

Cuantificación Másica Del Gas De Venteo Final De Un Tanqueo Vehicular En Una Estación
Gnv En El Occidente De Bogotá Y Alternativas De Aprovechamiento

Juan David Durán Torres

Trabajo de Grado para Optar el título de Especialista en Ingeniería del Gas

Director

Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez

Magíster en Docencia

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico Químicas

Escuela de Ingeniería del Gas

Especialista en Ingeniería del Gas

Bucaramanga

2021

Dedicatoria

A Dios, quien le ha dado sentido y esperanza a mi vida.

A mis padres y hermano.

Agradecimientos

Al equipo de trabajo, quienes, con su disposición, ayudaron al buen desarrollo del presente trabajo de grado.

Al Ingeniero Germán Martínez, por su apoyo.

A toda mi familia, amigos y compañeros porque de todos he aprendido durante el desarrollo del presente trabajo de grado.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	12
1. Objetivos	14
1.1. Objetivo general	14
1.2. Objetivos específicos	14
2. Marco referencial	15
2.1. Gases de efecto invernadero gei	16
2.1.1 dióxido de carbono (co ₂)	16
2.1.2. Metano (ch ₄)	17
2.1.3 Oxido nitroso (n ₂ o)	17
2.1.4 Compuestos halogenados	17
2.1.5 Ozono troposférico	18
2.1.6 Vapor de agua	18
2.2. Inventario gei	18
2.2.1. Inventario de emisiones gei en colombia	18
2.3. Emisiones fugitivas	22
2.3.1. Metodologías para estimaciones y árboles de decisión para emisiones fugitivas	24
2.4. Generalidades de una gnv	28
2.4.1. Surtidores de gnv	31
2.4.2. Circuito de gas	32
2.4.3. Métodos de medición de gas	34
2.5. Análisis del método	42

3. Metodología	46
3.1. Especificaciones técnicas del surtidor de prueba	47
3.2. Pruebas y resultados	48
3.3. Equipos y accesorios necesarios para la medición	49
3.3.1. Características pico o receptáculo de carga	51
3.3.2. Válvula de llenado o boquilla de llenado.....	52
3.3.3. Válvula tres vías.....	53
3.3.4. Manguera de alta presión	54
3.4. Desarrollo de la medición y toma de datos	54
3.4.1. Especificaciones de seguridad	54
3.4.2. Alistamiento de la actividad.....	55
3.4.3. Procedimiento para la medición.....	56
4. Resultados	57
5. Discusión.....	61
6. Conclusiones	64
7. Recomendaciones	66
Referencias Bibliográficas	69

Lista de Tablas

Tabla 1. División detallada del sector para las emisiones procedentes de la producción y del transporte de petróleo y gas natural	24
Tabla 2. Información identificación de la fuga.....	30
Tabla 3. Especificaciones técnicas.....	48
Tabla 4. Especificaciones de la ecuación nivel 2.....	50
Tabla 5. Especificaciones técnicas del medido CNG-050.....	51
Tabla 6. Hoja de trabajo.....	58
Tabla 7. Equivalencias de la ecuación para medir el venteo de gas	60

Lista de Figuras

Figura 1. Distribución de Emisiones.....	21
Figura 2. Árbol de Decisión.....	32
Figura 3. Zonas de una estación GNV.....	35
Figura 4. Circuito de gas.....	38
Figura 5. Medidor de Diafragma.....	41
Figura 6. Medidor Rotatorio.....	42
Figura 7. Sistema de medición placa de orificio.....	43
Figura 8. Tubo Venturi.....	44
Figura 9. Medidor ultrasonido.....	45
Figura 10. Medidor velocidad de flujo.....	46
Figura 11. Medidor de Coriolis.....	47
Figura 12. Surtidor Aspro.....	49
Figura 13. Instalación del patrón masico de referencia.....	53
Figura 14. Receptáculo de carga.....	53
Figura 15. Válvula de llenado.....	54
Figura 16. Válvula Swagelok SS-83XKS4.....	55
Figura 17. Manguera Parker Parflex.....	56
Figura 18. Esquema de Recuperación de Venteos.....	61

Glosario

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC): acuerdos y asambleas entre los gobiernos que forman parte de las Naciones Unidas, con el fin de reforzar la conciencia mundial sobre el cambio climático. (ONU, s.f.)

Emisión Fugitiva: “es la liberación intencional o no intencional de los gases de efecto invernadero” (IPCC, 2006).

Estación de Servicio Mixta: estación de servicio destinada al suministro de combustibles líquidos derivados del petróleo y de gas natural comprimido (GNCV), para uso vehicular (Ministerio de Minas y Energía, 2017).

Gas Natural Comprimido (GNC): es el gas natural que, mediante un proceso de compresión, aumenta su presión y posteriormente es almacenado en recipientes (Ministerio de Minas y Energía, 2017).

Gas Natural Comprimido para Uso Vehicular (GNCV): gas natural comprimido (GNC) para ser usado en vehículos automotores (Ministerio de Minas y Energía, 2017).

Gas Natural Vehicular (GNV): gas natural comprimido para ser usado en vehículos. (Ministerio de Minas y Energía, 2017)

Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): son objetivos mundiales adoptados e impulsados por las Naciones Unidas a fin trabajar mundialmente en pro de erradicar la pobreza y proteger el planeta. (ONU, s.f.)

Panel Internacional de Cambio Climático (IPCC): grupo científico internacional encargado de evaluar y facilitar bases científicas sobre el cambio climático, así como sus instancias normativas, repercusiones y futuros riesgos. (IPCC, 2006)

Surtidor: equipo para la medición y despacho de gas natural comprimido para uso vehicular (GNCV) (Ministerio de Minas y Energía, 2017).

Zona de llenado: área en donde se encuentra la isla de surtidores y demás accesorios para realizar el llenado a los vehículos que operan con gas natural comprimido para uso vehicular (GNCV) (Ministerio de Minas y Energía, 2017).

Resumen

Título: Cuantificación másica del gas de venteo final de un tanqueo vehicular en una estación gnv en el occidente de Bogotá y alternativas de aprovechamiento *

Autor: Juan David Durán Torres **

Palabras Clave: Gas metano, Gas natural, Emisiones fugitivas.

Descripción:

El gas natural está compuesto por diversos elementos gaseosos, sustancialmente por gas metano, el segundo componente principal de los gases de efecto invernadero (GEI), en proporción de 10%, precediendo al dióxido de carbono con un 82%. En conjunto, estos elementos contribuyen al calentamiento global, problemática que ha sido tema central de interés a nivel mundial.

El presente documento evidencia la cuantificación másica de gas metano venteado en el proceso de tanqueo de gas natural de un vehículo, siendo este venteo clasificado como emisiones fugitivas, debido a que se establece como una liberación intencional, según las directrices del Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC. Las cantidades en la cuantificación de estas emisiones son datos valiosos para evidenciar el impacto ambiental generado, por lo que se exponen las posibles alternativas de mitigación y aprovechamiento.

Para el desarrollo de este trabajo se optó por la referenciación en la funcionalidad de diferentes clases de medidores para definir el más adecuado en la ponderación de la emisión fugitiva de gas natural vehicular. Producto del análisis de estas cifras se expone, el impacto generado en el ambiente del área circundante al occidente de Bogotá y las propuestas para la mitigación de esta emisión y posibles alternativas de aprovechamiento del gas venteado.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingeniería de Petróleos. Director: Leonardo de Jesús Herrera Gutierrez

Abstract

Title: Mass quantification of the final vent gas from a vehicle tanker at a gnv station in western Bogota and alternatives for its utilization *

Author(s): Juan David Durán Torres **

Key Words: Methane gas, Natural gas, Fugitive emissions.

Description:

Natural gas is composed of various gaseous elements, mainly methane gas, which in turn is the second main component of greenhouse gases (GHG), in proportion of 10%, followed by carbon dioxide with 82%, which contribute to global warming, a problem that has been a central topic of interest worldwide.

This document evidences the mass quantification of methane gas vented in the natural gas tanking process of a vehicle, being this venting classified as fugitive emissions because it is an intentional release, according to the guidelines of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC. The amounts in the quantification of these emissions are valuable data to demonstrate the environmental impact generated, so the possible alternatives for mitigation and use are presented. For the development of this work, it was decided to investigate the functionality of different types of meters to define the most appropriate one for weighting the fugitive emission of natural gas vehicles. As a result, the analysis of these figures shows, firstly, the impact generated on the environment in the area surrounding the west of Bogotá and, secondly, the proposals for mitigating this emission and the possible alternatives for its use.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingeniería de Petróleos. Director: Leonardo de Jesús Herrera Gutierrez

Introducción

En la actualidad, el calentamiento global es uno de los principales problemas que afecta al planeta. Por esta razón, para los países y las organizaciones a nivel mundial, este se ha convertido en una de las mayores problemáticas a mitigar. Dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), incluidos en la agenda se estima que para 2030 los habitantes en las ciudades aumentarán en un 60% respecto de la actual cifra (ONU, s.f.). Por esta razón, cada vez es más evidente que la actividad humana y el desarrollo de la industria, que potencian la vida moderna, causan la mayor parte del calentamiento del planeta por la emisión de gases que retienen el calor, a través de gases de efecto invernadero (GEI) (Tyndall, 1861).

Estos gases dejan pasar la luz del sol, pero mantienen el calor (tal como ocurre con las paredes de cristal de un invernadero hortícola). Así, a mayor cantidad de GEI, mayor cantidad de calor es retenido. La emisión de GEI trae consigo el aumento de la temperatura del planeta que genera incremento en el nivel del mar debido al deshielo de los glaciales, cambios en los ciclos hidrológicos afectando a los diferentes ecosistemas y sus especies, así como alteración de la productividad agrícola y forestal (Fernández, 2013). Lo anterior implica desafíos importantes y únicos para la vida, inmersos en los ODS de la Vida de Ecosistemas Terrestres (ONU, s.f.).

Por su parte, el gas natural, cuyo principal componente es el metano, con un 82% (Vanti, s.f.) el cual es uno de los GEI que degrada la capa de ozono, expulsa al ambiente cantidades desconocidas de metano, consecuencia de los tanqueos vehiculares en estaciones de servicio de Gas Natural Vehicular (GNV), las cuales impactan negativamente el ambiente aportando al aumento del efecto invernadero.

Debido a esto, es importante conocer las descargas de gas metano al ambiente, para que la industria del GNV pueda contribuir a mitigar, en un porcentaje importante, la emisión de metano como GEI y, de esta manera, cumplir el compromiso ambiental que, como sociedad, se tiene conveniente para un desarrollo sostenible del planeta para combatir el cambio climático y sus efectos (ONU, s.f.).

Por lo expuesto, el alcance de este trabajo es cuantificar el gas metano que es expulsado al ambiente, producto de los venteos de gas natural al finalizar los tanqueos de vehículos en una estación de servicio GNV ubicada al Occidente de Bogotá, y así determinar la viabilidad de aprovechar técnica y financieramente esas cantidades de gas emitidas, mitigando el impacto ambiental que puedan generar en la ciudad.

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Determinar el impacto ambiental del gas de venteo al finalizar un tanqueo vehicular en una estación de GNV ubicada al Occidente de Bogotá y estudiar posibles alternativas de aprovechamiento.

1.2. Objetivos Específicos

- Cuantificar el gas que es venteado en el proceso de tanqueo de un vehículo en una estación de servicio de gas natural vehicular (GNV), teniendo cuenta el funcionamiento de un surtidor, mediante el dispositivo de medición seleccionado y acorde a las condiciones de operación.
- Analizar el impacto ambiental que tiene el venteo del gas luego de los tanqueos vehiculares, teniendo en cuenta la cantidad de gas que es liberado hacia la atmósfera y su equivalente en dióxido de carbono.
- Proponer alternativas para el aprovechamiento del gas venteado luego de los tanqueos vehiculares en una estación de servicio de GNV.

2. Marco Referencial

A principios del siglo XX, el uso del gas natural vehicular inició su trayectoria como respuesta al elevado precio de la gasolina presentado luego de la Primera Guerra Mundial. A partir de allí, en diversos países se adoptó su uso para diferentes segmentos de consumo, llegando así a abarcar industrias, domicilios y, más recientemente, vehículos, siendo Italia y Argentina los abanderados en el tema hacia la mitad de ese siglo (Cáceres, 2011).

El principal componente del gas natural en su estado natural es el metano, que a su vez es el segundo gas en importancia en la relación al efecto invernadero, después del dióxido de carbono, con una contribución relativa estimada del 20% de los gases que se acumulan en la atmosfera. Estos gases son capaces de absorber la radiación proveniente del sol, reteniéndola y haciendo que la temperatura en la atmosfera aumente provocando efectos negativos en el clima afectando a su vez los diferentes ecosistemas.

