

## EXPERIENCIA COLOMBIANA en Evaluación y Cuantificación Confiable de EMISIONES FUGITIVAS DE METANO de la Red de Transporte de Gas Natural de TGI S.A. ESP

Fredi López [fredi.lopez@tgi.com.co](mailto:fredi.lopez@tgi.com.co)  
Álvaro Arias [alvaro.arias@tgi.com.co](mailto:alvaro.arias@tgi.com.co)  
Fredy Garavito [fredy.garavito@tgi.com.co](mailto:fredy.garavito@tgi.com.co)

Henry Abril Blanco [habril@cdtdegas.com](mailto:habril@cdtdegas.com)  
Víctor Manrique [vmanrique@cdtdegas.com](mailto:vmanrique@cdtdegas.com)  
Oscar Acevedo [oacevedo@cdtdegas.com](mailto:oacevedo@cdtdegas.com)

### Resumen:

Las actuales preocupaciones por el Cambio Climático, y el significativo impacto medioambiental, operativo y de seguridad industrial que tienen las emisiones fugitivas de metano (principal componente del gas natural) han impulsado la necesidad de adoptar estrategias confiables de detección y cuantificación de estas emisiones. En este artículo se presenta la experiencia colombiana en medición y cuantificación de estas emisiones en la red de transporte de gas natural de TGI SA, desde la apropiación de metodologías internacionales y la transferencia de las mejores tecnologías disponibles. Se presentan los resultados, las oportunidades y los beneficios de la reducción costo-efectiva y mitigación de estas emisiones.

Todas las teorías son legítimas y ninguna tiene importancia. Lo que importa es lo que se hace con ellas. Jorge Luis Borges (1899-1986) Escritor argentino

Conjunto de teorías y de técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico, orientados a producir bienes y servicios de utilidad económica, social, y política.

En esta sección, cada semestre, expertos nacionales y/o extranjeros, ofrecerán artículos técnicos que buscan sensibilizar a nuestros lectores, acercándolos con conocimiento, a la aplicación de la metrología en las diferentes actividades de nuestra sociedad.

### 1. INTRODUCCIÓN.

#### ¿POR QUÉ EL METANO?

La creciente preocupación por el Calentamiento Global ha presionado en las últimas décadas la necesidad de reducir las emisiones antropogénicas<sup>1</sup> de gases de efecto invernadero -GEI, entre los que se destacan el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por su relativa abundancia, y el metano (CH<sub>4</sub>) por su mayor potencial de calentamiento global (GWP)<sup>2</sup>. [1]

En 2010, las emisiones globales de CH<sub>4</sub> se estimaron en 6875,14 Millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (MtonCO<sub>2</sub>e), de las cuales el 20% se deben a la Industria de Petróleo y Gas Natural. Para este mismo año, las emisiones netas de metano de Colombia se estimaron en 66,64 MtonCO<sub>2</sub>e, de las cuales 2,14MtonCO<sub>2</sub>e corresponden a “emisiones fugitivas” de metano [2]. Estas emisiones son equivalentes a más de 142Mm<sup>3</sup> (5035 Mft<sup>3</sup>) de gas natural emitidos directamente a la atmósfera, cuyo valor económico puede ascender a más de 29,2 millones de dólares anuales<sup>3</sup>.

Teniendo en cuenta que el CH<sub>4</sub> es el principal componente del Gas Natural, y que estas emisiones tienen un impacto 25 veces mayor que las de CO<sub>2</sub>, su reducción permite obtener varios beneficios: por una parte se recupera un valioso recurso energético, se mejoran las condiciones de seguridad industrial de las instalaciones y se contribuye en una mayor medida a reducir las emisiones de GEI y a mitigar el Calentamiento Global.

### 2. EXPERIENCIA COLOMBIANA: CONVENIO DE COOPERACIÓN TECNOLÓGICA Y COMPROMISO CON LA SUSTENTABILIDAD.

Desde el año 2007, la Transportadora de Gas Internacional -TGI SA ESP, y la Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas -CDT de GAS han establecido un Convenio de Coope-

<sup>1</sup> Emisiones relacionadas con las actividades humanas, como la agricultura, industria, etc.

