INACEPTABLE	Del 5.1% hasta el 30.0% de Impacto
	INADMISIBLE	Del 30.1% en adelante

Fuente: FOPAE, 2014

Tabla 14. Matriz de aceptabilidad de los riesgos

FRECUENCIA RELATIVA							
CONSTANTE	6	Aceptable	Tolerable	Inaceptable	Inaceptable	Inadmisible	Inadmisible
FRECUENTE	5	Aceptable	Tolerable	Inaceptable	Inaceptable	Inadmisible	Inadmisible
MODERADO	4	Aceptable	Aceptable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Inadmisible
OCASIONAL	3	Aceptable	Aceptable	Tolerable	Inaceptable	Inaceptable	Inadmisible
REMOTO	2	Aceptable	Aceptable	Tolerable	Inaceptable	Inaceptable	Inadmisible
IMPROBABLE	1	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Tolerable	Inaceptable	Inaceptable
		1	2	5	10	20	50
		INSIGNIFICANTE	MARGINAL	GRAVE	CRITICA	DESASTROSA	CATASTRÓFICA
		CONSECUENCIA RELATIVA					

Fuente: FOPAE, 2014

4.2.6 Perfil de los riesgos

De acuerdo a la metodología sobre la matriz de aceptabilidad de riesgo, se ubican cada uno de los escenarios evaluados, para cada uno de los impactos seleccionados de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 15. Perfil de riesgo humano

FRECUENCIA RELATIVA							
CONSTANTE	6		E-10		E-7 E-8		
FRECUENTE	5			E-13	E-9		
MODERADO	4			E-2			
OCASIONAL	3			E-3			
REMOTO	2						
IMPROBABLE	1						
		1	2	5	10	20	50
		INSIGNIFICANTE	MARGINAL	GRAVE	CRITICA	DESASTROSA	CATASTRÓFICA
		CONSECUENCIA RELATIVA					

Los perfiles de riesgo de cada factor permiten evidenciar, como se encuentran los escenarios de riesgos dentro de cada una de las franjas los niveles de aceptabilidad, así como validar la posibilidad de acometer acciones que de manera conjunta puedan mitigar varios escenarios.

Tabla 16. Perfil de riesgo operacional

FRECUENCIA RELATIVA		CONSECUENCIA RELATIVA					
		1	2	5	10	20	50
		INSIGNIFICANTE	MARGINAL	GRAVE	CRITICA	DESASTROSA	CATASTRÓFICA
CONSTANTE	6		E-8 E-14	E-7			
FRECUENTE	5		E-9 E-13				
MODERADO	4		E-2				
OCASIONAL	3			E-3			
REMOTO	2						
IMPROBABLE	1						

4.2.7 Patrones normales de distribución

Representa la distribución de los escenarios, en cada una de las zonas de aceptabilidad, para cada uno de los factores de impacto. Se calcula el porcentaje de escenarios en una zona, sobre el total de escenarios de la siguiente forma:

Tabla 17. Distribución normal de escenarios del factor humano

DISTRIBUCION NORMAL DE ESCENARIO		FACTOR DE IMPACTO		HUMANO
NIVEL DE ACEPTABILIDAD	ESCENARIOS	DISTRIBUCIÓN REAL	DISTRIBUCIÓN DE ESCENARIOS	VARIACIÓN
Aceptable	0	0%	Mínimo el 65%	
Tolerable	2	29%	Máximo el 25%	4%
Inaceptable	5	71%	Máximo el 10%	61%
Inadmisible	0	0%	Solo el 0%	
TOTAL	7	100%	100%	65%

La distribución de los escenarios del factor humano, permite evidenciar que existe una concentración de escenarios del 71%, que generan riesgo en el nivel “inaceptable”, y debido a que la metodología solo permite el 10%, se evidencia que se requieren acciones inmediatas para reducir el 61% de variación de estos riesgos. Lo anterior evidencia que existe una gran necesidad de implementar acciones, que permitan reducir estos riesgos que se encuentran en el nivel “inaceptable”, ya que de acuerdo con la metodología propuesta, se deben desarrollar acciones prioritarias e inmediatas, debido al alto impacto que estos riesgos tienen sobre la organización.

Tabla 18. Distribución normal de escenarios del factor operacional

DISTRIBUCION NORMAL DE ESCENARIO		FACTOR DE IMPACTO		OPERACIONAL
NIVEL DE ACEPTABILIDAD	ESCENARIOS	DISTRIBUCIÓN REAL	DISTRIBUCIÓN DE ESCENARIOS	VARIACIÓN
Aceptable	1	14%	Mínimo el 65%	-51%
Tolerable	5	71%	Máximo el 25%	46%
Inaceptable	1	14%	Máximo el 10%	4%
Inadmisible	0	0%	Solo el 0%	
TOTAL	7	100%	100%	0%

La distribución de los escenarios del factor operacional, permite evidenciar una variación del 4% frente al nivel de aceptabilidad “inaceptable” y una variación del 46% en el nivel “tolerable”, que aunque de acuerdo a lo indicado por la metodología pueden mitigarse en el mediano plazo, si se tiene en cuenta la urgencia de mitigar los escenarios del factor humano, pueden emprenderse acciones como la implementación de la válvula de exceso de flujo que permitirían mitigar también estos escenarios de manera conjunta. Finalmente, se determinó el índice total de distribución de escenarios, consolidando los resultados de los factores de la siguiente tabla:

Tabla 19. Índice total de distribución

ÍNDICE TOTAL DE DISTRIBUCIÓN DE ESCENARIOS					
	ACEPTABLE	TOLERABLE	INACEPTABLE	INADMISIBLE	TOTAL
HUMANO	0%	29%	71%	0%	100%
OPERACIONAL	14%	71%	14%	0%	100%
TOTALES	14%	100%	85%	0%	200%
DISTRIBUCIÓN	7%	50%	43%	0%	100%
PATRÓN	Mínimo 65%	Máximo 25%	Máximo 10%	0%	100%
VARIACIÓN	-58%	25%	33%	0%	0%