En Colombia, durante la mitad de la primera década del siglo XXI, el Gobierno Nacional incentivó específicamente el uso de gas natural vehicular (CREG, s.f.), por ser éste una fuente de energía limpia y un combustible que, además de generar oportunidades para el florecimiento socioeconómico del país, es más amigable con el medio ambiente entre los combustibles de origen fósil. mitigando la producción de monóxido de carbono, óxido de azufre y de nitrógeno, lo que redundará en beneficio en la mejora de la calidad del aire (Vanti, s.f.).

2.1. Gases de efecto invernadero GEI

Los Gases de Efecto Invernadero (GEI) son un conjunto de compuestos gaseosos de la atmósfera y aquellos producidos por actividades humanas. Se aglomeran en la atmósfera del planeta y tienen la capacidad de retener radiación infrarroja proveniente del sol, aumentando la temperatura del planeta y obstaculizando su propia refrigeración. En la atmósfera, los principales GEI son el dióxido de carbono (CO_2); metano (CH_4); vapor de agua (H_2O); óxido nitroso (N_2O) y ozono (O_3). Además, también existen gases generados indivisiblemente por el hombre como los halocarbonos, sustancias con contenidos de bromo y cloro, hidrofluorocarbonos y perfluorocarbonos.

Los GEI se agrupan en directos e indirectos (Benavides y León, 2007). Los GEI directos son aquellos gases que son emitidos desde la superficie de la tierra a la atmósfera en estado puro o sin sufrir modificaciones. En estos se encuentra el CO_2 , CH_4 , N_2O y compuestos halogenados. Por otra parte, los GEI indirectos son los gases emitidos a la atmósfera que sufren una transformación convirtiéndose en GEI directos. En este grupo se pueden encontrar los óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles (Benavides y León, 2007).

2.1.1 Dióxido de carbono (CO_2)

Es el GEI que contribuye de manera significativa al calentamiento global. Este gas juega un papel representativo dentro del ciclo natural del carbono y otros procesos biológicos. El CO_2 , de origen antropogénico y emitido a la atmósfera está relacionado principalmente con el consumo de combustibles de origen fósil (gas natural petróleo, carbón y sus derivados), usados comúnmente para generar energía.

2.1.2. Metano (CH₄)

Es el principal componente del gas natural y, en relación con los GEI, está asociado a todos los hidrocarburos utilizados como combustibles a la ganadería y a la agricultura. La fuente de emisión más importante es la descomposición de material orgánico en los sistemas naturales (fermentación y proceso digestivo de los herbívoros, descomposición y fermentación intestinal de estiércol producido por ganados), cultivos de arroz, disposición de residuos sólidos, tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales (Benavides y León, 2007).

La producción y explotación de petróleo y gas natural (producción, transporte, almacenamiento, refinación, venteo y combustión) es otra fuente importante de emisiones de metano.

2.1.3 Óxido Nitroso (N₂O)

Producido por la quema de combustibles fósiles, la agricultura y la emisión de aguas residuales domésticas. Las emisiones a causa de la agricultura se dan principalmente por el proceso de nitrificación y desnitrificación del suelo. La contribución de este gas a los GEI asociados al consumo de combustibles fósiles es mínima.

2.1.4 Compuestos halogenados

Estos compuestos no existen de manera natural, sino que han sido fabricados desde la década de los 30. Estos gases se emplean como refrigerantes, solventes químicos, productos de limpieza en seco y propulsor en los recipientes de tipo aerosol. Tienen alto potencial de calentamiento global, por lo que su producción ha sido prohibida en algunas convenciones internacionales de carácter climático (Benavides y León, 2007).

2.1.5 Ozono troposférico

El ozono es producido a partir de reacciones químicas de compuestos orgánicos volátiles con óxidos de nitrógeno en presencia de la luz solar. El aumento de este gas en la tropósfera daría lugar a un considerable aumento del forzamiento radiactivo en el planeta (Benavides y León, 2007).

2.1.6 Vapor de agua

Las actividades antropogénicas no inciden directamente en la concentración de vapor de agua a nivel local. Sin embargo, la incidencia de los otros GEI sí puede afectar indirectamente el ciclo hidrológico al ser el vapor de agua el GEI más abundante en la atmósfera y las nubes como invernadero natural de la tierra.

2.2. Inventario GEI

Es el informe estimado acerca de los GEI producidos por las actividades antropogénicas en un período de tiempo determinados, de los cuales se reconocen seis: Dióxido de carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), hexafluoruro de azufre (SF₆), perfluorocarbonos (PFC) (SIAC, s.f.).

Este inventario se realiza con el propósito de conocer datos certeros para poder mitigar y nivelar las emisiones de GEI generadas por el hombre, y así reducir los efectos adversos del cambio climático en el ecosistema. Son el fundamento para precisar las medidas que conlleven a la mitigación del cambio climático, cuya temperatura debe encontrarse menor a los 2°C (SIAC, s.f.).

2.2.1. Inventario de emisiones GEI en Colombia

Ante el panorama del cambio climático con cifras alarmantes en las últimas décadas, y con el propósito de generar una conciencia en las actividades antropogénicas ejecutadas que lo afectan y de reducir las emisiones de GEI, en 1992 fue adoptada en Nueva York la Convención Marco de

las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), de la cual Colombia es miembro (García, Piñeros Botero, Bernal y Ardila, 2012).

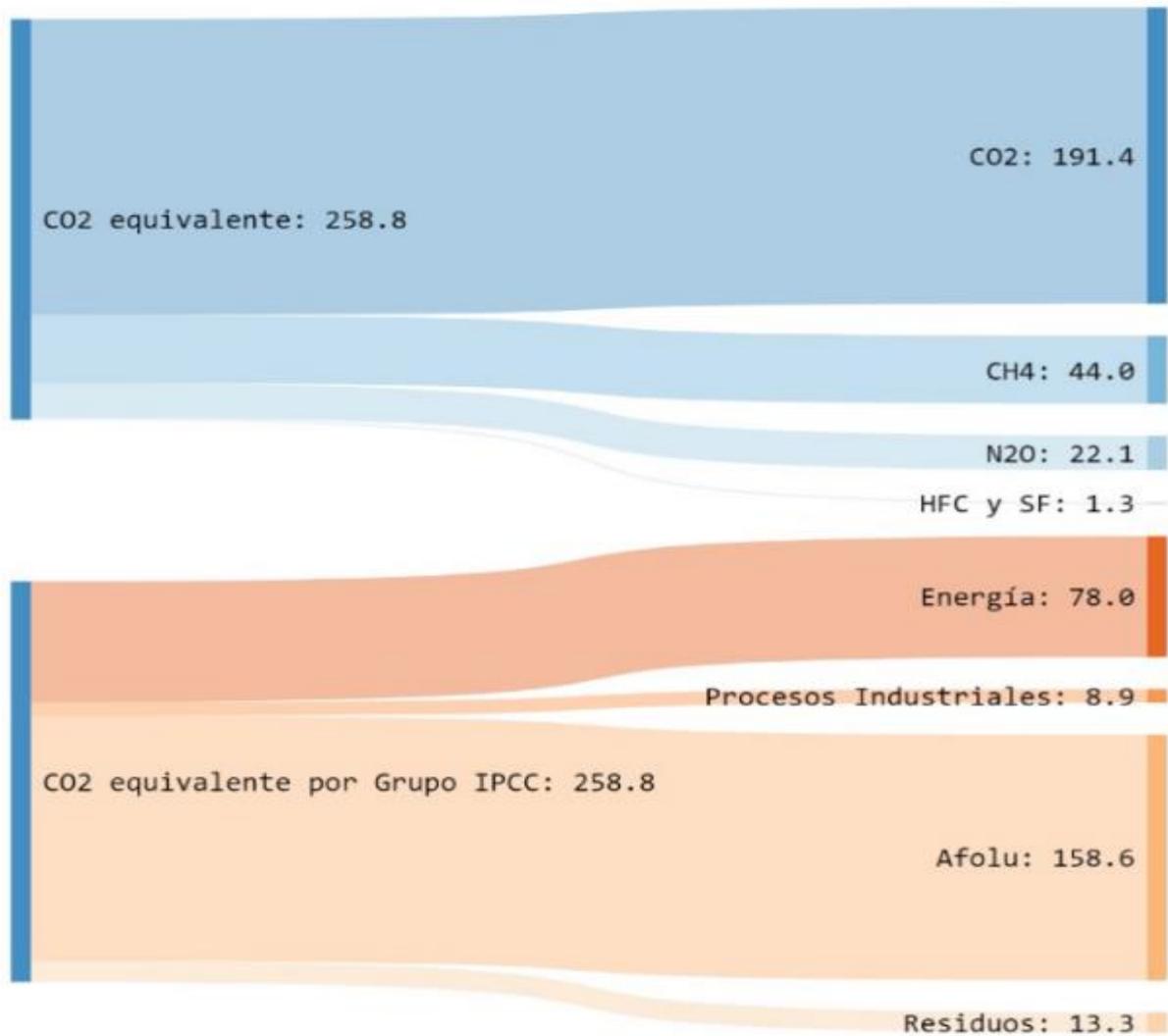
En este sentido, el país tiene el compromiso de reportar periódicamente la estimación de los inventarios de emisiones de GEI y los avances en cuanto a la implementación de leyes, políticas y proyectos que propendan por la mitigación de GEI, donde las cifras con valores negativos corresponden a las absorciones brutas y el balance neto se refiere a las emisiones brutas menos las absorciones (IDEAM, 2016).

Para generar los reportes a la CMNUCC es preciso continuar las indicaciones metodológicas planteadas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático IPCC, con el propósito de obtener unicidad en la información obtenida por parte de cada país. En este sentido, el grupo IPCC, que asesora a la CMNUCC en la actualización de las metodologías para el cálculo de inventarios, contempla las emisiones GEI en cuatro grandes grupos: energía; procesos industriales; agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra, además de residuos de emisiones IPCC (IDEAM, 2016).

Es así, que para los procesos industriales están incluidas las actividades de aquellos químicos usados en la producción de cal viva, vidrio, fibra de vidrio y producción de acero que genera CO₂, CH₄ y N₂O. Para el caso del grupo agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra AFOLU, se tienen en cuenta y se estiman las emisiones antropogénicas de CO₂, CH₄ y NO₂ producidas por actividades agropecuarias. Se considera, por ejemplo, la cantidad de animales y ganados, sistemas de gestión de estiércol, áreas de cultivo y pastizales, y explotación de la tierra. Para emisiones del grupo de residuos se calculan las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O producidas en la disposición, tratamiento y gestión de residuos sólidos y aguas residuales.

Ahora bien: para el caso que ocupa este documento, en el caso del grupo de energía se estiman emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O consecuencia de explotación de minas, producción y consumo de energía en el sector de manufactura, transporte, uso residencial y agrícola generado a partir de la quema de combustibles y emisiones fugitivas de algunos procesos anteriormente mencionados.

Para realizar la estimación de estas emisiones se tendrán en cuenta las directrices del IPCC de 2006 y su actualización en 2019, incluido el módulo de energía en el Capítulo IV, que comprende la combustión estacionaria, combustión móvil, transporte, inyección, almacenamiento geológico de CO₂ y emisiones fugitivas (IPCC, 2006). Esta última sección que contiene el tipo de emisiones a analizar en el presente trabajo, como se observa en la figura 1:

Figura 1*Distribución de Emisiones.*

Nota: Adaptado de IDEAM 2016, cifras en Mton de CO₂ eq

Como se observa en la Figura 1, el 74% de las emisiones totales corresponde a CO₂ y provienen principalmente del grupo Afolu. Por otra parte, el CH₄ aporta 17% de las emisiones totales y es generado principalmente por el grupo Afolu.

2.3. Emisiones Fugitivas

Las emisiones fugitivas son una fuente directa de los GEI, ya que liberan metano CH₄ y dióxido de carbono CO₂ ocasionadas por la liberación intencional o no intencional de los GEI. En la siguiente tabla, tomada del IPCC 2006, se muestra la división de las emisiones procedentes del gas natural para el sector energía, que a su vez se tienen en cuenta dentro de los tres Niveles Metodológicos explicados más adelante:

Tabla 1

División detallada del sector para las emisiones procedentes de la producción y del transporte de petróleo y gas natural

Código del IPCC	Nombre	Explicación
1 B 2 b	Gas Natural	Abarca las emisiones por venteo, quema en antorcha y toda la otra fuente fugitiva vinculada a la exploración, producción, al procesamiento, a la transmisión, al almacenamiento y a la distribución de gas natural (incluso tanto a los gases asociados como los no asociados).
1 B 2 b i	Venteo	Emisiones por el venteo de gas natural y corrientes de desecho de gas/vapor en instalación de gas.
1 B 2 b ii	Quema en antorcha	Emisiones por la quema en antorcha de gas natural y corrientes de desecho de gas / vapor en instalaciones de gas.
1 B 2 b iii	Todos los demás	Emisiones fugitivas en instalaciones de gas natural producto de fugas de equipos, pérdidas en almacenamiento, roturas de gasoductos, explosiones de pozos, migración de gases a la superficie que rodea la parte externa del cabezal del pozo, arcos de ventilación en superficies o emisiones de vapores no contabilizados específicamente como venteo en antorcha.
1 B 2 b iii 1	Exploración	Emisiones fugitivas (excluidas las de venteo y quema en antorcha) de perforación de pozos de gas, pruebas de producción con tubería de perforación y los agotamientos de pozos.