<sup>2</sup> Medida de la capacidad de una sustancia, de contribuir al Calentamiento Global. El CO<sub>2</sub> tiene con GWP por defecto, el valor de 1.

<sup>3</sup> Todos los cálculos están basados en un precio de referencia para el gas de USD 5,8/103ft<sup>3</sup>, un GWP de 25 para el metano, y una concentración del 98% de metano para el gas natural.

ración Tecnológica, con el objetivo de brindar confiabilidad en las mediciones de gas natural en *transferencia de custodia* (tanto de volumen como de calidad), y la ejecución de proyectos estratégicos de Investigación, desarrollo tecnológico e innovación pertinentes para el sector.

En este contexto, como parte de su compromiso de *Responsabilidad Empresarial* en el marco del *Pacto Global* de la ONU, TGI se ha trazado el reto de gestionar y reducir sus emisiones de GEI, principalmente de metano. Este proyecto, que cuenta con el respaldo de CDT de GAS como aliado estratégico, tiene el objetivo de consolidar una operación de *transporte de gas “de clase mundial”*, responsable con el medio ambiente, y con la mejor eficiencia, confiabilidad y seguridad de los procesos.

*Este proyecto tiene el objetivo de consolidar una operación de transporte de gas “de clase mundial”, responsable con el medio ambiente, y con la mejor eficiencia, confiabilidad y seguridad de los procesos.*

### 3. PROYECTO: INVENTARIO DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO - METODOLOGÍA GENERAL.

El cálculo de las emisiones netas de GEI, se basa en la metodología general del panel Intergubernamental del Cambio Climático IPCC. Esta metodología se basa en el uso de *Factores de Actividad FA*, que cuantifican la actividad o fuente de emisiones, y de *Factores de Emisión*

FE que cuantifica las emisiones relativas a cada actividad o fuente.

Esta metodología se resume en la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones} = \text{FA} * \text{FE}$$

#### 3.1 Factores de Actividad y Factores de Emisión.

**Principales fuentes de emisiones de metano.** Las principales fuentes de emisiones de metano en transporte de gas natural son:

- Venteo de gas natural para despresurización por mantenimiento.
- Venteo operativo de gas natural, en dispositivos neumáticos.
- Gas no quemado en motores y teas
- Fugas de gas en equipos y tuberías.
- Interrupciones del sistema por catástrofes naturales, atentados, etc.

Fuente Principal	GEI	Factores de Actividad		Factores de Emisión	
		Factor	U	Factores relativo a la composición	U
Gas combustible	CO <sub>2</sub>	1000ft <sup>3</sup> de combustible	0,01% a 1%	Guajira: 52,10 Cusiana: 63,2	kgCO <sub>2</sub> por cada 1000ft <sup>3</sup>
Quema de gas en tea	CO <sub>2</sub>	1000ft <sup>3</sup> de gas quemado			
Venteo de gas por M/miento.	CH <sub>4</sub>	1000ft <sup>3</sup> de gas venteado	10%	Guajira: 19,9 Cusiana: 16,9	kgCH <sub>4</sub> por cada 1000ft <sup>3</sup>
Fugas y venteo operativo	CH <sub>4</sub>	1000ft <sup>3</sup> de gas fugado			

Tabla 1. Factores de Actividad y Factores de Emisión.

#### Factores de Actividad.

En transporte de gas natural, estos factores están relacionados con actividades generalmente bien cuantificadas, por ejemplo:

- Volumen de gas combustible utilizado en los motores de unidades compresoras.
- Volumen de gas quemado en tea.
- Volumen de gas venteado.

#### Factores de Emisión.

Estos factores dependen principalmente de la composición del gas natural (concentración de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>), pero también de otros aspectos, como por ejemplo: la eficiencia de combustión en motores y teas.