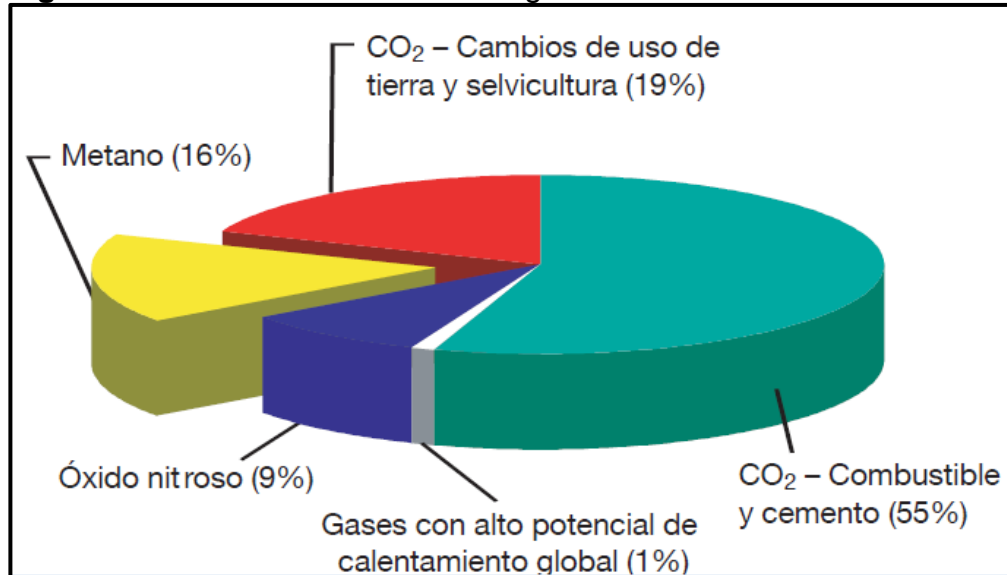
En la evaluación total del índice de distribución tomando el promedio de ambos escenarios (humano y operacional) se evidencia que entre los niveles de aceptabilidad predomina el “inaceptable”, confirmando que se requieren realizar acciones a corto plazo, para mitigar estos escenarios de riesgo. Por lo anterior la implementación de las válvulas de exceso de flujo es una solución que permite reducir estos riesgos en las empresas distribuidoras de gas natural.

4.3 IMPACTO AMBIENTAL DE LAS ROTURAS EN LAS REDES

Cuando se produce una rotura sobre la red de distribución, se presentan emisiones de gas natural a la atmosfera, causando un impacto ambiental negativo, ya que el gas natural está compuesto generalmente en un 90% por metano, el cual es un gas de efecto invernadero relativamente potente que contribuye al calentamiento global, ya que tiene un potencial de calentamiento global 23 veces mayor que el del dióxido de carbono. Después del dióxido de carbono, el metano ocupa el segundo lugar, en cuanto a gases de efecto invernadero causados por actividades humanas.⁴

Cabe aclarar que EL 60% de las emisiones de gas metano del mundo, son de origen antropogénico o causadas por el hombre. Entre las fuentes causadas por el hombre, también se contabilizan la agricultura, las minas de carbón y los vertederos. Las emisiones producidas por las actividades asociadas a la extracción y comercialización del petróleo y gas constituyen el 16% del total de las emisiones de gas, las que se presentan en la siguiente grafica.

Figura 10. Emisiones mundiales de gases de invernadero en el 2000



Fuente: www.methanetomarkets.org

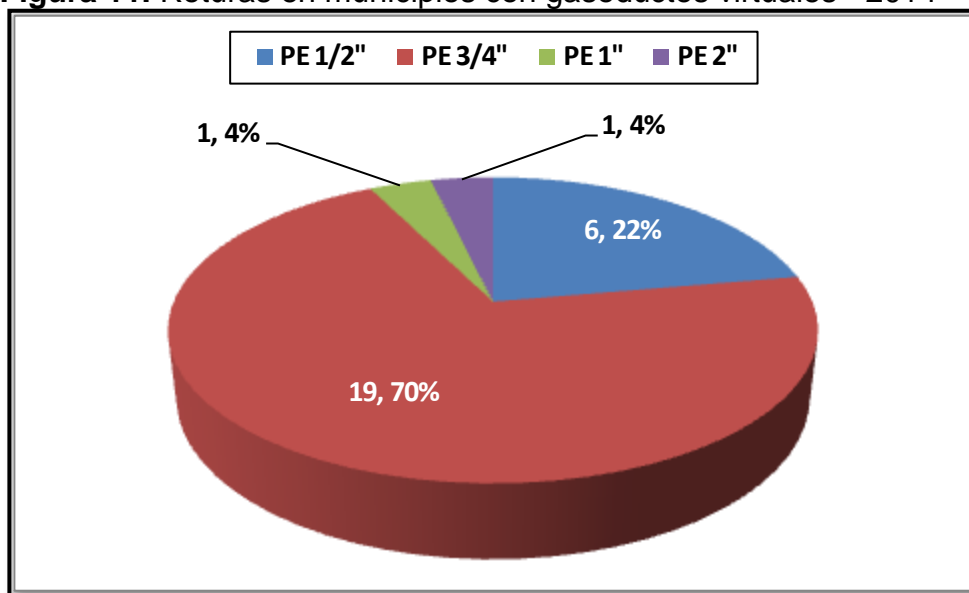
⁴ Tomado de: https://www.globalmethane.org/documents/methane_fs_spa.pdf

5. LAS VALVULAS DE EXCESO DE FLUJO

El uso de las válvulas de exceso de flujo en Colombia no se encuentra masificado. La empresa Gas Natural Fenosa realizó un aprovechamiento de esta tecnología, en las acometidas (derivaciones de las redes hacia las viviendas) instaladas en los municipios con gasoductos virtuales.

Las acometidas instaladas que se construyen en tubería de $\frac{1}{2}$ pulgada son tan solo una mínima parte de la red de distribución, mientras que los metros de anillo de distribución instalado, corresponden a la mayor cantidad de red en servicio. Por lo anterior la mayor cantidad de roturas no se presentan en las acometidas que disponen de válvulas de exceso de flujo, sino en las redes de distribución, en donde no existen dispositivos de seguridad o válvulas de exceso de flujo, sino que el gas continua saliendo a la atmosfera hasta la llegada de los técnicos de emergencias, y la operación que permita el control de la fuga mediante el prensado o cierre de las válvulas.

Figura 11. Roturas en municipios con gasoductos virtuales - 2014



Fuente: Gas Natural Fenosa, 2015

La figura 11 muestra que en el año 2014 de las 27 roturas que se presentaron en las redes de distribución, 19 roturas ósea el **70%** se presentaron en anillos de $\frac{3}{4}$ de pulgada, mientras que en las acometidas de $\frac{1}{2}$ pulgada, solo se evidenciaron 6 casos que significaron el 22% y las roturas en 1 y 2 pulgadas fueron 1 en cada diámetro por lo que sumadas no representaron más del 8%. Las cifras que se

presentan en la anterior gráfica, evidencian que el proyecto de implementar las válvulas de exceso de flujo en los anillos de distribución genera un impacto importante, lo que aportaría un gran avance en términos de seguridad para las empresas distribuidoras.