1 B 2 b iii 2	Producción	Emisiones fugitivas (excluidas las de venteo y quema en antorcha) desde el cabezal del pozo hasta la entrada a las plantas procesadoras de gas o, cuando no se requiere procesamiento, a los puntos de conexión de los sistemas de transmisión de gas. Incluye las emisiones fugitivas vinculadas a los servicios a los pozos, recolección de gas procesamiento y agua de desechos asociada, y actividades de eliminación de gases ácidos.
1 B 2 b iii 3	Procesamiento	Emisiones fugitivas (excluidas las emanadas por venteo y quema en antorcha) de instalaciones de procesamiento de gas.
1 B 2 b iii 4	Transmisión y almacenamiento	Emisiones fugitivas de sistemas usados para transportar gas natural procesado a los mercados (o sea, a los consumidores industriales y a los sistemas de distribución de gas natural). En esta categoría deben incluirse también las emisiones fugitivas de los sistemas de almacenamiento de gas natural. Las emisiones de plantas de extracción de gases naturales líquidos en los sistemas de transmisión deben declararse parte del procesamiento de gas natural (sector 1B 2 b iii 3). Las emisiones fugitivas vinculadas a la transmisión de gases naturales líquidos deben declararse en la categoría 1 B 2 a iii 3).
1 B 2 b iii 5	Distribución	Emisiones fugitivas (excluidas las emanadas por venteo y quema en antorcha) de la distribución de gas natural a los usuarios finales.
1 B 2 b iii 6	Otros	Emisiones fugitivas de sistemas de gas natural (excluidas las emanadas por venteo y quema en antorcha) no contabilizadas en las categorías anteriores. Puede incluir las emisiones de explosiones de pozos y de rupturas de gasoductos.
1 B 3	Otras emisiones de producción de energía	Emisiones procedentes de la producción de energía geotérmica y de otra producción de energía no incluidas en 1 B 1 ni en 1 B 2

Nota: Adaptado del IPCC 2006

Específicamente, las emisiones a cuantificar se encuentran dentro de la subcategoría 1 B 2 b iii 5 “Distribución” enunciada en la Tabla 1, dentro de la cual se encuentran las liberaciones accidentales de roturas en tubos por excavaciones, fugas y derrames accidentales, fugas de equipos, evaporación, pérdidas de descarga, venteo, quema en tea, incineración, entre otros. Por otro lado, también se presentan emisiones tecnológicas o intencionales, las cuales pueden producirse de manera continua o intermitente, tales como venteo o purga rutinarios de tanques, compresores, alivios y despresurizados de equipos y accesorios como válvulas de corte, válvulas 3 vías utilizadas en la industria de GNV, actuadores neumáticos, válvulas de seguridad, entre otros.

Las emisiones fugitivas generadas en la cadena del gas natural suelen ser difíciles de cuantificar con exactitud por estar condicionadas a una incertidumbre considerable, debido a la diversidad del sector y la gran cantidad y variedad de fuentes de emisiones potenciales.

2.3.1. Metodologías para estimaciones y Árboles de Decisión para emisiones fugitivas

Las directrices del IPCC definen tres niveles metodológicos (1, 2, 3), para determinar las emisiones fugitivas derivadas de los sistemas de gas natural. Estas directrices y métodos fueron adaptados por el Gobierno Nacional Colombiano en agosto de 2018, siendo el Ministerio de Minas y Energía quien adoptaría el Plan Integral de Cambio Climático del Sector Minero Energético por medio de la Resolución 40807, con el objetivo de reconocer y cuantificar de manera completa, consistente y transparente las emisiones fugitivas.

Para desarrollar estos tres niveles metodológicos, se tienen en cuenta cada una de las categorías y subcategorías incluidas en la *Tabla 1*, además de la cantidad de información y recursos disponibles para poder medir las emisiones.

Para elegir el nivel metodológico adecuado, se debe considerar la accesibilidad a la información de la fuente de emisión, por cuanto se encuentra en función del grado de detalle. A este respecto, el Nivel 1, aun cuando es el más sencillo de usar, genera incertidumbres considerables y no se recomienda utilizarlo, ya que los datos arrojados tienen un alto porcentaje de error, pues utiliza factores predefinidos por defecto según la actividad de la que se quiera estimar la emisión. Por su parte, el Nivel 2 aplica para estimar la cantidad de emisiones por venteo usando ecuaciones con variables de masa, utilizando factores de producción específicos para cada país y la información de composición de gas. Ahora bien, emplear una metodología de Nivel 3 depende de la posibilidad y disponibilidad de tener datos detallados y rigurosos de producción e infraestructura (información relativa a la cantidad, a los tipos de instalaciones, y a la cantidad y al tipo de equipos usados en cada planta), asociados a cada fuente de emisión.

Los tres niveles metodológicos mencionados anteriormente, para la estimación de emisiones fugitivas de sistemas de gas natural, se describen a continuación:

Nivel 1

La metodología de Nivel 1 consiste en el uso de los factores de emisión definidos en una medida acorde a la actividad, tales como producción, transporte, distribución para cada subcategoría indicada en la Tabla 1, que son aplicables a la industria del gas natural. Al aplicar este nivel se utilizan las ecuaciones presentadas a continuación, tomadas del Capítulo IV de las Directrices del IPCC (2006):

Ecuación para estimar emisiones fugitivas procedentes de un segmento de la industria

$$E_{gas, \text{ segmento de la industria}} = A_{\text{segmento de la industria}} \times EF_{gas, \text{ segmento de la industria}}$$

Ecuación el total de las emisiones fugitivas procedentes de los segmentos de la industria

$$E_{gas} = \sum E_{gas, \text{ segmento de la industria}}$$

Donde:

$$E_{gas, \text{ segmento de la industria}} = \text{Emisiones anuales (Gg)}$$

$$EF_{gas, \text{ segmento de la industria}} = \text{Factor de emisión} \left(\frac{Gg}{\text{unidad de actividad}} \right)$$

$$A_{\text{segmento segmento de la industria}} = \text{Valor de la actividad (unidades de actividad)}$$

El segmento de la industria aplicable al estudio de caso de este documento es el de la distribución de gas y el factor disponible para Nivel 1 es 1,1 E-03 (Gg por 10 m³ de ventas de servicios) con una incertidumbre del 500%, relacionado con la producción y estadísticas nacionales de gas (IPCC, 2006). Como se puede observar, en las ecuaciones anteriormente mostradas, a mayor cantidad de industrias mayor es el aporte de emisiones fugitivas, por lo que, al tener un alto grado de incertidumbre en este Nivel Metodológico, la mejor opción para estimar las emisiones fugitivas de los diferentes equipos es un método de Nivel 3. Los datos de la actividad necesarios para Nivel 1 se limitan a la información que puede obtenerse directamente de las estadísticas nacionales típicas de petróleo y gas o estimarse fácilmente a partir de estas.

Nivel 2

El método de Nivel 2 se basa en emplear las ecuaciones de Nivel 1 con factores de emisión definidos para país en lugar de factores generalizados; a diferencia del Nivel 1, los cuales se determinan para cada país a partir de estudios y programas de muestreo, entre tanto para los datos de la actividad necesarios para el abordaje metodológico estándar de Nivel 2 son iguales a los necesarios para en el Nivel 1. A continuación, se presenta la ecuación sugerida por el IPCC (2006) para el cálculo de emisiones de metano producto del venteo en campos petroleros.

Ecuación del Método de Nivel 2 (Emisiones Producto del Venteo)

$$E_{CH_4, prod\ petr, venteo} = RGP \times Q_{pteroleo} \times (1 - EC) \times X_{Quemado\ antorcha} \times M_{CH_4} \times y_{CH_4} \times 42,3 \times 10^{-6}$$

Donde:

$E_{CH_4, prod\ petr, venteo}$

= cantidad directa $\left(\frac{Gg}{y}\right)$ de gas efecto invernadero emitido por el venteo en las instalaciones de producción de hidrocarburo de RGP

= relación promedio gas – petróleo $\frac{m^3}{m^3}$ referida a 15°C y 101,3 kPa

$Q_{Petroleo} =$ Producción total anual de petróleo ($10^3 m^3 / y$)

$EC =$ factor de eficacia de conservación del gas

$X_{Quemado\ antorcha}$

= fracción del gas de desecho que se quema en antorcha en lugar de ventearse

$M_{CH_4} =$ peso molecular del metano (16,043)

$y_{CH_4} =$ fracción molar del gas metano asociado

$42,3 \times 10^{-6} =$ es la cantidad del kmol por m3 referido en 101,3kPa y 15°C

Nivel 3

El Nivel 3 comprende la aplicación de un cálculo exhaustivo y completo por tipo de fuente (venteo, escapes fugitivos del equipo y liberaciones accidentales o tecnológicas) en cada instalación a estudiar, así como tener la justificación adecuada para dichos aportes de emisiones.

Se debe utilizar este Nivel en instalaciones principales en los casos en los que los datos necesarios de la actividad y la infraestructura estén disponibles o sea razonable obtenerlos.

Los datos principales que se deben tener en cuenta en una evaluación de Nivel 3, y que quizá requieran trabajo de campo para obtener información, son los siguientes:

- *Liberaciones atmosféricas declaradas, ante las autoridades ambientales, causadas por fugas de pozo y rupturas de gasoducto.*
- *La cantidad y la composición del gas ácido que se inyecta en las formaciones subterráneas seguras para desecho.*
- *Liberaciones para escapes fugitivos del equipo, liberaciones tecnológicas de gas, venteo y quema en antorcha sin justificar y/o declarar, pérdidas por descarga en las instalaciones de producción, pérdidas por evaporación, siendo estos datos los necesarios para el caso de estudio de este documento.*

2.4. Generalidades de una GNV

En la actualidad, la industria del GNV en Colombia está regida por la Resolución 40278 de 2017 emitida por el Ministerio de Minas y Energía, en la cual se encuentra plasmado el reglamento técnico aplicable a las estaciones de servicio que suministran Gas Natural Comprimido para uso vehicular.

Una estación de servicio que comercializa Gas Natural Vehicular GNV está compuesta por 5 zonas que permiten el llenado de los vehículos con este combustible. Siguiendo la cadena del flujo del gas desde su red de transporte, se halla la primera zona denominada Estación de Regulación y Medición ERM, en donde ingresa el gas con la presión de distribución que, en promedio para Bogotá es de 200 psi con una temperatura de 80°F. Luego pasa por un filtro coalescente que separa las partículas sólidas y líquidas que el gas pueda llevar, y enseguida pasa

por una válvula reguladora que disminuye esta presión a 188 psi, variable necesaria para que el compresor puede operar y así, finalmente, llevar a cabo la medición con medidores rotatorios, unidades correctoras y sistema SCADA.

Durante este proceso, para las condiciones climatológicas y la configuración de la red de distribución de Bogotá, no se requiere el uso de calentador, ya que solo se presenta una caída de presión en la zona de la ERM, provocando una caída de temperatura a 67°F. La segunda zona, y luego de que el gas pasa la ERM, ingresa a la zona de compresión, en la cual un equipo compresor reciprocante se encarga de elevar la presión hasta 3600 psi a una temperatura de 80° C aproximadamente.

Cuando el gas está comprimido pasa a la siguiente zona, denominada de almacenaje que, como su nombre lo indica, se encarga de almacenar el gas a alta presión (3600 psi y 30° C) y mantenerlo disponible para cuando se estén tanqueando los vehículos.

Finalmente, el gas es despachado hacia la cuarta zona, en la cual los vehículos son abastecidos por los surtidores que se encuentran en la zona de llenado. Estos surtidores están conectados al almacenaje y mediante una serie de accesorios se encargan de entregar, medir y facturar el GNV a los vehículos.

La última zona, y no menos importante, es la zona de control, que está compuesta por todas las partes eléctricas y electrónicas, que permite y controla el proceso de compresión en una estación de servicio de GNV. A continuación, en la figura 2, se muestran las zonas de una estación GNV:

Figura 3

Zonas de una estación GNV.