Así, en Colombia se ha encontrado que el gas natural de origen Guajira (98% mol de CH<sub>4</sub>) genera mayores emisiones de metano (por unidad de volumen) al ser venteado, que el gas natural de origen Cusiana (84% mol de CH<sub>4</sub>).

Sin embargo, éste último genera mayores emisiones de CO<sub>2</sub> al ser quemado, por su mayor contenido de etano (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), y de CO<sub>2</sub>. Generalmente, la concentración de estos componentes del gas natural se puede determinar con una incertidumbre de 0,4% relativa a la concentración promedio.

La Tabla 1 resume la definición de factores de actividad y factores de emisión, con sus respectivas incertidumbres (U).

#### 4. PROYECTO: INSPECCIÓN DE EMISIONES FUGITIVAS DE LA RED DE TRANSPORTE DE GAS NATURAL.

Como parte del Proyecto de Inventario de Emisiones GEI, en enero de 2012 se desarrolló un *Estudio Piloto de Inspección de Emisiones fugitivas de metano*, en algunas instalaciones representativas de la infraestructura de transporte de TGI S.A.

Este estudio permitió apropiarse y transferir un enfoque alternativo de evaluación de emisiones, basada en las “mejores tecnologías disponibles” y en la estrategia de “Inspección y Mantenimiento Dirigido I&MD”.

#### 4.1 Metodología: Inspección y Mantenimiento Dirigido

Un programa de “Inspección y Mantenimiento Dirigido I&MD” es una estrategia segura y comprobada para detectar, cuantificar, priorizar y reparar las fugas en equipos, accesorios y componentes. El programa comienza con una *Inspección de Emisiones*, la cual tiene dos actividades principales: detección y medición.[3]

#### Detección con Cámara Infrarroja.

La detección se puede realizar mediante diferentes equipos y técnicas, sin embargo, la tecnología infrarroja permite la visualización en tiempo real de la fuga. Esta posibilidad ha revolucionado el entendimiento de las emisiones fugitivas, y actualmente se constituye como la *mejor tecnología disponible para esta actividad*. Bajo las condiciones adecuadas, es posible detectar fugas desde 0,35g/h de hidrocarburos gaseosos.[4]



Figura 1. Detección y Medición de Fugas con cámara Infrarroja y muestreador de alto caudal.

#### Medición mediante muestreo de alto caudal.

La Corporación CDT de Gas es pionera en Colombia en la prestación del servicio de muestreo de alto caudal, con alto grado de confiabilidad, para la evaluación de emisiones fugitivas de metano en el Sector Gas Natural. (Ver Fig. 1) La técnica de muestreo de alto caudal permite obtener incertidumbres relativamente bajas en la medición de emisiones fugitivas, en comparación con los métodos tradicionales de estimación basados en correlaciones o en factores de emisión publicados. [6]

Una incertidumbre adecuada en la cuantificación de las emisiones, permite soportar y fortalecer la toma de decisiones para la ejecución de proyectos de reducción. Por esta razón, existe un compromiso permanente por parte de la Corporación CDT de GAS en garantizar la mejor confiabilidad en las mediciones, y en brindar trazabilidad a las magnitudes relacionadas a través de su *Centro de Metrología de Fluidos (CMF)*.

#### 4.2 CONFIABILIDAD METROLÓGICA

**Trazabilidad.** El CMF de CDT de GAS posee la infraestructura que brinda trazabilidad<sup>4</sup> a las

mediciones de gas en Colombia. En el caso de las mediciones de caudal de fugas de gas, la trazabilidad se brinda a través de patrones de trabajo (medidores de volumen de gas), calibrados a su vez contra un patrón de referencia primario (Cámara Gasométrica) (Ver Fig. 2), y esta a su vez, referido a patrones internacionales del Sistema Internacional (metro). El laboratorio de Volumen y Caudal de gases del *Centro de Metrología de Fluidos* de CDT de GAS está Acreditado por el organismo Nacional de Acreditación de Colombia ONAC bajo la norma ISO/IEC 17025.

**Incertidumbre.** La incertidumbre permite conocer el grado de confianza sobre el valor medido, y a su vez caracteriza la dispersión de los posibles valores a obtener en un proceso de medición.