El uso de las válvulas de exceso de flujo no ha sido aprovechado en los anillos de distribución, debido a que no se han realizado estudios que permitan determinar cuál debe ser el volumen flujo al cual la válvula se debe activar, lo que es un factor determinante para el fabricante y un factor de riesgo a su vez para la empresa distribuidora, dado que al incrementarse el consumo por la captación de clientes nuevos se puede alcanzar el flujo en el que el dispositivo se active, sin que se haya presentado una rotura, ocasionando problemas de continuidad en el suministro que podrían afectar a los clientes y a la imagen de la empresa.

La válvula de exceso de flujo (EFV por sus siglas en inglés), también conocida como válvula Gas Stop (GS), es un dispositivo especial de seguridad destinado a las líneas residenciales de conexión, anillos de distribución y redes troncales con el suministro de gas natural u otros sistemas de gas. Por lo general, la válvula se instala a la salida de la toma de servicio, en el punto de derivación, o sobre la línea de conexión de la vivienda, aunque también puede instalarse en otros puntos y ser utilizada con otros fines.⁵

El uso de las válvulas de exceso de flujo en los gasoductos virtuales, no solo permite reducir de manera significativa los riesgos al presentarse una rotura en la red de gas, sino que puede evitar una posible ausencia total de suministro en un municipio con gasoducto virtual, debido a que una fuga por terceros puede desocupar los módulos de almacenamiento.

Algunas de las características y beneficios que entregan las válvulas de exceso de flujo son:

- Las fugas de gas son controladas de forma inmediata, lo que reduce los riesgos de accidentes, mientras se espera la llegada de los técnicos de emergencias.
- Se reducen los riesgos para los técnicos de emergencias, quienes deben excavar en el espacio público, en presencia de ambientes explosivos, ocasionados por las fugas de gas.
- La puesta en funcionamiento normal tras las reparaciones se efectúa a través de contrapresión, de forma automática o manual.
- Se Incrementa la confianza en el gas por parte de la opinión pública

⁵ PLASON. Ficha técnica. Válvula de Exceso de Flujo. 2013. <http://www.plasson.com/gallery/upload/ElectroFusion/Excess%20Flow%20Valve.pdf>

- Protege a la compañía de gas contra la publicidad negativa injustificable y las responsabilidades excesivas que pudiesen resultar de una emergencia por escape de gas
- Se pueden adaptar a tuberías de distintos fabricantes.
- Construidas con materiales libres de mantenimiento⁶

5.1 FUNCIONAMIENTO

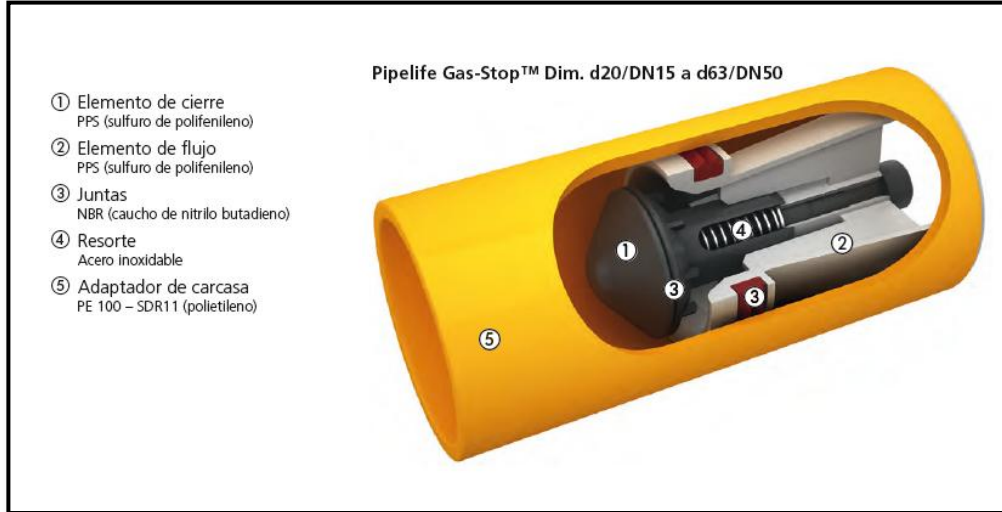
La válvula de exceso de flujo dispone de un mecanismo que se activa cuando se presenta un aumento de caudal de caudal previamente estimado, lo que normalmente se presenta por roturas accidentales en la red de distribución. La válvula en condiciones normales permanecerá abierta en un rango de caudal específico, el cual se establecerá previamente de acuerdo a las necesidades de la distribuidora y las especificaciones dadas por el fabricante.

5.1.1 Principios de operación

El dispositivo de seguridad opera mediante un resorte que normalmente mantiene la válvula abierta impidiendo que en condiciones normales de operación, esta se cierre. Cuando el caudal de gas excede un valor previamente establecido para el cual ha sido diseñado, el resorte cede y la válvula cierra el paso del gas impidiendo la emisión de gas al ambiente y posibles incidentes ó accidentes que pueden presentarse con ocasión de una rotura en la red. La siguiente grafica, resalta los componentes que permiten el funcionamiento de la válvula.

⁶ GAS BREAKER. Ficha técnica. Válvulas de exceso de flujo.
<http://www.gasbreakerinc.com/pdf/UMAC-Excess-Flow-Valves-Spanish.pdf>

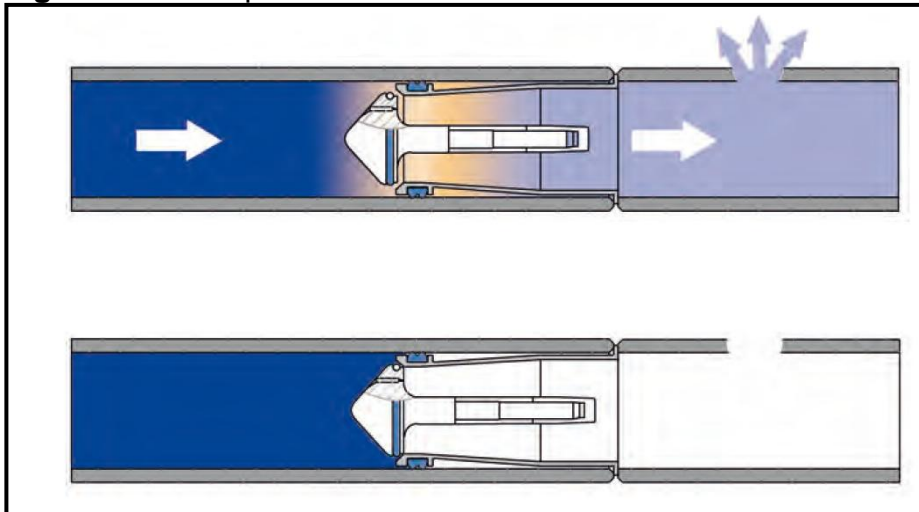
Figura 12. Componentes de la válvula de exceso de flujo



Fuente: Catálogo de productos, Pipelife Gas-Stop, 2014

El resorte del dispositivo permite que se obstruya el flujo nominal, y previene el cierre prematuro. Cuando se presenta una rotura en sobre el anillo de distribución, el flujo llega al valor de cierre establecido. La diferencia de presiones ocasionada por el valor de cierre establecido aplica sobre el cuerpo de cierre una fuerza mayor que la del resorte de modo que el cuerpo de cierre se mueve hacia el asiento de la válvula ocasionando el cierre. El siguiente grafico evidencia el flujo de gas cuando se presenta una rotura, y unos segundos después, cuando se suspende el suministro al accionarse la válvula.