Nota: Departamento Administrativo del Medio Ambiente (2011)

El proceso de tanqueo inicia con el aparcamiento del vehículo en la zona de llenado. Posteriormente se procede a hacer la lectura y validación del chip de identificación del vehículo, en donde se evidencia que cuenta con el mantenimiento respectivo vigente. Luego de la validación se procede con el acoplamiento de una válvula NGV1 al receptáculo de llenado que tiene el vehículo. Después de abrir la válvula tres vías se inicia el flujo de gas del surtidor hacia el cilindro del vehículo. La finalización automática del tanqueo se da cuando el surtidor ha medido que la

presión que tiene el cilindro del vehículo es la que está predeterminada de acuerdo con la normatividad vigente.

Cuando ha terminado el tanqueo queda un remanente dentro de la válvula tres vías, dejándola presurizada y acoplada al receptáculo del vehículo. Para poder desacoplar esta válvula del vehículo se debe despresurizar girándola nuevamente a una posición en la que permite la salida del flujo de gas del vehículo hacia el venteo del surtidor expulsando ese remanente de gas a la atmósfera.

2.4.1. Surtidores de GNV

En los surtidores se realiza la operación de venteo de gas al finalizar el llenado, maniobra que, al ser objeto de interés del presente trabajo, hace necesario detallar las partes que componen un surtidor, especificadas más adelante. Los surtidores de las estaciones de servicio GNV son los encargados de suministrar el gas a los vehículos y enviar información para su facturación. Los surtidores están compuestos por dos sistemas.

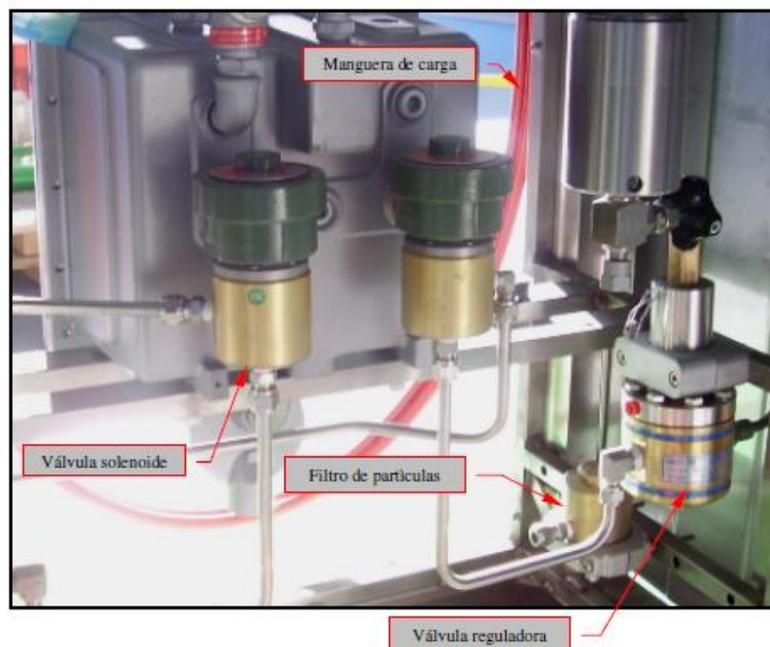
El primero de ellos es el sistema de líneas de gas, cuya principal parte es el medidor, encargado de medir y contabilizar la cantidad de gas suministrado. Este sistema está compuesto por diferentes elementos: el circuito para las líneas de flujo de gas o líneas de alta presión que conducen el gas a través del surtidor y lo transportan a la válvula de llenado del vehículo; los sistemas de válvulas y filtros; y los dispositivos auxiliares involucrados con la transmisión y elaboración de los resultados del llenado como teclados, displays de interfaz, impresoras y sistema de identificación de vehículo. Por su parte, el sistema de control es el conjunto de partes eléctricas y electrónicas que controlan el flujo de gas hacia el vehículo mediante tarjetas electrónicas, válvulas solenoides y circuitos eléctricos.

2.4.2. Circuito de gas

El gas llega a los surtidores gracias a las tuberías de acero que llegan desde la zona de almacenamiento conectándose a la entrada del surtidor pasando por el *filtro de partículas* para llegar al *sensor másico*. De allí se conduce a la *válvula solenoide* donde se transporta hacia la *válvula reguladora*. Posteriormente, llega a la *válvula de dos vías*, enseguida al *manómetro*, a la *válvula break away*, pasando por la *manguera de carga*, luego a la *válvula tres vías* y finalmente al *acople rápido tipo NGVI* (Delta, 2006). Cada una de estas partes se explican a continuación:

Figura 4

Circuito de gas.



Nota: Manual del Usuario Aspro Dispenser AS 120 D

Filtro de entrada de partículas: Su función es filtrar el gas proveniente de almacenaje mediante un filtro coalescente, el cual está diseñado para soportar 250 bar (Delta, 2006).

Válvula solenoide: Su función es abrir y cortar el paso de gas hacia los vehículos mediante una bobina que se energiza cuando se autoriza la venta de gas para un vehículo (Delta, 2006).

Válvula reguladora: Esta válvula calibrable es la encargada de regular y mantener la presión de llenado permitiendo que ésta se encuentre dentro de los rangos permitidos, de acuerdo con la normatividad de cada país (Delta, 2006).

Manguera de carga: Está diseñada para trabajar a 5000 psi y tiene como función conducir el gas del surtidor hacia el vehículo (Delta, 2006).

Sensor máscico: Es el encargado de medir la masa del gas para luego convertirla en unidades de volumen, mediante una operación aritmética utilizando la densidad del gas (Delta, 2006).

Válvula de dos vías: Permite el bloqueo manual del paso del gas en el circuito del surtidor, en caso de emergencia. Normalmente permanece abierta (Delta, 2006).

Válvula break away: También conocida como válvula de desacople rápido, se encuentra instalada junto con las mangueras y cumple la función de desacoplar la manguera ante una agitación brusca, así como también la de bloquear el gas, en caso de emergencia (Delta, 2006).

Válvula de 3 vías: Funcionando sobre los 3095 psi, esta válvula se encuentra conectada al final de cada manguera y se opera manualmente para suministrar y finalizar el tanqueo. Su nombre de 3 vías se debe a que permite 3 estados de flujo de la manguera, estando en posición abierta permite el flujo de gas desde el surtidor hacia el vehículo, en posición de despresurizado permite el paso de gas del vehículo hacia el exterior expulsando una pequeña cantidad de gas para permitir desacoplar la válvula y en posición cerrada no permite el paso de gas hacia ningún lado manteniendo presurizada la línea (Delta, 2006).

Válvula de llenado / acople rápido: Permite el acople para el suministro de gas del surtidor hacia el receptáculo del vehículo (Delta, 2006).

Manómetro presostato: Cumple la función de indicar la presión a la cual se está haciendo el llenado y, a su vez, de cortar el flujo de gas, en caso de una sobrepresión gracias a la acción del presostato (Delta, 2006).

2.4.3. Métodos de Medición de Gas

Desde la prehistoria, el hombre ha tenido constante necesidad de medir cada actividad que realiza a través de una manera casi instintiva. Por ejemplo, mide las operaciones comerciales, el tiempo transcurrido o la tierra labrada. Con los avances tecnológicos se ha evidenciado que la medición es la base de casi todas ciencias (Francis & Morse, 1989). Por esta razón, en este apartado se abordarán los métodos utilizados para la medición del gas natural en toda su cadena productiva.

En la industria existen categorías de equipos asociadas a la medición de la variable flujo, por lo que para el presente documento se referencian medidores volumétricos y medidores de caudal de flujo. El principio de funcionamiento del primero de ellos está asociado a instrumentos que cuentan con cámaras de volumen fijo que registran la cantidad de veces que se realiza el llenado y vaciado de las mismas. Para el segundo, por su parte, su funcionamiento radica en la medición de variables físicas asociadas al flujo como presión, velocidad y flujo másico (Bullón Vilchis, 2009).

A continuación, se puntualiza cada uno de estos tipos de medidores donde se esboza su funcionamiento y otros aspectos generales. Para ello, se expone un marco conceptual acerca de la medición del gas natural, por lo que se exponen los métodos de medición a la variable flujo que existen para la industria en general. En seguida se enunciarán los diferentes tipos de medidores asociados a los métodos de medición, haciendo énfasis en aquellos que se usan para el gas natural.

2.4.3.1. Medidores volumétricos. Son equipos mecánicos que tienen un volumen establecido de capacidad para medir un flujo de aguas arriba hacia aguas abajo con respecto al punto de medición, donde la suma de la repetitividad de operaciones es la cantidad de fluido que se mueve durante un período de tiempo (GPSA, 2004). Dentro de esta categoría se encuentran los medidores de diafragma y los medidores rotatorios.

2.4.3.2. Medidores de diafragma. Este tipo de medidores, empleados usualmente para uso doméstico y comercial en estufas industriales, cuenta con varias cámaras que son llenadas de flujo de manera alternada, y expulsadas de la misma manera, gracias a sus válvulas internas, generando así un flujo continuo. De esta manera, el movimiento giratorio que se presenta en la expansión y contracción de las cámaras o diafragmas, y que afecta el movimiento de las palancas conectadas, genera conteos en contadores mecánicos o pulsos eléctricos en contadores computarizados registrando la lectura de gas que ha transitado por el medidor (Promigas, 2015).

Figura 5

Medidor de Diafragma.

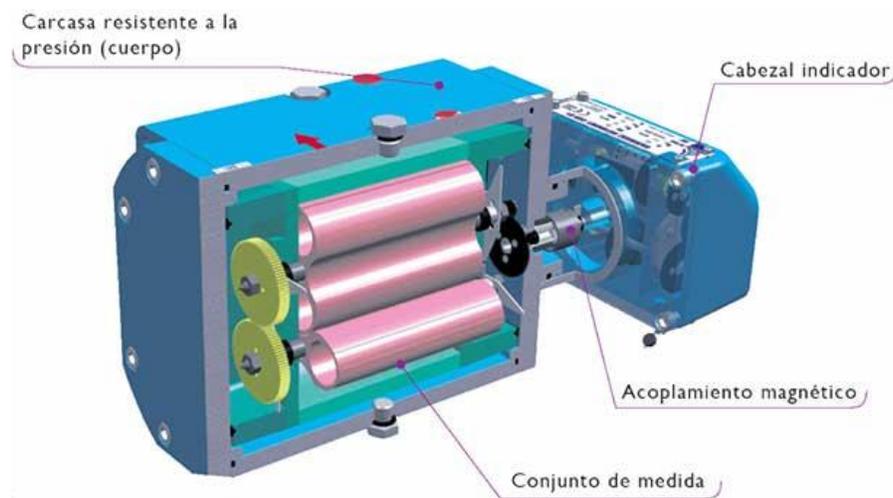


Nota: Itrón (2020)

2.4.3.3. Medidores rotatorios. El principio de operación de los medidores rotatorios, utilizados en industrias químicas, consiste en permitir el paso de gas y en cantidades exactas, de acuerdo con el número de lóbulos que tenga, a través de los cuales se transporta el gas y se entrega aguas abajo del medidor. Para su funcionamiento se requieren condiciones mínimas específicas, en promedio de 85 m³/hora en caudal y máximas de 175 psi en presión, transmitiendo el número de rotaciones mediante el tren de engranajes que tiene instalado, donde el gas fluye alternadamente a medida que circula por los lóbulos (Promigas, 2015).

Figura 6

Medidor Rotatorio.



Nota: STI LTDA (2020)

2.4.3.4 Medidores de caudal de flujo. Los medidores de caudal de flujo se clasifican en los siguientes medidores:

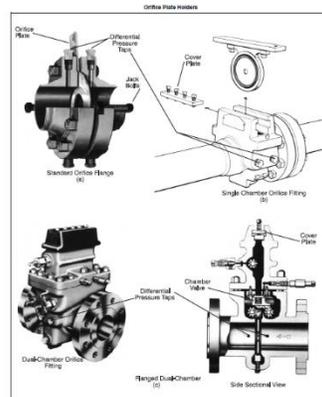
- *Medidores de flujo por presión diferencial (medidores de placa de orificio y tubo Venturi).*

Son aquellos contadores que captan la diferencia de presión generada por una obstrucción al flujo en un segmento determinado de la tubería, produciendo una caída de presión que es consecuente con la ley de la conservación de la energía. En esta tipología se encuentran principalmente los medidores de placas de orificio y los de tubo Venturi (Bullón, 2009).