Pruebas realizadas en el CMF del CDT de GAS han permitido confirmar que a máximo caudal, el *Hi Flow Sampler* presenta una incertidumbre en medición de caudal de aire entre 6-10% en el intervalo de operación típica de 180 - 220 dm<sup>3</sup>/min (6,35 - 7,77 ft<sup>3</sup>/min). Estos resultados son coherentes con las incertidumbres reportadas por el fabricante [5], sin embargo, la caracterización metroológica ha permitido determinar el mejor punto de operación, en relación a la incertidumbre más baja (220dm<sup>3</sup>/min). (Ver Fig. 3)

<sup>4</sup> Trazabilidad: Propiedad del resultado de una medición, por el cual puede ser relacionado con referencias determinadas, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones, teniendo todas, incertidumbres determinadas (VIM)



Figura 2. Esquema de Trazabilidad.

De esta forma, un adecuado conocimiento de la incertidumbre del equipo ha permitido adoptar mejores prácticas en el proceso de medición, e inclusive identificar oportunidades de mejora respecto a su desempeño metrológico.

**Comparación contra Factores de Nivel de nivel 1 -IPCC.**

La Tabla 2 presenta los Factores de Emisión publicados por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático IPCC, los cuales son utilizados para el Cálculo del *Inventario Nacional de Emisiones*. Por su extensión, la red de TGI S.A. ESP comprende la mayor parte de la infraestructura Nacional de Transporte de Gas, por tanto estos Factores son aplicables para hacer una comparación. **Se destaca que las incertidumbres de los factores están entre -40% hasta +250%.**[7]

La Tabla 3 muestra la comparación entre los cálculos realizados con factores de emisión de nivel 1 (Factores IPCC) contra los cálculos realizados Nivel 3 utilizando factores de emisión específicos, mediciones directas y cálculos más detallados.

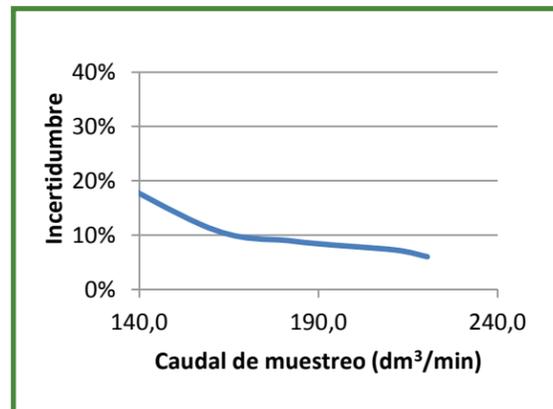


Figura 3. Curva de Incertidumbre Vs Caudal de muestreo para el Hi Flow Sampler.

Por ejemplo, tanto para el caso de las emisiones por venteo y emisiones fugitivas, los resultados presentados por TGI/CDT de GAS están comprendidos dentro de los límites mínimos y máximos de IPCC, lo cual indica que son coherentes. Sin embargo, con el cálculo a nivel 3 se ha logrado obtener un valor real representativo y acotar significativamente su incertidumbre.

**Proyecto Actual. Inspección de toda la red de transporte.**

Actualmente, CDT de GAS está avanzando en la inspección exhaustiva de toda la red de transporte de TGI.

Entre octubre y diciembre de 2012, se inspeccionaron las instalaciones de superficie del gasoducto “Ballena-Barrancabermeja”, abarcando 1 planta deshidratadora, 7 estaciones de compresión, 14 válvulas de seccionamiento, y más de 35 *Citygates*, y válvulas de derivación.

El desarrollo de este programa de inspección exhaustiva con cámara infrarroja y muestreador de alto caudal permitió:

- Detectar las grandes fugas de manera eficiente,
- Enfocar los esfuerzos de detección en las fuentes más comunes y
- Reparar con prioridad los componentes que son rentables o que representan un riesgo importante de seguridad industrial o ambiental.