Figura 13. Principio de funcionamiento de una válvula de exceso de flujo



Fuente: Catálogo de productos, Pipelife Gas-Stop, 2014

Los daños menores que normalmente no revisten riesgo, o con orificios pequeños sobre la red, en los que no se excede el valor límite para el caudal, no ocasionan el cierre de la válvula. En las redes de distribución, el intervalo desde el momento del cierre hasta la ausencia total de presión puede tardar varios minutos dependiendo de la presión de servicio, diámetro y longitud de la misma.

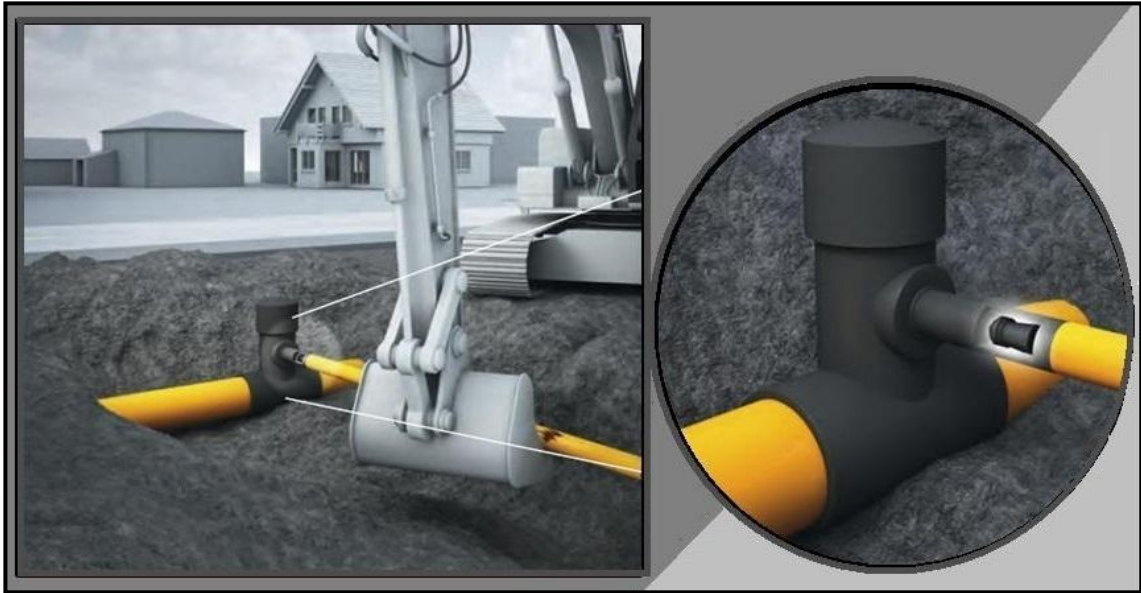
La apertura de la válvula y el restablecimiento del servicio, se realiza cuando se estabilizan las presiones aguas arriba y aguas debajo de la válvula. Con el fin de permitir que la presión se estabilice, la válvula dispone de un pequeño orificio, que permite el paso de gas en una mínima cantidad con el fin de igualar la presión aguas abajo, una vez se haya iniciado el prensado para la reparación de la tubería.

En los casos que se presenten tramos largos que dificulten el llenado de la tubería se puede hacer cierre de la poliválvula, ya que el tramo desde la silleta a la válvula es muy corto, (no más de 50 cm) lo que facilitaría la estabilización de la presión en pocos minutos, ayudando a la reapertura del dispositivo rápidamente.

Debido a la anterior situación, es recomendable que el dispositivo se acople a la silleta (derivación de la troncal) o se instale después de esta y antes de la poliválvula de anillo, con el fin de facilitar un rápido restablecimiento del servicio en los casos que se puedan presentar dificultades en la reapertura de la válvula.

Debido al principio de funcionamiento del dispositivo este solo se activa cuando el flujo opera en un solo sentido (no opera cuando sentido del flujo varia), por lo que solo sería posible su funcionamiento en los anillos de distribución, si se instala en donde el flujo del servicio funciona en un solo sentido, ósea antes de la té que permite que se inicie la formación del anillo. Esto asegura el corte definitivo del flujo de gas que se realiza al suspender el tramo de red que conecta la silleta con el anillo de distribución. La siguiente imagen indica el sitio donde se instala la válvula en condiciones normales, y evidencia el tramo de red protegido con ocasión de una rotura por retroexcavadora.

Figura 14. Detalle de ubicación de la válvula en la silleta y acción en caso de rotura



Fuente: Catálogo de productos, Pipelife Gas-Stop, 2014

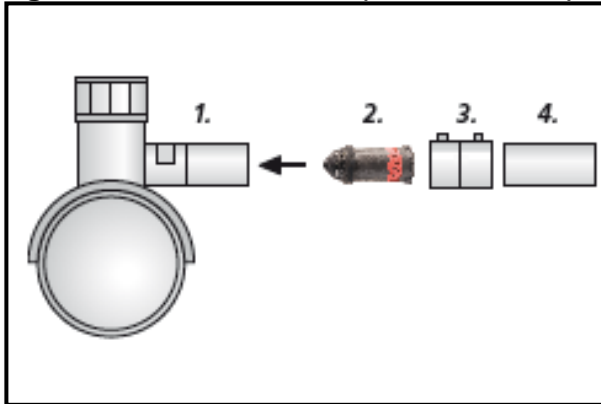
5.1.2 Instalación del producto

Para proteger la mayor longitud de tubo posible de una red de distribución, la instalación de la válvula de exceso de flujo debe hacerse lo más cercano posible a la silleta que deriva de la red troncal al anillo de distribución. Existen modelos de distintos fabricantes que se pueden adaptar a la salida de las silletas o ensamblar a la silleta cuando se realiza su fabricación.

De acuerdo a información suministrada por el departamento técnico de Extrucol S.A., (fabricante de tubería para gas y accesorios de polietileno), se confirmó que es posible el ensamble de la válvula de exceso de flujo a la silleta y que ya se ha realizado el ensamblaje para la distribuidora Gases del Caribe, que está usando las válvulas de exceso de flujo en proyectos con gasoductos virtuales.