- *Medidores de placas de orificio*

Bullón (2009) plantea que los medidores de placas de orificio son utilizados para medir volúmenes de fluidos constantes de gases o líquidos y vapores de alto y bajo flujo, razón por la cual son aceptados en la industria, dado que su construcción es simple y económica. Consta de manómetros ubicados antes y después de la placa de orificio que permiten captar la presión diferencial al paso del fluido por la placa, cuya presión es directamente proporcional a la raíz cuadrada del caudal. La placa mantiene su perpendicularidad por bridas donde se tiene en cuenta el diámetro del orificio, redondez, calidad de los bordes, entre otros (API, 2021).

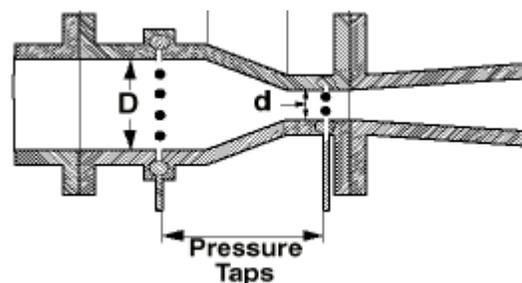
Algunas modificaciones realizadas a este tipo de medidores permiten la inspección y cambio de la placa de orificio mientras la línea permanece presurizada. Mediante el cierre de una válvula se separa la parte superior de la inferior del accesorio (GPSA, 2004).

Figura 7*Sistema de medición placa de orificio*

Nota: <https://images.app.goo.gl/ahhUE3nrD9D7zvkd8>

- *Medidores de tubo Venturi*

Este elemento está compuesto por una boquilla cónica que permite ingresar el flujo de manera acelerada y disminuida a través de la zona cónica, para que, en la salida o zona de difusión y de manera progresiva, se genere una elevada recuperación de la presión (WIKA, 2017). Este aumento representa una ganancia de energía cinética y una pérdida de energía potencial, siendo su principio de funcionamiento similar al de las placas de orificio (Bullón, 2009).

Figura 8*Tubo Venturi*

Nota: Itrón (2020)

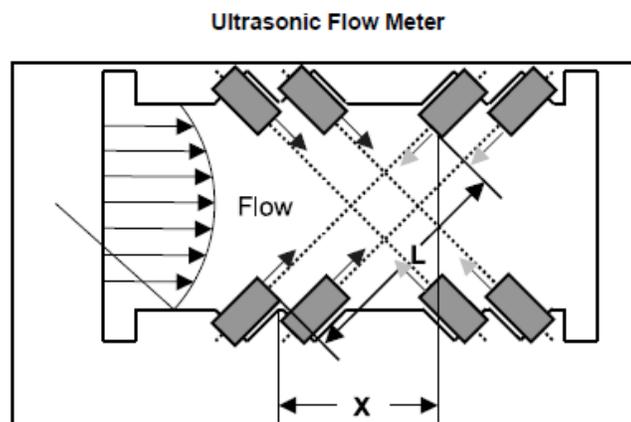
2.4.3.5. Medidores de Ultrasonido. Estos medidores, creados para medir fluidos monofásicos, cuentan con un sensor que determina la cantidad de flujo dados los pulsos presentados en un determinado tiempo generados por cada par de transductores, transmitidos de manera recíproca, acoplados aguas arriba y aguas abajo del medidor debido a la trayectoria del flujo (GPSA, 2004).

Cada par de transductores mide el tiempo de recorrido de cada pulso de sonido transmitido desde el transductor aguas arriba en dirección con el flujo hasta el transductor que está aguas abajo, y del pulso en contra corriente del transductor aguas abajo hasta el transductor que está aguas arriba. La diferencia entre estos tiempos está relacionada con la velocidad del gas a lo largo de esa sección en específico (GPSA, 2004).

Este medidor en particular, en comparación a los otros medidores, tiene la característica de que sus componentes no son invasivos, es decir, no obstruyen el flujo de gas por dentro de la tubería, lo cual beneficia en que no presenta caídas de presión por la línea de transporte.

Figura 9

Medidor ultrasonido

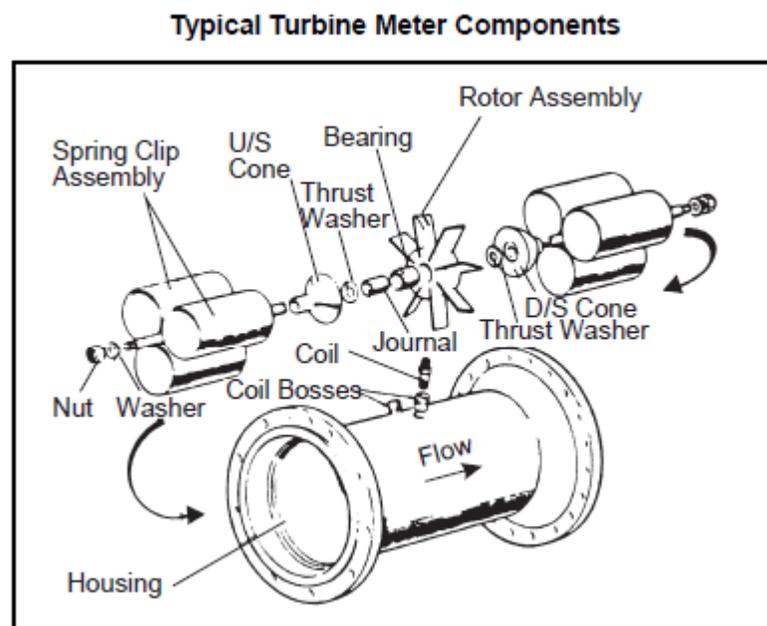


Nota: GPSA (2021)

2.4.3.6. Medidores por Velocidad de flujo (medidores de turbina). Este tipo de contador mide la velocidad del flujo mediante un transductor magnético que cuenta las revoluciones de la turbina y consta de una sección móvil que tiene incluida una turbina sostenida en un eje por casquetes de alta presión y poca fricción. Cuando el flujo pasa a través de este, la dirección es paralela al eje de rotación de la turbina y la velocidad de esta es directamente proporcional a la velocidad que lleva el flujo (GPSA, 2004).

Figura 10

Medidor velocidad de flujo

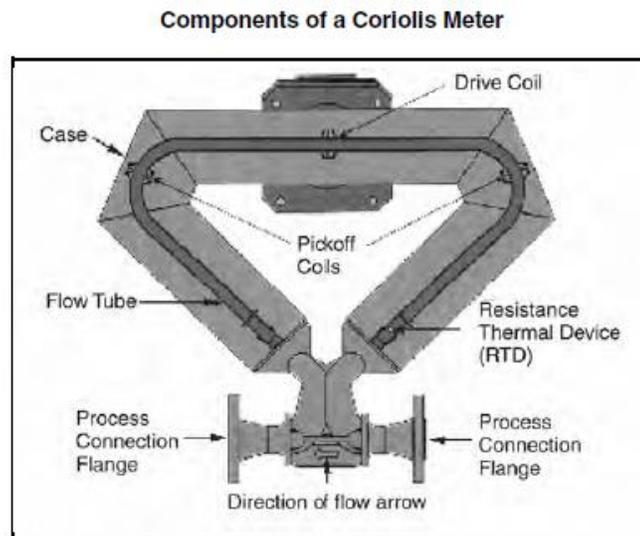


Nota: GPSA (2021)

2.4.3.7. Medidores de flujo másico. Su principio de operación está basado en la medición del momento angular -definido por los movimientos rotatorios de una masa-, el cual es proporcional a la velocidad de la masa y calculado mediante una variedad de sensores mecánicos y transmisores, convertidos a su vez en señales electrónicas. Algunas de las características sobresalientes para este tipo de medidores es que no requiere instalación de accesorios adicionales para su funcionamiento y mide aquellos fluidos no definidos, tales como etano y metano en una misma corriente (GPSA, 2004).

2.4.3.8. Medidor de Coriolis. El sensor de Coriolis pertenece a la familia de los medidores de flujo másico y está compuesto principalmente por tubos conductores de flujo que están conectados con la tubería del sistema de transporte que lleva el flujo, una bobina impulsora con imán, dos bobinas pick-off con sus imanes y una termorresistencia, con un rango de precisión de (+/- 0,1%) y una repetibilidad aceptable, pudiendo medir altas presiones y bajos caudales como el Gas Natural Comprimido GNC (GPSA, 2004).

En condiciones normales de operación, este sensor mide el flujo mediante un tubo conductor que se agita por vibraciones simples, torsionales, radiales y acopladas, en los que, a medida que la masa atraviesa el sensor, el movimiento es medido en varios puntos distribuidos a lo largo del tubo (GPSA, 2004).

Figura 11*Medidor de Coriolis*

Nota: GPSA (2021)

2.5. Análisis del método

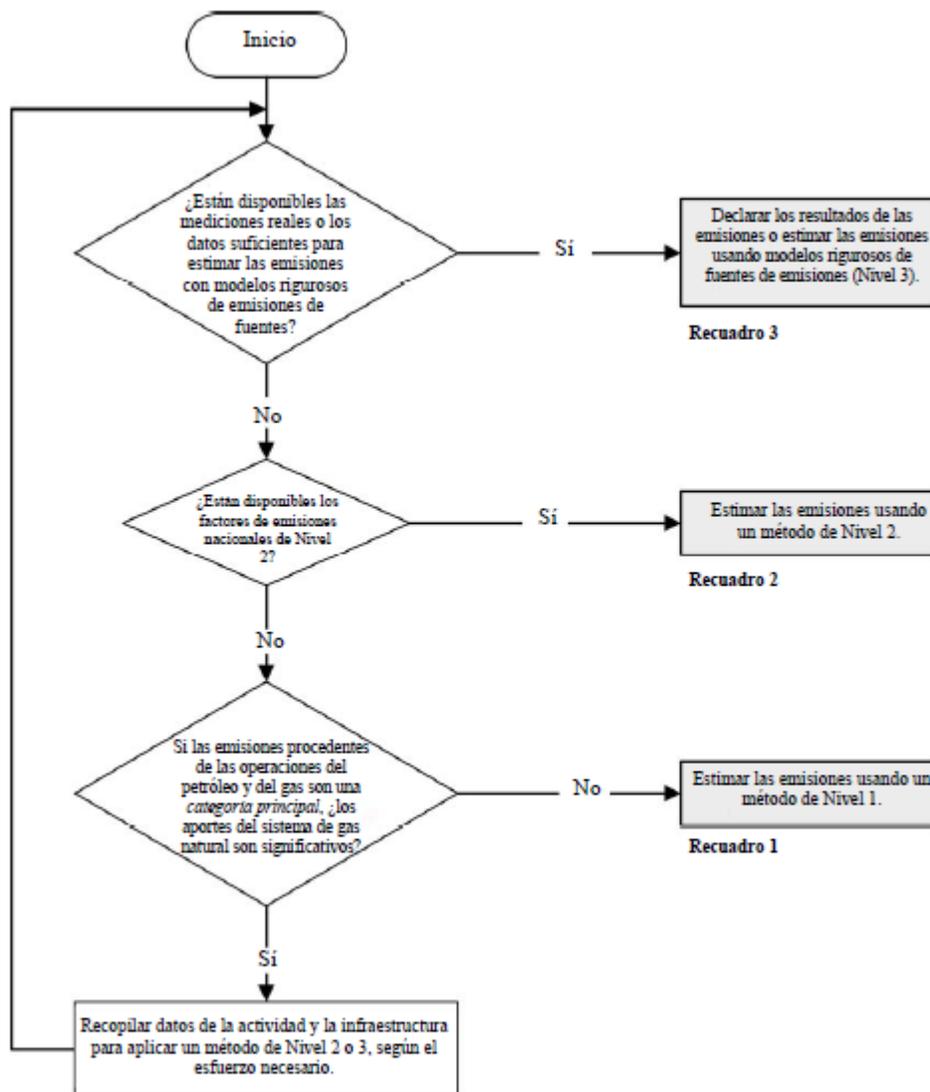
Para el estudio de caso de este documento, la liberación de gas metano a la atmósfera ocurre en la válvula tres vías de las mangueras de los surtidores al finalizar un tanqueo de gas en un vehículo en las estaciones de servicio GNV, por lo que su frecuencia de emisión depende de la cantidad de tanqueos que se realicen, independiente de la cantidad de metros cúbicos vendidos.

Esta liberación de gas sucede al finalizar un tanqueo de gas en un vehículo. Cuando se debe desacoplar la válvula de llenado del surtidor del receptáculo, es necesario despresurizar estos dos componentes mediante el giro de la válvula tres vías. Esta pequeña cantidad de gas es venteadada a la atmósfera aportando una cantidad desconocida de gas metano al ambiente. A continuación, en la tabla 2 se resumen la información de identificación de la fuga.