**5. PRINCIPALES FUENTES DE EMISIONES FUGITIVAS DE METANO Y ALTERNATIVAS DE REDUCCIÓN.**

A partir del estudio detallado de la red de transporte de gas natural, se ha encontrado que las principales fuentes de emisiones fugitivas son:

- Venteos de los regeneradores de glicol, de las Unidades de Deshidratación de gas natural.
- Venteos del gas fugado a través del sello del vástago (*packing seal*) en los compresores recíprocos.

Subcategoría IPCC	Código IPCC	Fuente	Factores de Emisión de Metano		
			tonCH <sub>4</sub> /Mm <sup>3</sup>	Incertidumbre	
Transporte de Gas Natural	1B2biii4	Fugitivas	Mínimo Máximo	0,17 1,10	- 40% a 250%
	1B2bi	Venteo	Mínimo Máximo	0,04 0,74	- 40% a 250%

Tabla 2. Factores de Emisión de Nivel 1 publicados por IPCC (2006)

Emisiones - tonCH <sub>4</sub> /año				
Fuente	Estimación de Nivel 1 con Factores de Emisión IPCC		Cálculo de Nivel 3 realizada por CDT de GAS (Línea base 2010)	
Fugitivas	Mínimo	727,08	1641 tonCH <sub>4</sub> /año	±38%
	Máximo	4818		
Venteo	Mínimo	192,72	3129 tonCH <sub>4</sub> /año	±10%
	Máximo	3241,2		

Tabla 3. Comparación entre estimaciones de Nivel 1 y Nivel 3

- Venteos del des-gasificador del aceite de lubricación de sellos en los compresores recíprocos.
- Venteo de los actuadores neumáticos de válvulas y controladores de nivel.
- Conexiones mecánicas (bridas, roscas NPT, conexión metal-metal, etc.)
- Sellos de válvulas (prensaestopas)
- Válvulas de seguridad PSV, y válvulas reguladoras de presión PRV.

*El estudio detallado de las fuentes de emisiones mediante una cuantificación confiable permite orientar los esfuerzos necesarios para su reducción, y soportar la toma de decisiones financieras sobre las inversiones requeridas*

### 5.1 Oportunidades de reducción de emisiones fugitivas

La mayoría de las fuentes anteriores se pueden mitigar de manera costo-efectiva, mediante reparaciones menores (ajuste o apriete, cambio de empaques, reemplazo anticipado del componente, etc.) o reconversiones tecnológicas. A continuación se presenta a manera de ejemplo, un escenario real de reconversión costo-efectiva de actuadores neumáticos de alto venteo.

#### Ejemplo. Reemplazo Costo-efectivo de Dispositivos Neumáticos.

Los actuadores neumáticos de los controladores de nivel se consideran de “alto venteo” si emiten más de 2,8 dm<sup>3</sup>/min (6 ft<sup>3</sup>/h) de gas.

Estos actuadores se pueden reemplazar por dispositivos que cumplen la misma función, pero con más bajas o cero emisiones. [8]

La Tabla 4 resume un ejemplo real, donde cuatro dispositivos que ventean juntos más de 607 x 10<sup>3</sup> ft<sup>3</sup>/año de gas natural, se pueden reemplazar de forma costo-efectiva con un retorno simple de la inversión en un plazo de 4 a 8 meses, gracias a la eliminación del costo de operación.

Equipo	Gas Natural Venteado		Emisiones GEI tonCO <sub>2</sub> e/año	Costo anual del gas venteado <sup>5</sup>	Costo aprox de reemplazo	Recuperación de la inversión
	ft <sup>3</sup> /h	10 <sup>3</sup> ft <sup>3</sup> /año				
Filtro #1	12,79	112,04	47,11	\$ 1.169.656	USD200-400	4-8meses
Filtro #1	24,04	210,63	88,56	\$ 2.198.954	USD200-400	2-4meses
Filtro #2	17,91	156,85	65,9	\$ 1.637.519	USD200-400	3-6meses
Filtro #2	14,58	127,72	53,7	\$ 1.333.408	USD200-400	3-6meses
<b>TOTAL</b>	<b>69,32</b>	<b>607,24</b>	<b>255,27</b>	<b>\$ 6'339.537</b>	<b>USD800-1600</b>	

Tabla 4. Escenarios de reconversión costo-efectiva de controladores de nivel de alto venteo.