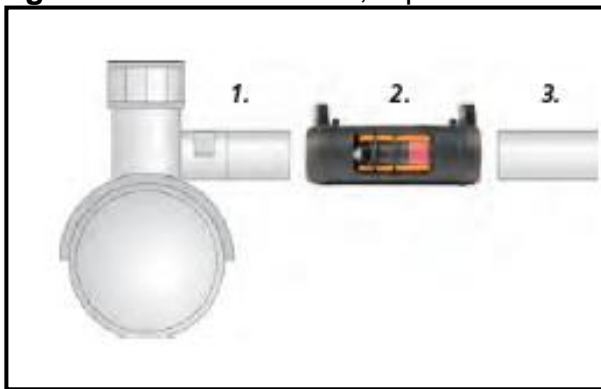
En las siguientes imágenes se evidencian dos ejemplos de instalación o adaptación de las válvulas a las silletas.

Figura 15. Modelo GS, Pipelife Gas-Stop



Fuente: Catálogo de productos, Pipelife Gas-Stop, 2014

Figura 16. Modelo GSAE, Pipelife Gas-Stop



Fuente: Catálogo de productos, Pipelife Gas-Stop, 2014

Para instalar el producto hasta el tope de la silleta el fabricante recomienda, humedecer el anillo obturador externo con agua, y al introducirlo no girar el mismo y hacerlo solamente en posición horizontal.

5.2 VARIABLES BÁSICAS DE OPERACIÓN DE LAS VÁLVULAS DE EXCESO DE FLUJO

Las válvulas de exceso de flujo, son herramientas que mejoran la seguridad en los sistemas, pero poseen limitantes enmarcados en los parámetros físicos de los fluidos gaseosos, que deben tenerse en cuenta y que se plantean a continuación.

5.2.1 Caudal nominal

Corresponde al flujo que se presenta con el consumo promedio y el consumo máximo en m³/h, que puede operar en la red donde se instalará el dispositivo.

5.2.2 Caudal de cierre

Corresponde al flujo en m³/h al que debe accionarse el dispositivo de cierre de la válvula, suspendiendo el flujo de gas en caso de una rotura sobre la red. Este flujo puede variar en función del caudal nominal

5.2.3 Diámetro y presión de servicio

Corresponden al diámetro de la red donde se va a instalar el dispositivo y las presiones mínima y máxima a la que puede operar la red en condiciones normales.

5.2.4 Longitud de tubo segura

Se define como aquella sección de tubería dentro de la cual una válvula de exceso de flujo, se cierra en el caso de un tamaño de daño determinado. Por lo anterior la longitud de tubo depende de la presión de servicio, tamaño del daño, factor de escape y rugosidad del tubo.

La compañía austriaca Pipelife realizó pruebas en el marco de un estudio estadísticamente científico, de tuberías dañadas en obras públicas, donde se determinó el factor del tamaño de daño y el factor de escape o fuga. El resultado indicó que predominaban tamaños de daño del tubo del 70%, y factor de escape de 0,6. El factor de escape está determinado por el tamaño de la zona de daño. Los bordes lisos tienen factores de escape más altos; las deformaciones y los bordes rugosos tienen factores de escape más bajos.

6. SELECCIÓN DE LA VALVULA DE EXCESODE FLUJO ADECUADA

En este capítulo, se evaluó el comportamiento del flujo de gas en una red con ocasión de una rotura, se determinó el flujo máximo de gas y la presión mínima, (variables en condiciones extremas, como alto consumo y caída de presión) sobre el que se diseñan los anillos de polietileno y se determinó la distancia máxima que puede medir una red de anillo de $\frac{3}{4}$, con el fin de sustentar las variables que se tuvieron en cuenta para determinar una válvula que se ajuste a las condiciones de las redes, que se encuentran instaladas en las ciudades o municipios de Colombia.

6.1 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL FLUJO CON OCASIÓN DE UNA ROTURA EN LA RED

Con el fin de conocer el comportamiento real del flujo de un sistema de distribución cuando se presenta una rotura en la red, se realizó un estudio tomando como referencia una rotura presentada sobre una red de polietileno de $\frac{3}{4}$ de pulgada en el municipio de La Calera, en la Carrera 10 No. 10 - 34 el 24 de junio de 2015, que fue registrado en el call center de atención de urgencias a las 10:23 a.m. y controlado por los técnicos del área de urgencias a las 10:46 de la mañana.

La rotura en la red fue ocasionada por obras de reconstrucción de andenes mediante una pequeña retroexcavadora tipo Bobcat, lo que averió la red en la parte superior ocasionando una perforación de gran tamaño al tubo, y permitiendo alto flujo en la salida del gas de la red. En la siguiente imagen se presenta el sistema de anillos de distribución que fue afectado y el lugar de la rotura.

Figura 17. Localización del punto donde se presentó la rotura de red



Fuente: Gas Natural Fenosa

En el sistema Scada, se registraron los flujos presentados en la tabla que se muestra a continuación, que son medidos en la estación descompresora y que representan el flujo total del consumo de la población de La Calera.

Tabla 20. Registros de flujo del sistema Scada

FECHA	HORA	FLUJO (m ³ /h)	% INCREMENTO
25/06/2015	10:01:01	131,5591583	N/A
25/06/2015	10:06:01	113,9825211	N/A
25/06/2015	10:11:02	114,7685318	N/A
25/06/2015	10:16:02	128,1182709	N/A
25/06/2015	10:21:10	132,1182709	100%
25/06/2015	10:26:01	214,469223	162%
25/06/2015	10:31:21	248,444823	188%
25/06/2015	10:36:13	280,6003113	212%
25/06/2015	10:41:05	280,6003113	212%
25/06/2015	10:46:20	299,9971008	227%
25/06/2015	10:51:01	198,1890411	150%
25/06/2015	10:56:01	159,5421906	N/A
25/06/2015	11:01:01	158,3870544	N/A
25/06/2015	11:06:01	159,3870544	N/A
25/06/2015	11:11:02	165,3870544	N/A
25/06/2015	11:16:02	172,641571	N/A

Fuente: Gas Natural Fenosa

Inicialmente evidencia un aumento natural del flujo, por efecto del incremento de consumo, que se presenta por parte de los usuarios en los procesos de preparación de alimentos de los hogares de la población desde las 10:01 horas (131 m³/h) hasta las 10:21 horas (132 m³/h). En el registro de flujo de las 10:26 horas se evidencia un incremento del 162% (214 m³/h), respecto de la medición anterior que continua aumentando hasta en un 227% (299 m³/h), a las 10:46 horas, ocasionado por la rotura en la red de polietileno $\frac{3}{4}$.