Tabla 2*Información identificación de la fuga*

Tipo y tamaño del componente	Tipo: Válvula tres vías Diámetro: 1/8"
Servicio provisto	Servicio: Venta de gas natural comprimido para uso vehicular.
Unidad de proceso o área	Estación de GNV
Ubicación del componente	Ubicación: (4.6769607 - 74.0860415)
Tipo de instalación	Estación de servicio de venta de GNV
Marca física en el punto de la fuga	Venteo gas de por válvula tres vías de manguera de surtidor

Es importante acotar que este proceso de despresurización en la válvula tres vías es propio de su modo de operación, por lo que la red de estaciones de servicio de GNV realizan este venteo luego de cada tanqueo de GNV a los clientes. A continuación, la Figura 2 presenta un árbol de decisión general para seleccionar un método apropiado para un segmento dado del sector del gas natural, según la información con la que se dispone:

Figura 2*Árbol de Decisión***Nota:** Directrices IPCC 2016

Con el trabajo en campo a realizar, se logran obtener mediciones reales para la estimación de la liberación intencional en cada despresurizado de la válvula tres vías, planteando así la siguiente ecuación de Nivel 3 (IPCC, 2006):

$$E = \frac{GWP_{CH_4}}{1000} \times y_{CH_4} \times EF_i \times T_i$$

En donde:

$$E = \text{Emisiones (tCO}_2\text{eq)}$$

y_{CH_4}

= *Fracción másica promedio del metano en el gas que se fuga en el sistema* $\left(\frac{\text{kg CH}_4}{\text{kg gas}}\right)$

$EF_i = \text{Factor de emisión para el componente } i \text{ (kg gas/ciclo)}$

$T_i = \text{Cantidad de ciclos o repeticiones en las que se realiza la liberación de gas}$

$i = \text{componente al cual se está realizando la medición real}$

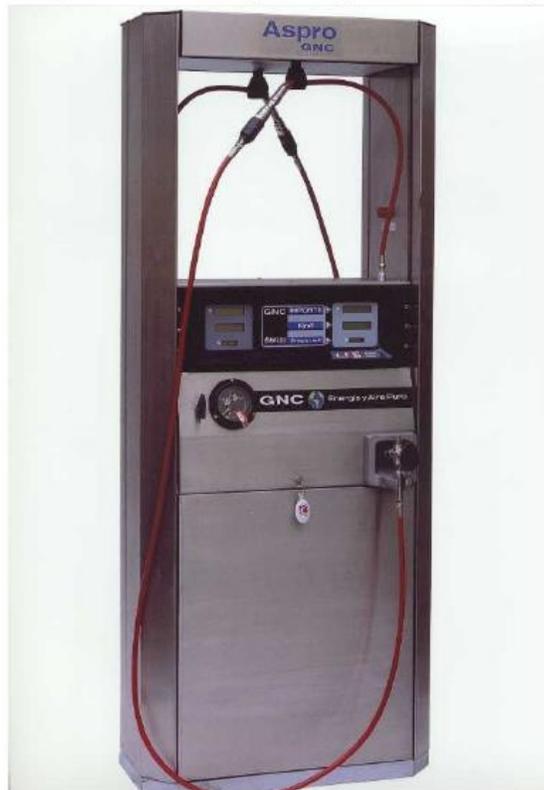
El parámetro de GWP se utiliza para convertir la masa de cada GEI en CO₂ equivalente, el cual es un valor relativo que expresa qué tanta radiación infrarroja atrapa en la atmósfera un GEI relativa a la atrapada por el CO₂ en diferentes horizontes de tiempo (20, 100 y 500 años). Por ejemplo, el GWP del CH₄ reportado por el IPCC para un horizonte de tiempo de 100 años es 21, lo que significa que 1 kg de CH₄ atrapa 21 veces más radiación infrarroja que 1 kg de CO₂. Esto significa que ambientalmente 1 kg de CH₄ equivale a 21 kg de CO₂ equivalente.

3. Metodología

Con base en la información recopilada y teniendo en cuenta el objetivo principal de este trabajo, que es cuantificar y analizar el venteo final de un tanqueo vehicular en una estación de GNV del occidente de Bogotá, además, de estudiar las posibles alternativas de aprovechamiento, se utilizó el medidor másico tipo Coriolis Micromotion modelo CNG050S239NCAAEEZZZ y serial 005395 para obtener una medida en masa del gas que se ventea con una lectura confiable en unidades de masa.

El surtidor con el que se realiza la medición es de referencia Aspro 120D, el cual hace parte de la estación de servicio Altamar, ubicada en la Carrera 89 A # 99-10, en la ciudad de Bogotá. Se selecciona esta estación dado el alto flujo de vehículos y de la cantidad de datos que se pueden recolectar al hacer la prueba de cuantificación.

A continuación, se presentan las especificaciones del surtidor seleccionado, al cual se le adaptó un sensor másico Micromotion al sistema de venteo del surtidor. Se usaron racores de rosca NPT para conectar la salida de la válvula tres vías con una manguera de alta presión que transporta el gas hasta la entrada del medidor.

Figura 12*Surtidor Aspro*

Nota: Manual de Usuario de Surtidor Aspro modelo AS 120D

3.1. Especificaciones Técnicas del Surtidor de Prueba

En la siguiente tabla se presentan las especificaciones técnicas:

Tabla 3*Especificaciones técnicas*

Alimentación eléctrica	222V AC-60 Hz
Back-up de memoria	Con batería interna
Sistema de presentación	Display de cristal liquido
Configuración	A través del teclado
Teclado de membrana	3 teclas: para consulta de totales, venta anterior y para la programación de parámetros del surtidor
Fin de carga	Automática o manual
Sensor de flujo	De tipo masico, no intrusivo

Detección de fallas	Chequeo intensivo del sistema en cada pick-up de manguera. Chequeo de las electroválvulas en forma continua
Seguridad	En válvulas, tuberías de acero inoxidable fittings, y elementos de fijación, se toman elevados coeficientes de seguridad. El cableado de seguridad y la electrónica se adhieren a las normas que rigen los equipos que trabajan áreas peligrosas Clase 1 División 1.
Barrera Zenner	Infalible
Doble sistema de corte de presión	Operativo y otro de seguridad
Presión de corte	Ajustable según norma de cada país
Filtro	Sinterizado
Sistema de corte	Solenoides
Sensor Másico	Micromotion
Acople rápido	Acople NGV1
Alimentación Eléctrica	Voltaje 110

Nota: Manual de Usuario de Surtidor Aspro

3.2. Pruebas y Resultados

En el presente apartado se despliega la metodología para emisiones de metano (CH₄) a la atmósfera, basada en las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de GEI, con el objetivo de declarar el aporte de metano a los GEI, consecuencia del venteo final de un tanqueo vehicular en una GNV.

Debido a que la liberación de este venteo de gas es una liberación intencional producto de una operación propia del proceso de llenado, es decir, es una emisión fugitiva de gas por escape sin combustión, el proceso para cuantificar estas emisiones debe estar regido por las ecuaciones de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Volumen 2, Energía, Capítulo 4 Emisiones Fugitivas.

Con base en la información recopilada, la ecuación a usar para cuantificar y declarar la emisión de metano es la siguiente:

Ecuación Nivel 2:

$$E = \frac{GWP_{CH_4}}{1000} \times y_{CH_4} \times EF_i \times T_i$$

En la tabla 4 se muestran las equivalencias de la ecuación:

Tabla 4

Especificaciones de la ecuación nivel 2.

E	Emisiones tCO ₂ eq
GWP_{CH_4}	Potencial de calentamiento global válido para el reporte del inventario nacional de Colombia a la CMNUCC
y_{CH_4}	Fracción másica promedio del metano que se fuga en el sistema
EF_i	Factor de emisión para el componente (kg de gas emitidos)
T_i	Cantidad de ciclos o repeticiones en las que se realiza la liberación de gas
i	Componente al cual se está realizando la medición real

Nota: Adaptado del IPCC 2006

Luego de conocer y analizar el proceso de llenado de gas de un vehículo en una estación de servicio GNV, las partes y componentes que participan en este proceso, y de la normativa aplicable, se procederá a definir el procedimiento necesario para la medición del gas que es venteadado al finalizar un tanqueo. El establecimiento de este procedimiento para hacer la respectiva medición del gas es el siguiente:

3.3. Equipos y accesorios necesarios para la medición

En la sección 2. 3 se describieron los diferentes tipos e instrumentos para la medición. Entre las referencias descritas, el medidor más acorde es el medidor masico tipo Coriolis. Así que,

para la medición del gas venteado, se usará un patrón masico de referencia para la verificación de surtidores GNV que cuente con un medidor de este tipo, teniendo en cuenta parámetros como la presión de operación, el caudal y la calidad metrológica que brinda este sensor. El patrón masico de referencia está compuesto por:

- *Medidor masico tipo Coriolis*
- *Pico de carga*
- *Válvula de llenado*
- *Mangueras alta presión*
- *Válvula tres vías*
- *Características del medidor masico tipo Coriolis*

El medidor masico usado para las pruebas de medición es marca Micromotion, compuesto principalmente por el medidor de caudal y el transmisor de datos. Este medidor es modelo CNG-050, por lo que pertenece al segmento de medidores para gas a alta presión. Las especificaciones técnicas del medidor usado en el patrón masico de referencia se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5

Especificaciones técnicas del medidor CNG-050

Condiciones Ambientales	
Límite de temperatura del fluido de trabajo	(-40 a 125) °C
Límites de temperatura ambiente	(-40 a 60) °C
Límites de Humedad	(5 a 95)% sin condensación a 60°C
Límites de presión	345 bar
Características de la medición	
Rango de medición	(108-2400) kg/h
Incertidumbre estándar	+/- 0.03%
Resolución	0.0001 kg en display de transmisor

Nota: Elaboración propia con información tomada del medidor

El conjunto de partes del patrón masico de referencia está instalado de manera fija en una estructura interna de una maleta rígida para su transporte, como lo muestra la siguiente figura:

Figura 13

Instalación del patrón masico de referencia



Nota: Elaboración propia

3.3.1. Características pico o receptáculo de carga

Este receptáculo marca WEH de carga es el usado para llenado con gas natural de vehículos u otras aplicaciones industriales, compatible con boquillas de llenado WEH TK4. En este caso, permite la conexión de entrada de gas al patrón masico de referencia.

Figura 14

Receptáculo de carga



Nota: Página oficial de WEH.

3.3.2. Válvula de llenado o boquilla de llenado

Válvula de llenado para vehículos con receptáculo de perfil NGV1 con sistema de mordazas para su acople. La válvula usada es de la marca WEH referencia TK4.

Figura 15

Válvula de llenado



Nota: Página oficial de WEH.

3.3.3. Válvula tres vías

Esta válvula cuenta con tres posiciones que permiten el paso de gas de la manguera del surtidor al vehículo. Además, favorecen el venteo de gas que se encuentra entre el receptáculo de carga y la boquilla de llenado, o bloquear el paso de gas de la manguera hacia el vehículo. La válvula usada para la medición es de la marca Swagelok de la referencia SS-83XKS4:

Figura 16

Válvula Swagelok SS-83XKS4



Nota: Página oficial de WEH.

La válvula tres vías de la manguera del surtidor debe poseer un acople compatible para conectar el venteo del gas con la entrada de gas del patrón masico de referencia usado, además de mangueras y acoples adicionales para garantizar la operación segura bajo las condiciones de presión en una estación de servicio GNV.

3.3.4. Manguera de alta presión

La manguera seleccionada para la medición en campo fue una manguera de la marca Parker Parflex de 3/8" de diámetro interior, diseñada para una presión de 5000 psi, con sus respectivos accesorios para ser acoplada.

