

**EVALUACIÓN DE LOS COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE
UN LABORATORIO MOVIL DE METROLOGÍA Y CALIDAD DEL GAS
NATURAL**

TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL TGI S.A. E.S.P

**YAMILE GUERRERO SANDOVAL
ROSANA CRISTINA MARTÍNEZ RIVAS
CAROLINA PALOMINO TAPIAS**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE RECURSOS ENERGÉTICOS
BUCARAMANGA
2013**

**EVALUACIÓN DE LOS COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE
UN LABORATORIO MOVIL DE METROLOGÍA Y CALIDAD DEL GAS
NATURAL**

TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL TGI S.A. E.S.P

**YAMILE GUERRERO SANDOVAL
ROSANA CRISTINA MARTÍNEZ RIVAS
CAROLINA PALOMINO TAPIAS**

**Monografía para optar el título de Especialista en Gerencia de Recursos
Energéticos**

Evaluador: Luis Eduardo Jaimes Reatiga

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE RECURSOS ENERGÉTICOS
BUCARAMANGA
2013**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

BUCARAMANGA, OCTUBRE DE 2013

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la oportunidad de haber logrado esta meta tan importante de mi formación profesional.

A mi madre y a mi padre, a quienes debo lo que soy, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su amor y apoyo incondicional.

A mis hermanos, Rubén y Maria Laura, por estar siempre presentes, acompañándome para poderme realizar.

A mi abuela Alida (mi abuela mamá), y a mi abuela Mercedes.

A mis compañeras, Yamile y Carolina, porque sin el equipo que formamos, no hubiéramos logrado esta meta.

Rosana Cristina Martínez Rivas

Este logro lo dedico a Dios, quién es mi guía y me acompaña constantemente en mi andar, a mis padres Orlando y Olga, quienes siempre han depositado todo el amor y confianza en mí y mis proyectos, a mi esposo Nelson, quien es mi compañero de vida y cada segundo me brinda su apoyo incondicional en el paso a paso que requiere el logro de los sueños propuestos, a mi bebe que está en mi vientre y se ha convertido en mi luz y mi impulso para lograr cada meta que me propongo y me lleva a soñar sin parar, y por supuesto a mis compañeras de especialización Yamile y Rosana; con quienes conformamos un equipo de trabajo integral, sólido, compenetrado y comprometido, logrando así disfrutar cada enseñanza brindada y dar siempre lo mejor de cada una.

Carolina Palomino Tapias

Esta nueva meta va dedica a Dios, quien siempre me ha demostrado su inmenso amor, llenándome cada día de Bendiciones. A mi madre, que con su infinito amor, ejemplo y dedicación siempre me ha apoyado; a mi padre, por su amor y apoyo; a mi hermano Fredy (mi segundo papá) que siempre me ha cuidado y me ha protegido; a mis hijas Maria Daniela y Laura Marcela, quienes son el regalo más hermoso y son el motor de mi vida.

A mis compañeras de Especialización Carolina y Rosana, con quienes formamos un grupo compenetrado, armonioso y disciplinado.

Yamile Guerrero Sandoval

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar doy infinitamente gracias a Dios, por haberme dado fuerza y valor para culminar esta etapa de mi vida.

Agradezco también la confianza y el apoyo brindado por parte de mi madre y mi padre, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me han demostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

A mis hermanos, Rubén y María Laura, quienes con su ayuda, cariño y comprensión han sido parte fundamental de mi vida.

A María Eugenia Castillo, que siempre estuvo atenta y dispuesta a ayudarnos para lograr esta meta.

Y a mis dos amigas y compañeras, Yamile y Carolina sin ustedes no existiría hoy esta monografía y esta amistad que tenemos, con cada una con sus valiosas aportaciones hicieron posible este proyecto.

Rosana Cristina Martínez Rivas

Gracias infinitas a Dios quien me colma de sabiduría y constancia en lo que me propongo, a mis padres y hermanos quienes disfrutaban mis alegrías y logros como suyos, a mi esposo quien con su amor y dedicación me acompaña en cada paso que emprendo y me impulsa a no desfallecer, a mi hija que viene en camino y es mi inspiración, a María Eugenia por su respaldo, apoyo y disposición para ayudarnos y animarnos a culminar satisfactoriamente este proyecto de vida profesional y a Yami y Ross, quienes además de ser mi equipo de trabajo se convirtieron en mis amigas, compartiendo logros, metas, alegrías, tristezas, preocupaciones y sueños tanto de vida profesional como personal.

Carolina Palomino Tapias

A Dios, quien siempre ha estado presente en mi vida; a mi padre y a mi madre, por ese amor y respaldo que siempre me han brindado; a mi hermano Fredy, quien siempre ha estado pendiente de mí, a mis hijas María Daniela y Laura Marcela quienes con su amor me fortalecen cada día; a José Medardo y María Antonia, quienes siempre me han demostrado su cariño y respaldo; a mis amigas Carolina y Rosana, por su amistad, apoyo y dedicación, para sacar adelante este Proyecto.