El análisis anterior, evidencia que el incremento de flujo que se presenta como consecuencia de una rotura en la red de $\frac{3}{4}$, en un gasoducto virtual, puede ocasionar aumento del flujo de gas hasta de un 227%, que es suficiente para accionar el dispositivo de cierre de la válvula, y evitar los riesgos asociados a ambientes explosivos, así como los impactos ambientales y pérdidas económicas por el gas fugado

Con el anterior ejercicio también se confirma que por una rotura se puede presentar, una rápida evacuación del gas almacenado en módulos, y originarse ausencia de suministro de gas a toda la población que funcione mediante módulos de almacenamiento, teniendo en cuenta que en algunos casos, aunque los técnicos de emergencias lleguen rápido, no pueden hacer control inmediato de las fugas, debido a que no pueden prensar la tubería porque que tienen que excavar sobre andenes en concreto, o no pueden cerrar las válvulas debido a que por obras municipales, sobre vía pública, algunas veces de entierran las válvulas o funden concreto sobre ellas, impidiendo la operación de las mismas en casos de emergencias.

También en otros casos debido a fallas mecánicas en los vehículos u otros imprevistos como cierres de vías se presentan demoras en la llegada de los técnicos de emergencia, aumentando los riegos para las comunidades.

Figura 18. Flujo de gas en la estación descompresora de La Calera, registrado por el sistema Scada



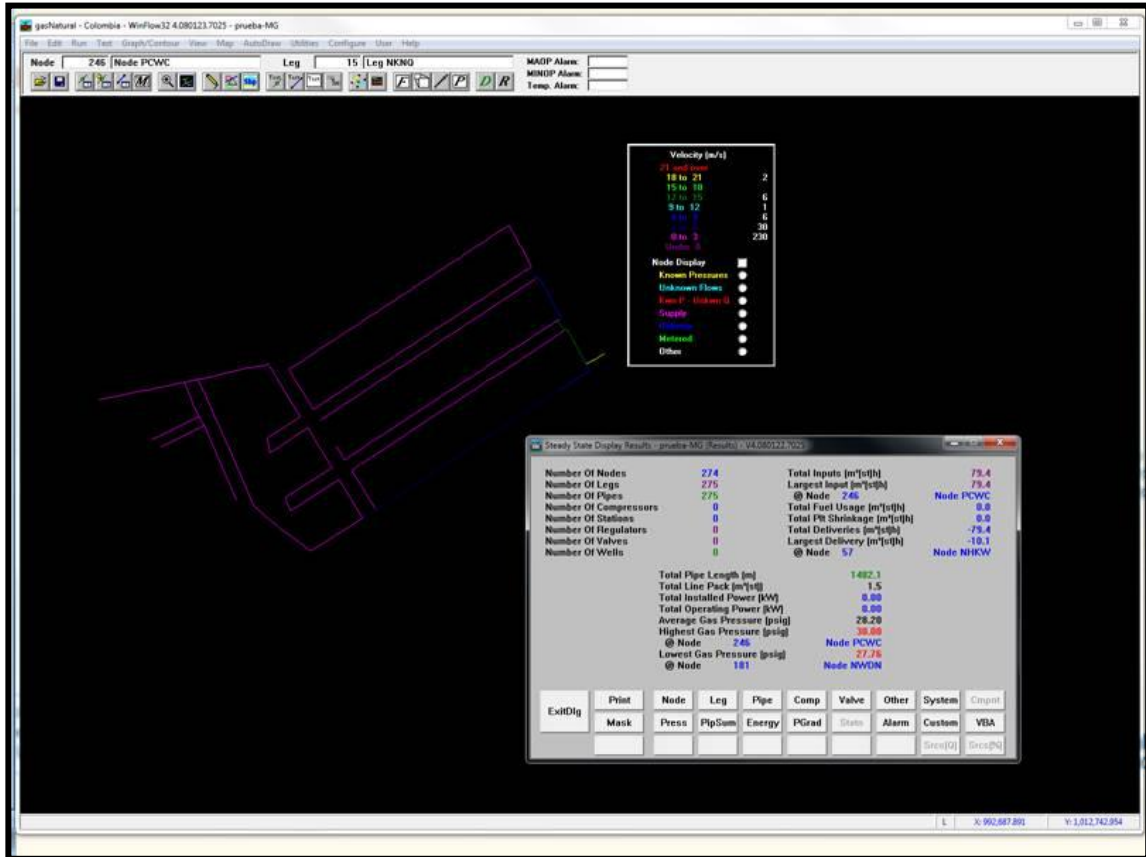
Fuente: Gas Natural Fenosa, 2015

El anterior grafico es una evidencia que comprueba las diferencias entre el flujo normal de un sistema de distribución, y el flujo al que se ve sometido todo el sistema (ovalo rojo), cuando se compromete la red de distribución, como consecuencia de una rotura de tubería.

6.2 FLUJO MAXIMO DE OPERACIÓN EN UN SISTEMA DE ANILLOS

En un análisis realizado con el apoyo del área de planificación red y gestión cartográfica, se evidenció que los anillos de distribución, de acuerdo a los parámetros de diseño establecidos en la normatividad Colombiana y bajo las normas de la empresa, teniendo en cuenta que se diseña con los posibles incrementos de consumo que pueden presentarse en los siguientes 20 años, se determinó que el flujo nominal o flujo de operación para un anillo de distribución puede ser máximo de 80 m³/h, que se evidencia en la siguiente imagen del software Winflow 32.

Figura 19. Evaluación mediante Winflow



Fuente: Gas Natural Fenosa, 2015

El ejercicio anterior se realizó partiendo de una presión mínima de 40 psi, que implica condiciones extremas en red troncal y la presión de servicio en el punto más extremo fue de 38.19 psi, en este caso la presión solo cayó 1,81 psi, por lo que se evidencia un comportamiento favorable para el funcionamiento de la válvula.

6.3 LONGITUD DE LOS SISTEMAS DE ANILLOS A PROTEGER

Para determinar la longitud máxima que pueden presentar los anillos de distribución, se realizó un ejercicio donde se midieron las distancias de 10 anillos tomando dos de cada uno de los municipios donde funcionan los gasoductos virtuales, y se encontró una distancia máxima de 1.395 mts. Sin embargo debido a que la prueba se realizó mediante el software Winflow fue sobre un anillo de 1.485 mts, se tomará una distancia máxima de red a asegurar de 1.600 más, teniendo en cuenta que a futuro se pueden presentar.

6.4 SELECCIÓN DEL FABRICANTE DE LAS VALVULAS

Dentro del mercado de fabricantes a nivel mundial se encontraron mediante búsquedas de internet las siguientes marcas:

- Gas Breaker, Umac, USA
- Plasson, EFV, Israel
- Pipe Life, Gas Stop, Austria

Dentro de las anteriores marcas se tomaron los siguientes criterios para recomendar el más adecuado:

- Detalle técnico de funcionamiento del producto
- Certificaciones de marca y de producto
- Producto más ajustado a los parámetros de funcionamiento del sistema de distribución

Los anteriores parámetros permitieron determinar que el producto **Gas Stop**, de la compañía **Pipe Life**, es el más recomendado para la propuesta, ya que disponen de un detalle técnico del producto, que permite comprender que su funcionamiento es ajustado a los parámetros de las redes de distribución de gasoductos virtuales de la compañía Gas Natural Fenosa.