Figura 17

Manguera Parker Parflex



Nota: Elaboración propia

3.4. Desarrollo de la medición y toma de datos

A continuación, se realizará una descripción de los aspectos más relevantes durante el procedimiento de medición del venteo:

3.4.1. Especificaciones de seguridad

El riesgo latente que se genera cuando se manipulan gases combustibles almacenados a alta presión es alto, por lo que es necesario establecer y cumplir las medidas de seguridad mínimas para garantizar la integridad y seguridad del personal que realiza las mediciones y de los elementos

con los cuales se trabajará. Las medidas de seguridad consideradas para la actividad fueron las siguientes:

- *Realizar un análisis de trabajo seguro que involucra a todo el personal presente en dicha actividad*
- *Conocer los requerimientos de seguridad aplicables a una estación de servicio GNV*
- *Usar todos los equipos y elementos de protección personal*
- *Conocer los planes de contingencia en caso de cualquier incidente*
- *Ubicar los sistemas de emergencia, tales como paradas de emergencia y extintores*
- *Realizar una verificación previa de los elementos, accesorios e instrumentos a usar con el fin de garantizar condiciones óptimas de operación.*
- *Interrumpir y/o cancelar las actividades en caso de que la seguridad para el personal se vea afectada*

3.4.2. Alistamiento de la actividad

Preliminar a la ejecución de la medición, se verifican y ejecutan ciertas actividades que conciernen a la preparación del área de trabajo tales como:

- *Informar y solicitar el permiso de la estación de servicio para hacer las pruebas.*
- *Ubicar y verificar los puntos de alimentación eléctrica para el uso de los equipos*
- *Contar con el análisis de cromatografía del gas que se comercializa en la zona, con el fin de disponer valores como la densidad y la fracción másica del metano en el gas*
- *Contar con la calibración y verificación del patrón masico a usar*

3.4.3. Procedimiento para la medición

Para efectuar la medición del venteo, se describen los siguientes pasos:

- *Verificar que el patrón masico de referencia se encuentre en cero y listo para medir*
- *Conectar la manguera del surtidor al receptáculo del vehículo, para esto la medición se realizó con los clientes que llegaban a la estación de servicio GNV.*
- *Realizar la conexión de accesorios para acoplar la válvula tres vías del surtidor, de tal manera que el venteo de gas que sale a la atmosfera en condiciones normales de operación sea transportado hacia el patrón masico de referencia.*
- *Abrir la válvula tres vías de la manguera del surtidor, para permitir que el vehículo del cliente sea llenado con gas*
- *Al finalizar el tanqueo, cerrar la válvula, permitiendo que el gas que se encuentra entre la válvula de llenado del surtidor y el receptáculo del vehículo sea conducido hacia el patrón masico de referencia por medio de la manguera instalada.*
- *Determinar y registrar la masa de gas contabilizada por el medidor.*
- *Registrar datos en la hoja de trabajo.*

4. Resultados

A continuación, se presenta el formato de la hoja de trabajo que se elaboró para el registro de los datos. En esta hoja de trabajo se encuentra información acerca de la estación de servicio, información técnica de los surtidores y el patrón masico, información de la cromatografía y finalmente los datos arrojados por el patrón masico. Además, se presentan los resultados obtenidos en las pruebas de medición de los venteos, la información obtenida se compone por el valor de masa totalizada por el patrón masico de referencia:

Tabla 6

Hoja de trabajo

Nombre de la estación de servicio	Altamar		
Ciudad	Bogotá DC		
Dirección	Carrera 89 A # 99-10		
Marca/Modelo del surtidor	Aspro/AS-120-D		
Marca/ Modelo de válvula tres vías de surtidor	Swagelok/ SS-83XKS4		
Densidad del gas	0,8287 kg/m ³		
Composición molar de metano en el gas	0,826		
HOJA DE TRABAJO			
FECHA	18/09/2020	ESTACION DE SERVICIO	ALTAMAR
DATOS TECNICOS SURTIDOR			
MARCA	Y		
REFERENCIA SURTIDOR		ASPRO AS 120 D	
MARCA	Y		
REFERENCIA VALVULA TRES VIAS		SWAGELOCK SS83XKS4	
MARCA VALVULA DE LLENADO		VALVULA WEH ACOPLE RAPIDO NGV1	

SERIALES SURTIDORES	4091	4089
--------------------------------	------	------

DATOS PATRÓN MASICO	
----------------------------	--

MARCA MASICO	SENSOR	SENSOR MASICO TIPO CORIOLIS MICROMOTION CNG 050
SERIAL		5395
FECHA CALIBRACIÓN	ULTIMA	08/06/2020

DATOS TECNICOS DEL GAS DE LA ZONA	
--	--

FECHA CROMATOGRFÍA	DE	18/09/2020
DENSIDAD kg/m3	REAL	0,8297
PORCENTAJE MOLAR METANO DE CH4 EN GAS		67,57%

INFORMACION DE LA ESTACION DE SERVICIO	
---	--

NOMBRE	ALTAMAR
CIUDAD	BOGOTÁ
DIR.	CR 89A # 99-10

TOMA DE DATOS					
----------------------	--	--	--	--	--

NUMERO DE PRUEBA	1	2	3	4	5
LECTURA INICIAL (kg)	0	0	0	0	0
LECTURA FINAL (kg)	0,00204358	0,00199417	0,00204121	0,00185078	0,00225459

TOMA DE DATOS					
----------------------	--	--	--	--	--

6	7	8	9	10	PROMEDIO (kg)
0	0	0	0	0	0
0,00206792	0,0021386	0,00217604	0,00214197	0,00204373	0,00207526

De las pruebas realizadas en campo, se obtiene que por cada tanqueo de vehículos a gas natural se ventea a la atmosfera 0,002kg de gas natural. Por lo tanto, al aplicar la fórmula de Nivel 2 relacionada en este documento tenemos que la cantidad de CO₂eq emitida a la atmosfera es igual a:

$$E = \frac{GWP_{CH_4}}{1000} \times y_{CH_4} \times EF_i \times T_i$$

En la tabla 7 se muestran las equivalencias de la ecuación:

Tabla 7

Equivalencias de la ecuación para medir el venteo de gas

E	Emisiones tCO ₂ eq
GWP_{CH_4}	21 tCO ₂ eq/tCH ₄
y_{CH_4}	0,67
EF_i	0,002kg
T_i	150.702 tanqueos para el año 2019 en la GNV Altamar
i	Válvula tres vías de surtidor

$$E = \frac{21tCO_2eq/tCH_4}{1000} \times 0,67 \times 0,002 \text{ kgCH}_4/\text{ciclo} \times 150.702 \text{ ciclos}$$

$$E = 4,24tCO_2eq$$

Es decir, que para el año 2019 en la GNV Altamar se emitieron 4,24 tCO₂ eq a la atmosfera, producto de los tanqueos vehiculares realizados en esta estación de servicio. Ahora bien, si se tiene en cuenta la red de estaciones de servicio GNV del grupo Vanti, la cual está conformada por 83

estaciones en la ciudad de Bogotá, y la cantidad de tanqueos realizados en el año 2019, se tiene lo siguiente:

$$E = \frac{21tCO_2eq/tCH_4}{1000} \times 0,67 \times 0,002 \text{ kgCH}_4/\text{ciclo} \times 10.176.701\text{ciclos}$$

$$E = 286,37tCO_2eq$$

5. Discusión

Debido a la preocupación generada por los cambios climáticos y el calentamiento global a causa de la influencia humana y emisiones antropogénicas, se han aunado esfuerzos a nivel mundial para proponer y definir políticas, protocolos y cumbres, con el propósito de mitigar el impacto del cambio climático en los sistemas humanos y naturales.

Para tal fin, fue creado el Protocolo de Kyoto, que inició su actividad el 16 de febrero de 2005, haciendo que las 192 partes integrantes estén realmente comprometidas en reducir la emisión de los GEI mediante tres mecanismos: (i) comercio de emisiones, (ii) implementación conjunta, (iii) mecanismos de desarrollo limpio. En particular, este último mecanismo ha sido aplicado en Colombia.

El mecanismo de desarrollo limpio consiste en ofrecer a los países en vía de desarrollo, la opción de cumplir con esta responsabilidad para que logren tener un desarrollo sustentable, dado que el coste al reducir 1 ton de CO₂ es menor en un país en vía de desarrollo, aun cuando su efecto ambiental es el mismo en cualquier parte del mundo. Esto permite a los países industrializados invertir en los países en desarrollo, mediante la adquisición de certificados de reducción de emisiones (CRE).

Para comprender esta relación comercial, un bono de carbono o un certificado CRE es equivalente a 1 ton de CO₂ que ha sido expulsada de la atmósfera, que ha dejado de emitirse o ha sido almacenada en el suelo o el agua, controlando cualquier efecto de fuga o desplazamiento de estas emisiones a otro sitio. Estos bonos de carbono deben ser certificados por un auditor acreditado, según estándares y metodologías aprobadas.

Un proyecto implementado de mecanismo de desarrollo limpio debe cumplir con los siguientes requisitos. En primer lugar, que las emisiones de GEI en el proyecto sean inferiores a las emisiones que habría en ausencia del proyecto. En segundo lugar, que el proyecto no resulte económicamente viable en ausencia de los certificados de reducción de emisiones, ni se deba hacer por cumplir los requisitos de legislación.

Actualmente, el mercado de CO₂ en Colombia vislumbra un horizonte optimista, ya que está en la capacidad de reducir 22.9 millones de toneladas de CO₂ anual, lo que representaría USD 435 millones. Para las estimaciones de los precios de los rangos en los escenarios bajo, medio y alto, los valores oscilan entre USD 7 y 34 por 1 ton de CO₂ equivalente, debido a que este mercado se encuentra sujeto variables como la ratificación de EE.UU. y Rusia por el alto porcentaje de su demanda y la reglamentación del cumplimiento de las cuotas, por no ser de obligatorio cumplimiento (Monroy y Aguirre, 2003).

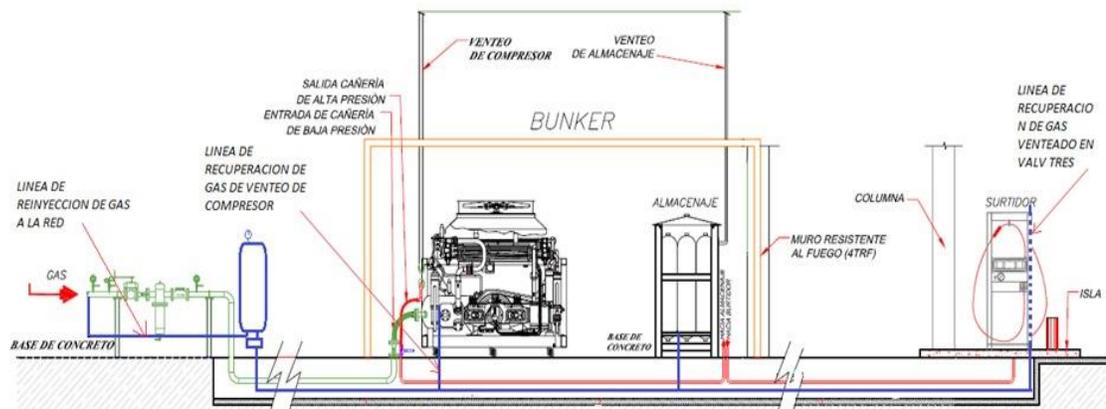
Los sectores con mayor potencial de realizar proyecto de mecanismo de desarrollo limpio son el sector energético, forestal, transporte e industrial. Dentro del sector productivo son varias las industrias que podrían adoptar los proyectos de mecanismo de desarrollo limpio, básicamente las que manejen altos volúmenes de combustibles fósiles diferentes al gas natural y tecnologías muy antiguas con eficiencias muy bajas en las que un mejoramiento o actualización tecnológica implique un volumen significativo en reducciones de GEI.

Al interés de esta investigación y con los resultados obtenidos, se propone la alternativa de mitigar este venteo, mediante un sistema de recirculado en el cual se capture el gas ventado, se almacene y se logre reinyectar al proceso de compresión de la GNV; se tendría la oportunidad de generar mejores principios y posibilidades para promover mecanismos de desarrollo limpio que beneficien a las comunidades, al medio ambiente y a la industria.

Una alternativa adicional es la mitigación de emisión del gas metano a la atmosfera mediante la captura de los venteos y su posterior quema en tea, de esta manera el impacto ambiental es menor en comparación a la liberación directa del metano. A continuación, se presenta un esquema general en donde la línea azul representa las líneas que capturaría el venteo de gas al finalizar un tanqueo y el venteo de gas que se le realiza al compresor en los drenajes de rutina.

Figura 18.

Esquema de Recuperación de Venteos



Nota: Adaptado de Manual de Usuario de Compresor Aspro modelo IODM 115 3 12

6. Conclusiones

Los resultados permiten observar que en cada tanqueo de vehículos con GNV, se emiten a la atmosfera aproximadamente 2 gramos de gas natural, es decir que para el año 2019 en la red de estacion de servicio GNV de la empresa Vanti SA ESP en Bogotá, se emitieron 286 tCO₂ equivalentes a la atmosfera, producto de los tanqueos vehiculares realizados en esta estación de servicio. Esta cifra impacta de manera representativa los aportes de emisiones del grupo de energía, ya que si se tiene en cuenta la cantidad de estaciones de GNV en todo el país y los datos de ventas se obtendrían datos significativos de tCO₂ equivalentes, por lo tanto, el impacto ambiental del venteo del gas luego de los tanqueos vehiculares es alto, teniendo en cuenta la cantidad de gas que es liberado hacia la atmósfera y su equivalente en dióxido de carbono. Es clave reconocer que la reducción de la emisión de gases depende de varios factores, dentro de los cuales se destacan: las medidas de protección del medio ambiente, el nivel de consumo, las estrategias que se implementen en cada país para reducir la dependencia del petróleo, el desarrollo de nuevas tecnologías para mejorar los procesos de extracción y distribución, el precio de otras fuentes de energía, la liberalización de los mercados eléctricos y los precios de los bonos de carbono.