<sup>5</sup> Cálculos para un precio de gas regulado de 5,8USD/10<sup>3</sup>ft<sup>3</sup> y una tasa de cambio 1USD=1800COP

Adicionalmente, con la eliminación de esta fuente de venteo se tiene un beneficio aún más importante: se reducen los riesgos asociados a la presencia de gases inflamables en el ambiente de la instalación, y las posibles afectaciones para la integridad de la infraestructura, la salud de las personas, el medio ambiente y la imagen corporativa.

### 6. PERSPECTIVAS

CDT de GAS es una organización líder dentro del sector gas colombiano en la generación y transferencia de soluciones tecnológicas para el impulso de la productividad, la conservación del medio ambiente y el bienestar social. Recientemente, ésta experiencia fue presentada en el Taller “Beneficios de la reducción de emisiones del metano para el Sector Hidrocarburos”, organizado por la Iniciativa Global del Metano en Colombia, y el Ministerio de Minas y Energía, y próximamente se espera que sea presentada en la Reunión Anual de Benchmarking de transportadoras de gas latinoamericanas, en el cual TGI es una de las compañías que participan por Colombia.

Actualmente, TGI S.A. se proyecta como la transportadora de gas pionera del país y la Región Andina en abordar metodológicamente sus emisiones fugitivas de CH<sub>4</sub>. Con este esfuerzo aunado junto a CDT de GAS, y el respaldo de instituciones internacionales (como IPT Brasil en metrología de fluidos, y la transferencia de información por parte de la Iniciativa Global de Metano GMI) se ha logrado dar un paso importante en el desarrollo y fortalecimiento de capacidades nacionales para el abordaje de proyectos de evaluación y reducción de emisiones de CH<sub>4</sub>.

A partir del año 2013, el principal reto es la implementación efectiva de proyectos de reducción, que permitan avanzar en los objetivos de la “estrategia colombiana de desarrollo bajo en carbono”, y promover dentro del sector gas colombiano (y latinoamericano) la adopción de soluciones apropiadas que le permitan una operación más eficiente, segura y sostenible con el medio ambiente.

### 7. REFERENCIAS

- [1] IPCC, «Cambio Climático 2007. Informe de Síntesis. Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático». 2007.
- [2] US EPA, «Global Anthropogenic Non-CO2 Greenhouse Gas Emissions: 1990-2020», Office of Atmospheric Programs Climate Change Division U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 2006.
- [3] US EPA Natural Gas STAR, «Inspección y Mantenimiento Dirigido a las estaciones de Regulación y en las instalaciones de superficie», 2003.
- [4] Y. BENAYAHU, A. WAHNON, G. SPITZER, G. YEARIM, D. ANAVA, y A. DIDI, «Detection of low Gas leaks using Thermal Imaging Cameras», MET&FLU CIENCIA - TECNOLOGÍA - INNOVACIÓN, vol. 6, pp. 44-51, 2012.
- [5] O. ACEVEDO, «Metodologías para la cuantificación del Caudal de Fugas en componentes y equipos de la Industria del Gas Natural», MET&FLU CIENCIA - TECNOLOGÍA - INNOVACIÓN, vol. 6, pp. 52-57, 2012.
- [6] BACHARACH, «HI FLOW SAMPLER. Natural Gas leak rate measurement. Instruction 0055-9017 Operation & Maintenance». 2010.
- [7] IPCC, «Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 2 Energía. Capítulo 4. Emisiones Fugitivas». 2006.
- [8] US EPA Natural Gas STAR, «Opciones para reducir las emisiones de metano de los dispositivos neumáticos en la Industria de Gas Natural EPA-430-B-03-004S», Lecciones Aprendidas de los participantes de Natural Gas STAR, p. 17, 2003.