También disponen de una amplia gama de certificaciones internacionales que pueden ser verificadas a solicitud, a continuación se relacionan algunas de ellas.

- OVGW
- Roztechnadzor/Gost
- Italgas
- Grdf
- Dvgwproduct

6.5 SELECCIÓN DE LA VALVULA (MODELO TECNICO)

En esta sección se pretende determinar un modelo técnico, del prototipo de válvula de exceso de flujo que funcionaria adecuadamente en los sistemas de distribución de la distribuidora Gas Natural Fenosa, que permita la adaptabilidad de acuerdo con las condiciones de los materiales y de la operación de las redes de gas que funcionan en Colombia.

Para determinar el producto adecuado, se consideraron los siguientes parámetros:

- Flujo nominal máximo: 80 m³/h
- Presión de operación de una silleta: entre 40 psi (2,75,5 bar) hasta 60 psi (4,13 bar), para el ejercicio se toma 3 bares
- Diámetro de la tubería de anillo: ¾ de pulgada
- Longitud máxima de tubo a asegurar: Hasta 1.600 mts.


Debido a que la presión de garantía en los extremos de la red es de 20 psi, y a que la ubicación de las silletas es un punto intermedio de la red se establece que la presión más baja aproximadamente es de 40 psi


Con los anteriores parámetros, se evaluó el catálogo de 38 productos disponibles de Pipe Life, pero no se encontró una válvula que se ajustara a los parámetros indicados ya que dentro de las válvulas disponibles de ¾, el flujo máximo es de 40 m³/h.

Con el fin de hallar una solución a la situación indicada se propone el modelo GS32/200, que funciona en diámetros de una pulgada, reduciendo el diámetro a la salida del dispositivo, con el fin de que se pueda adaptar a la red de ¾ de pulgada. A continuación se presentan las características de este modelo.

Figura 20. Válvula Gas-Stop GS32/200

Pipelife Gas-Stop™ GS32/200
Válvula de exceso de caudal/Monitor de flujo de gas para tuberías de acometida (TA) d32/DN25





Presión de servicio: **0,2–5,0 bar (0,02–0,5 MPa)**
Código de color: **ROJO**

Códigos de producto

	Reapertura automática	Pieza de instalación separada	Integrada en adaptador PE100/SDR11
GS32/200	–	●	–
GSA32/200	–	–	●
GS32/200UE	●	●	–
GSA32/200UE	●	–	●

Fuente: Catálogo de productos, Pipelife Gas-Stop, 2014

La modificación anterior no presenta afectación al sistema de tuberías, pero si aumenta los costos de instalación del producto.

Con el fin de corroborar el adecuado funcionamiento del producto bajo las condiciones de operación de los gasoductos en el país, se presenta una tabla donde se especifican los datos técnicos de la referencia de válvula seleccionada.

Tabla 21. Datos técnicos del producto GS32/200

Presión de servicio pe bar	Caudal nominal Vn m ³ /h	Caudal de cierre Vc m ³ /h	Longitud de tubo segura m	Tiempo de reapertura seg/m
0,2	36,0	54,0	40	38
0,3	37,0	56,0	71	45
0,5	40,0	60,0	128	55
1,0	46,0	70,0	257	70
2,0	56,0	85,0	380	85
3,0	65,0	98,0	>400	91
4,0	73,0	110,0	>400	97
5,0	80,0	120,0	>400	100

Fuente: Catálogo de productos, Pipelife Gas-Stop, 2014.

La tabla anterior evidencia que el producto seleccionado se ajusta a los parámetros de funcionamiento habituales de los sistemas de distribución, pues la presión y el caudal de servicio se encuentran dentro del rango mencionado, la longitud de tubo asegurada cumple con las distancias de las redes de anillos así como el caudal de cierre dispone de una tolerancia suficiente de modo que en caso de excederse el caudal nominal dentro de la operación, el sistema no se bloquee pues tiene un margen amplio de tolerancia antes de accionar el dispositivo de cierre.

Se evidencia que uno de los limitantes del funcionamiento del producto es la presión, por lo que se aclara que en caso de presentar presiones inferiores a 3 bares la válvula gas-stop solo suspende el flujo sino en una distancia limitada, que se especifica en la tabla anterior, aunque en conversación con el fabricante aclaró que esta distancia puede aumentar dependiendo del tamaño del orificio de la rotura.

De igual modo se evidenció que otro limitante del producto es que en condiciones de baja presión solo podría suministrar hasta 65 m³/h. Por lo que en caso de implementarse se debe tener en cuenta este limitante para el diseño previo de la red a construir.

Con la información proporcionada en las tablas del fabricante no se requiere hacer cálculos del flujo al cual se debe disparar la válvula, ya que el producto presenta en sus especificaciones el flujo de disparo dependiendo de la presión, dado que estos cálculos ya han sido determinados por el fabricante con anterioridad.

7. MODELO ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA VALVULA DE EXCESO DE FLUJO

Con el fin de evaluar el costo que debe asumir una empresa distribuidora, para instalar redes de polietileno con válvulas de exceso de flujo en los anillos de distribución, se plantea un modelo económico mediante una cotización típica para construir 1.000 mts de red de polietileno de $\frac{3}{4}$ de pulgada, sin la válvula y la misma cantidad incluyendo los costos de la válvula, con el fin de comparar las diferencias y conocer la viabilidad económica de la implementación del tipo de válvula sugerida.

7.1 COSTO DE UN PROLONGUE DE RED

La siguiente tabla presenta los costos del material (tubería y accesorios) y los costos de lo que se paga al contratista por la excavación y obra mecánica (tendido de red), para la instalación de una anillo de polietileno, esto incluye el cumplimiento por parte del contratista de todos los requisitos consignados en las fichas ambientales de acuerdo la normativa de la empresa y de los pagos parafiscales conforme a lo exigido por la ley.

Se realizó una cotización para construir 1000 metros de red, entendiendo que para los estudios se maneja una distancia máxima de 1.600 mts, se tomó una distancia de 1.000 mts, de modo que se puedan evidenciar fácilmente los cambios en los precios de alguno de los accesorios, pues para el siguiente ejemplo se incluirá el precio de la válvula de exceso de flujo.

Para este ejemplo se tiene un total de \$27.156.706, que es lo que en términos normales, (sin la válvula de exceso de flujo) le cuesta a una empresa distribuidora construir 1.000 mts. de red de polietileno de $\frac{3}{4}$ ", sin tener en cuenta sobrecostos por imprevistos.