Por tanto, es preciso establecer metodologías de predicción y análisis de venteo mucho más concretas, incluyendo nuevas variables, operaciones y procesos asociados al funcionamiento de una estación de servicio GNV, que permitan establecer una visión más profunda y acertada sobre los elementos que pueden generar como resultado afectaciones en el medio ambiente, ya que para el alcance de esta investigación se tuvo se cuantificó el venteo final de un tanqueo, no obstante, los procesos de rutinas, mantenimientos y la propia operación de los equipos aguas arribas del tanqueo proceso de llenado de un vehículo también generan emisiones de impacto ambiental.

Los recientes debates que se han generado con relación a la ecología política han motivado el desarrollo de reflexiones y estudios sobre los métodos, conceptos y prácticas que se han seguido en el mundo para contrarrestar los efectos del cambio climático. Las nuevas teorías que se han diseñado en torno a la gobernanza ambiental han llevado a que sea considerada como un tema central, el cual debe ser estudiado a partir no sólo de los debates locales y nacionales, sino desde un panorama internacional, a través del cual se diseñen políticas y estrategias de apoyo a las comunidades en materia ambiental.

Por otro lado, dichas teorías comparten un discurso común desde el cual se trata de analizar la interacción entre el hombre y el medio ambiente, pues señalan la importancia de estudiar y medir el impacto de las actividades humanas sobre la naturaleza. La gobernanza es un proceso a través del cual las sociedades comparten poder, fuerzas individuales y acciones colectivas. Dentro de la gobernanza se incluyen leyes, regulaciones, transformaciones, consultas públicas y otro tipo de procesos en donde se efectúa la toma de decisiones.

Por lo tanto, la protección al medio ambiente no se puede entender ni abordar como una función que se desempeña únicamente a partir del poder Estado, ya que involucra la interacción de diferentes actores, incluyendo en este caso a las empresas que componen el sector de la construcción y a la población en general.

Por lo anterior, en cualquiera de las alternativas propuestas se reduciría la cantidad de tCO₂ equivalente, lo que abriría la oportunidad para quienes implementen este tipo de mitigación la opción de generar y cotizar bonos de carbono, además de la oportunidad de contribuir objetivo y llamado universal de proteger el planeta.

7. Recomendaciones

Se resalta que los gases emitidos en operaciones de venteo se generan en gran medida debido a limitaciones, ineficiencias o mala instalación de los equipos. Por esta razón, es clave mejorar los procesos de mantenimiento, a través de evaluaciones que permitan mejorar la eficiencia en lo que tiene que ver con reducción de fugas y de venteos. Además, es importante que en las GNV se establezcan de manera continua mecanismos de medición de los volúmenes de gas asociado, con el fin de determinar la eficiencia de los procedimientos, y analizar con detalle el estado de los equipos.

En cuanto al tema ambiental y las emisiones de CO₂, es preciso tener en cuenta que en la actualidad se ha establecido un proceso de financiación del medio ambiente, debido al creciente avance de la esfera financiera en la economía real, y a la extensión del análisis economista en torno a las diferentes esferas que hacen parte de la vida humana y que condicionan las posibilidades para el desarrollo sostenible de las comunidades. De esta manera, el medio ambiente se ha convertido también en un mercado que debe ser controlado en términos financieros y económicos, con el fin de mejorar su productividad, evitar la progresiva disminución de las posibilidades de supervivencia de la biodiversidad, y reducir de manera efectiva, mediante políticas y principios racionales de economía, las consecuencias derivadas del cambio climático.

En medio de este proceso de financiación a medidas que mejoren las condiciones medio ambientales, una estrategia que se ha establecido en los últimos años es la venta y compra de bonos de carbono, con el objetivo de reducir la emisión de gases efecto invernadero (GEI). En particular, cada bono de carbono equivale a una tonelada no emitida o capturada de dióxido de carbono. El proceso que se establece para desarrollar los bonos de carbono implica la medición y certificación,

bajo estándares internacionales, de las capacidades de captura de carbono de un ecosistema, con el fin de que dicha capacidad se haga equivalente a bonos que pueden ser vendidos.

Por tanto, la comercialización de estos bonos tiene la función primordial de financiar diferentes tipos de proyectos ambientales, lo cual no solo es clave para promover la preservación de los ecosistemas, sino también para generar un impacto importante en la economía, derivado de un mayor compromiso empresarial y de una mejor gestión ambiental que se traduce en más bonos para vender.

La comercialización de bonos de carbono se establece entonces como un mecanismo financiero importante para reducir los efectos de CO₂ a la atmósfera, y promover el desarrollo de actividades productivas conscientes de los efectos adversos generados al medio ambiente. Por otro lado, los promotores de proyectos ambientales podrían acceder a una fuente rápida de recursos financieros, que les permitiría establecer iniciativas concretas que ayuden a proteger los entornos naturales, generándose de esta manera nuevos bonos de carbono.

Sin embargo, en Colombia el proceso económico y político que promueva la venta y comercialización de bonos de carbono aún se encuentra en una etapa prematura, pues apenas en el 2016 se crearon impuestos al carbono, se puso en funcionamiento el Mercado Voluntario de Bonos de Carbono, y se le asignó a la Bolsa mercantil de Colombia la administración del mercado regulado de créditos de carbono. El éxito de estas iniciativas depende de diversos factores de tipo macroeconómicos, dentro de los cuales se destacan los impulsos gubernamentales para promover en las empresas principios asociados a la Responsabilidad Social y Ambiental y la reducción de la huella ecológica, además de la posibilidad de generar los mecanismos adecuados de precio y de mercado para favorecer la expansión de los bonos de carbono.

En este sentido, la comercialización efectiva de bonos de carbono se encuentra asociada a unas variables de mercado, financieras, tributarias y económicas que es preciso tener en cuenta. Además, el éxito de la venta de bonos de carbono en Colombia también depende de los beneficios tributarios que se generen para las empresas que protejan al medio ambiente, y de un conjunto de condiciones asociadas a la definición de los precios de los bonos según el tipo de proyectos, además de una normativa clara que defina todo lo relacionado con el proceso de venta y comercialización.

Por tanto, de acuerdo con los hallazgos de la presente investigación, se recomienda mejorar y fortalecer el desarrollo de la comercialización efectiva de bonos de carbono, como una estrategia central que puede ayudar a reducir los impactos negativos al medio ambiente causados por la emisión de gases contaminantes, además de establecerse como una estrategia que puede favorecer positivamente el desarrollo económico e industrial.

De igual manera, para la mitigación de los venteos al finalizar el tanqueo, como de los venteos operacionales y de rutina que están inmersos en el funcionamiento de una estación de servicio GNV, y teniendo en cuenta que los resultados obtenidos fueron solamente 83 estaciones de servicio de GNV en la ciudad de Bogotá se recomienda realizar el cálculo con datos de estaciones y ventas en todo el país, para así tener una data asertiva y evaluar la viabilidad del sistema de recirculado de gas en donde se pueda reducir al mínimo las emisiones de CH₄, para así contribuir al mejoramiento de la calidad del aire de las ciudades y posicionar aún más el gas natural como una fuente de energía limpia y sostenible.

Referencias Bibliográficas

- Acevedo, O., y Jaramillo, E. (2012). Evaluación y determinación del factor de emisiones de gases de efecto invernadero (ch₄ y co₂) en la red de transporte de gas natural de Colombia, aplicando metodología IPCC. [En línea] Disponible en:
<http://bibliotecavirtual.uis.edu.co:2070/login.aspx?direct=true&db=cat00066a&AN=BUI S.1-163265&lang=es&site=eds-live>
- API. (2021). *American Petroleum Institute*. Obtenido de American Petroleum Institute:
<https://www.api.org/products-and-services/es/standards>
- Baethgen, W., y Martino, D. (2000). Cambio climático, gases de efecto invernadero e implicancias en los sectores agropecuario y forestal del Uruguay. Resúmenes del Taller sobre el Protocolo de Kyoto. Ministerio de Vivienda, ordenamiento territorial y Medio Ambiente. Dirección Nacional de Medio Ambiente. Uruguay.
- Benavides Ballesteros, H. O., & León Aristizábal, G. E. (2007). *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático*. Bogotá: Ideam.
- Bullón Vilchis, O. (2009). *Automatización Industrial*. México DF: Instituto Politécnico Nacional.
- Cáceres, R. (2011). Evaluación de la factibilidad del uso del gas natural vehicular como una alternativa energética para disminuir la contaminación ambiental por emisiones peligrosas. Puerto de la Cruz, Venezuela: Doctoral dissertation, Universidad de Oriente.
- CREG. (s.f.). Obtenido de Historia en Colombia: <https://www.creg.gov.co/sectores-que-regulamos/gas-natural/historia-en-colombia>
- Delta, C. (2006). *Aspro Dispenser Manual del Usuario*. Buenos Aires: Delta Compresion.

- Fernández, J. (2013). El cambio climático: sus causas y efectos medioambientales. *Anales de la real academia de medicina y cirugía de Valladolid*(50), 71-98.
- Francis, S., & Morse, I. (1989). *Measurement and instrumentation in engineering: principles and basic laboratory experiments*. CRC Press.
- García, M., Piñeros Botero, A., Bernal Quiroga, F., & Ardila Robles, E. (2012). Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia Uniandes. *Revista de Ingeniería*, 60-64. doi:<https://doi.org/10.16924/revinge.36.11>
- GPSA. (2004). *Engineering Data Book*. Tulsa, Oklahoma: GPSA.
- Guzmán, A., y Barajas, M. (2011). Análisis de los sistemas, métodos y equipos para medición y fiscalización de gas. [en línea] disponible en: <http://bibliotecavirtual.uis.edu.co:2070/login.aspx?direct=true&db=cat00066a&AN=BUIS.1-157408&lang=es&site=eds-live>
- IDEAM. (2016). *Inventario Nacional y Departamental de Gases de Efecto Invernadero Colombia*. Bogotá. Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023634/INGEI.pdf>
- IPCC. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*.
- Ministerio de Minas y Energía De Colombia. (2017) *Resolución Numero 40278 de 2017*. [En línea] Disponible en: <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23517/37446-Resoluci%C3%B3n-40278-04Abr2017.pdf>
- Monroy, N., & Aguirre, A. (2003). El protocolo de Kyoto: una oportunidad para la industria colombiana. *Revista de Ingeniería Universidad de los Andes*, 108-116. Obtenido de El protocolo de Kyoto: una oportunidad para la industria colombiana.

Mosquera, R., Duarte Roa, W. E., Perez, J. C., y Camargo, F. (2002). Análisis comparativo de los diferentes sistemas de medición de gas natural. [En línea] Disponible en:

<http://bibliotecavirtual.uis.edu.co:2070/login.aspx?direct=true&db=cat00066a&AN=BUI S.1-117713&lang=es&site=eds-live>

ONU. (s.f.). Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>

ONU. (s.f.). *Organización de las Naciones Unidas*. Obtenido de Objetivos de Desarrollo Sostenible: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>

Promigas. (2015). *Promigas*. Obtenido de Procedimientos de medición:

<http://www.promigas.com/Es/BEO/Paginas/ProcedimientosOperacionales/Procedimientos-de-Medicion.aspx>

SIAC. (s.f.). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia*. Obtenido de Sistema de Información Ambiental de Colombia: <http://www.siac.gov.co/climaticogei>

Tyndall, J. (12 de 11 de 1861). On the absorption and radiation of heat by gases and vapours and on the physical connexion of radiation, absorption, and conduction. The bakerian lecture. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 206-211. Obtenido de National Geographic España:

https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/eunice-foote-primera-cientifica-y-sufragista-que-teorizo-sobre-cambio-climatico_14883

Vanti. (s.f.). Obtenido de Composición típica del gas natural:

<https://www.grupovanti.com/conocenos/el-gas-natural/que-es/>

Vanti. (s.f.). *Vanti*. Obtenido de ¿Qué es una instalación de GNV?:

<https://www.grupovanti.com/gas-natural-vehicular-gnv/instala-gas-natural-vehicular/que-es-una-instalacion-de-gnv/>

Vidal, E. (s,f). Ànalisi d'un sortidor de GNV. Universitat Politècnica de Catalunya. [En línea]

Disponible en:

<http://bibliotecavirtual.uis.edu.co:2070/login.aspx?direct=true&db=edsrec&AN=edsrec.2072.285142&lang=es&site=eds-liv>

WIKA. (2017). *WIKA*. Obtenido de https://www.wika.co/flc_vt_bar_flc_vt_ws_es_es.WIKA