Yamile Guerrero Sandoval

CONTENIDO

	Pág.
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	2
2 MARCO DE REFERENCIA	5
2.1 Marco teórico	5
2.1.1 El Gas Natural.....	8
2.1.2 Medición de Gas en Transferencia de Custodia	10
2.1.3 Evaluación de la Calidad del Gas Natural.....	13
2.1.4 Cromatógrafos en Línea	13
2.2 Configuración y ordenamiento del laboratorio	14
2.2.1 El Vehículo.....	14
2.2.2 Denominación del Laboratorio Móvil de Metrología	16
2.2.3 Requerimientos tecnológicos para el montaje del laboratorio	17
2.2.4 Acondicionamiento del laboratorio móvil	20
2.2.5 Distribución de Plantas y Módulos Operativos.....	22
2.2.6 Facilidades (energía, aire acondicionado, aire comprimido, etc.) y resultados.....	23
2.2.7 Desempeño y estabilidad metrológica	24
2.2.8 Pruebas de Desempeño metrológico para el Modulo de Volumen de Gas.....	25
2.2.9 Pruebas de Desempeño Metrológico para el Modulo de Calidad de Gas.....	36
3 MARCO CONTEXTUAL	30
4 MARCO LEGAL O REGULATORIO	40
4.1 Objeto Social de TGI.....	40
4.2 Estructura y Reglamentación de la Distribución de Gas Domiciliario en Colombia.....	40
4.3 Medición de cantidades de energía y calidad del gas en estaciones de transferencia de custodia entre transportadores.....	45
5 ESTUDIO FINANCIERO	45

5.1	Evaluación Financiera con Proyecto	45
5.2	Evaluación Financiera sin Proyecto	59
6	CONCLUSIONES	64
7	BIBLIOGRAFÍA	66
8	GLOSARIO	66

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Costos promedio que permiten garantizar transferencia de custodia de gas (sin Laboratorio móvil)	3
Tabla 2. Medidores de Volumen de Gas Objetivo	18
Tabla 3. Mensurandos de Interés y límites de especificación en el Modulo de Calidad de Gas.....	18
Tabla 4. Magnitudes de Interés y límites de especificación en el Módulo de Magnitudes Asociadas	19
Tabla 5. Equipos integrados como facilidades en el VALM.....	24
Tabla 6. Estrategia para monitoreo de desempeño metrológico	25
Tabla 7. Condiciones de prueba para el patrón de volumen de gas Año: 2013	26
Tabla 8. Condiciones de prueba para el Microcromatógrafo	27
Tabla 9. Repetibilidad [%RSD] en las áreas de respuesta del Microcromatógrafo.	29
Tabla 10. Reproducibilidad [%RSD] en las áreas de respuesta del Microcromatógrafo	29
Tabla 11. Proyección de los ingresos.....	46
Tabla 12. Ventas estimadas	48
Tabla 13. Personal previsto para operatividad del Laboratorio Móvil	49
Tabla 14. Costos estimados	51
Tabla 15. Gastos operativos estimados	52
Tabla 16. Inversión fija del proyecto	53
Tabla 17. Inversión pre operativa del proyecto.....	53
Tabla 18. Inversión capital de trabajo proyecto	54
Tabla 19. Inversión Total	55
Tabla 20. Criterios para la definición del plazo para la evaluación del proyecto (n).....	55
Tabla 21. Tasa de descuento del proyecto.....	56
Tabla 22. Valor de desecho del proyecto (método contable)	56
Tabla 23. Valor de desecho del proyecto (método comercial).....	56
Tabla 24. CAPEX	57
Tabla 25. Resumen de la inversión	58
Tabla 26. Depreciación de maquinaria y equipos.....	58
Tabla 27. Depreciación del vehículo	58
Tabla 28. Depreciación de equipos de computo	59
Tabla 29. Depreciación acumulada y valor en libros	59
Tabla 30. Flujo de caja con proyecto.....	60
Tabla 31. Ventas estimadas sin Proyecto	61
Tabla 32. Costos estimados sin Proyecto	61
Tabla 33. Flujo de caja sin Proyecto	62