Tabla 22. Cotización de la construcción de 1000 mts de red de polietileno de 3/4 “

ITEM	UND	VALOR	CANT.	V. TOTAL
Excavación, tape, compactación, retiro de excombros y limpieza para troncal y anillo.	ml	\$ 7.747	1000	\$ 7.747.000
Corte, rotura, reposición y retiro de excombros en concreto 2500 PSI, para troncal y anillo.	ml	\$ 13.696	1000	\$ 13.696.000
Instalación, prueba neumática y gasificación de tubería de polietileno de 3/4", cuando la obra civil la efectúa el contratista.	ml	\$ 1.421	1000	\$ 1.421.000
Construcción en mampostería para cajas de polivalvula, de 3/4" anillo (incluye suministro de caja prefabricada)	un	\$ 90.509	1	\$ 90.509
Señalización con plaquetas	un	\$ 13.124	5	\$ 65.620
Suministro y compactación de recebo B-400	m3	\$ 59.674	3	\$ 179.022
Perforación dirigida	ml	\$ 408.701	5	\$ 2.043.505
Trámite plan de manejo de tráfico	un	\$ 60.351	1	\$ 60.351
Reposición en Concreto 3.000 PSI, para un ancho de 100 +-10 cm	m2	\$ 47.456	8	\$ 379.648
Acometida en red sin servicio	un	\$ 9.620	20	\$ 192.400
Red de polietileno 3/4" IPS	ml	\$ 987	1000	\$ 987.000
Silleta de polietileno 3/4" x 2" IPS	un	\$ 15.916	1	\$ 15.916
Uniones de polietileno 3/4" IPS	un	\$ 900	10	\$ 9.000
Polivalvula de anillo de polietileno 3/4 IPS	un	\$ 68.900	1	\$ 68.900
Protecciones en ladrillo 2 hileras	ml	\$ 7.989	15	\$ 119.835
Total				\$ 27.075.706

7.2 COSTOS DE UN PROLONGUE DE RED INCLUYENDO LA VALVULA DE EXCESO DE FLUJO

Partiendo del precio anterior, el implementar la válvula implica que la compañía instalar una silleta de 1" x 2" en cambio de la silleta 3/4" x 2", esta nueva silleta incluye la válvula de exceso de flujo ensamblada de fabrica en su interior y una reducción de 1" x 3/4". Estos accesorios tienen el siguiente costo

Tabla 23: Costos adicionales de implementar la valvula de exceso de flujo

ITEM	UND	VALOR	CANT.	V. TOTAL
Kit silleta de polietileno 3/4" x 2" IPS y valvula de exceso de flujo marca pipelife	un	\$ 57.337	1	\$ 57.337
Reducción de polietileno DE 3/4" X 1" IPS	un	\$ 1.700	1	\$ 1.700
Total				\$ 59.037

El incremento de \$59.037 pesos en la cotización anterior de \$27.075.706 pesos significa un aumento en los costos de **0.21%**, aproximadamente, ya que este porcentaje variaría según los costos totales de la instalación de la tubería, que se pueden ver afectados por imprevistos.

Lo anterior evidencia un bajo costo de implementación para la compañía distribuidora que comparado con los beneficios obtenidos al disminuir las pérdidas de gas no contabilizado, la reducción de impactos ambientales negativos así como de escenarios de riesgo; permite concluir mediante este modelo que la implementación de válvulas de exceso de flujo, aportaría valor significativo a la seguridad del sistema de distribución de las empresas distribuidoras.

8. CONCLUSIONES

En el análisis de riesgos se determinó que la distribución de gas por redes de tubería, presenta riesgos que requieren acciones de mitigación de mediano y de corto plazo, con el fin de prevenir escenarios que ocasionen impactos humanos y operacionales.

Las válvulas de exceso de flujo, pueden mitigar efectivamente los riesgos a los que se exponen las redes de distribución de manera adecuada el evitar las fugas de gas que se pueden producir por terceros en obras públicas, por deslizamientos, en incendios hurtos etc.

Las válvulas se pueden adaptar a los parámetros técnicos de funcionamiento de los gasoductos urbanos, sin embargo se deben tener en cuenta las limitaciones de presión y caudal para su adecuado funcionamiento.

La implementación de las válvulas no solo permite mitigar los riesgos de la compañía, y el personal de emergencias, sino que evita el grave impacto ambiental negativo, causado por la emisión de metano a la atmósfera, reduce las pérdidas económicas de la empresa por gas no contabilizado y evita posibles casos de sin gas a municipios que cuentan con suministro por módulos de almacenamiento.

Se concluye que las inversiones que realice la compañía en la implementación de las válvulas de exceso de flujo, proporcionaría beneficios significativos en la operación del sistema de distribución, que están en línea con las necesidades de la empresa de suministrar un servicio en condiciones seguras.

BIBLIOGRAFIA

- **ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ**, Metodologías de Análisis de Riesgo, Fondo de Prevención y Atención de Emergencias – FOPAE. Bogotá D.C. 2014, 59 p
- **GAS BREAKER**. Ficha técnica. Válvulas de exceso de flujo. <http://www.gasbreakerinc.com/pdf/UMAC-Excess-Flow-Valves-Spanish.pdf>
- **GAS NATURAL FENOSA**. Criterios y Procedimientos Técnicos de Distribución. Diseño y Calculo de Redes de Distribución. Código: PE.02833.CO. Parte 0. 36p.
- **GREGG ENGINEERING**, Inc., Winflow User Manual, 2014, Texas USA, 294 p.
- **INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. ICONTEC**. NTC 1488. Documentación. Presentación de Tesis, Trabajos de Grado y Otros Trabajos de Investigación. Sexta actualización. Bogotá DC. 2008. 41 p
- **INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. ICONTEC**. NTC 3728. Gasoductos. Líneas de Transporte y Redes de Distribución de Gas. Primera actualización. Bogotá DC. 2001. 80 p
- **INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. ICONTEC**. NTC 5897. Estaciones de Carga y Descarga de Gas Natural Comprimido. Bogotá DC. 2011. 25 p
- **PIPELIFE**, Catálogo de productos Pipelife Gas-Stop, Wiener Neudorf – Austria, 2014, 75 p
- **PLASON**. Ficha técnica. Válvula de Exceso de Flujo. 2013. <http://www.plason.com/gallery/upload/ElectroFusion/Excess%20Flow%20Valve.pdf>
- **REPÚBLICA DE COLOMBIA, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA**. Plan de Abastecimiento de Gas Natural. Unidad de Planeación Minero Energética. 2014. 196 p.
- **The American Society of Mechanical Engineers ASME**. Sistemas de Tubería para Transporte y Distribución de Gas. Edición de 1999. 170 p.