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Medidor Tipo Turbina	10
Figura 2. Medidor tipo rotativo	11
Figura 3. Medidor tipo diafragma	12
Figura 4. Vehículo adecuado para el Laboratorio móvil	15
Figura 5. Vista lateral del Vehículo adecuado para el Laboratorio móvil	16
Figura 6. Vista interna del Vehículo adecuado para el Laboratorio móvil	16
Figura 7. Componentes e Intervalo de concentración para análisis de GN	19
Figura 8. Sistemas anti vibratorios implementados en el VALM para la reducción de impactos	21
Figura 9. Impactos registrados durante las pruebas SAT de traslado por carretera	21
Figura 10. Comparativo de la reducción de impactos	22
Figura 11. Esquema de planta del laboratorio móvil.	23
Figura 12. Desviación del error del medidor rotativo de transferencia	26
Figura 13. Mapa de la Red de Gasoductos de TGI S.A ESP	30
Figura 14. Mapa del Gasoducto Ballena Barrancabermeja	31
Figura 15. Mapa del Gasoducto Centro Oriente	32
Figura 16. Mapa del Gasoducto Boyacá - Santander	33
Figura 17. Mapa del Gasoducto Mariquita Cali	34
Figura 18. Mapa del Gasoducto Cusiana Apiay Bogotá	35
Figura 19. Mapa del Gasoducto Cusiana Porvenir La Belleza	36
Figura 20. Cadena de gas en Colombia, proceso de cambio de custodia	41
Figura 21. Esquema en la Evolución de la Reglamentación Nacional del Servicio de Gas	42
Figura 22. Flujo de caja sin proyecto vs Flujo de caja con proyecto	63

LISTADO DE ANEXOS

Anexo 1. Estados Financieros “EVALUACIÓN DE LOS COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UN LABORATORIO MOVIL DE METROLOGÍA Y CALIDAD DEL GAS NATURAL”

EVALUACIÓN DE LOS COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UN LABORATORIO MOVIL DE METROLOGÍA Y CALIDAD DEL GAS NATURAL

INTRODUCCIÓN

La medición de los volúmenes de gas y el análisis de su calidad, son dos factores de extrema importancia dentro de la industria de Gas natural.

Hasta la fecha, estos dos aspectos han sido abordados de forma separada, lo cual ha impedido la unión de ambas disciplinas, las cuales son complementarias y demandan atención prioritaria debido a que es necesaria una medición con incertidumbres apropiadas a los procesos y un control de la calidad del gas que permita cumplir con las especificaciones del producto y las regulaciones nacionales.

En este sentido, la Transportadora de Gas Internacional S.A E.S.P plantea el desarrollo de un laboratorio móvil que integre en una sola facilidad las disciplinas de la metrología física y la metrología analítica, requeridas para atender las necesidades de los usuarios de la industria del Gas Natural en Colombia.

El Laboratorio móvil, constituye una innovación, debido a que no existe a nivel mundial una aplicación móvil con características similares que integre la capacidad de afrontar el aseguramiento de mediciones de las diversas magnitudes asociadas a los procesos de transferencia de custodia del Gas Natural.

A partir del proceso de ejecución en que se encuentra el Proyecto “Diseño, construcción y puesta en operación de un Laboratorio Móvil para ensayos de Calidad y Metrología de Gas Natural, desarrollado entre la Transportadora de Gas Internacional S.A. E.S.P., y la Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas como parte de un proyecto de Cofinanciación aprobado por Colciencias, se hace necesario realizar una evaluación de los Costos asociados a la operación y mantenimiento del mismo, teniendo en cuenta que se espera que entre en operación en el segundo semestre del 2013, de tal forma que permita proyectar el presupuesto y las respectivas estrategias comerciales a la entrada en operación del Laboratorio Móvil.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

La Empresa Transportadora de Gas Internacional S.A. E.S.P. – TGI -, es una Empresa del Sector Hidrocarburos, que tiene como objeto principal, el transporte de Gas Natural, a través de 3.774 kilómetros de Gasoductos (la red de Gasoductos más extensa de Colombia), los cuales se extienden desde La Guajira hasta el Valle del Cauca y desde los Llanos Orientales hasta Huila y Tolima, atravesando así varios departamentos de la región andina [1].

Existen dos aspectos cruciales dentro de la industria del gas natural: la medición de los volúmenes de gas y el análisis de su calidad. Es necesario resaltar que hasta la fecha y en general estos dos aspectos han sido abordados de forma inconexa, lo cual ha impedido la unión de estas dos disciplinas, las cuales son complementarias y su conjunto demanda una atención integral para garantizar una medición trazable (con incertidumbres), de esta manera el mantenimiento de la integridad de las redes de gasoductos y de forma paralela, garantizando la protección al Usuario Final.

A la anterior separación de áreas del conocimiento (componente física y componente analítica), se suma el hecho, que los laboratorios actualmente consolidados en materia de calibración de medidores de gas en Colombia, prestan sus servicios en instalaciones de carácter estacionario, de manera que los medidores deben desmontarse para ser enviados hasta las ciudades donde operan tales laboratorios. Esta situación genera problemas operacionales y logísticos, requiriendo la aplicación de acuerdos de medición para los días o las semanas en que el medidor se encuentre fuera de línea, sin contar los sobrecostos y riesgos que se derivan del transporte de los equipos desmontados. Solo para aquellos sistemas cuyos volúmenes representan un alto impacto en los balances de los gasoductos y por ende en los valores facturados, se justifica el traslado de los grandes medidores hasta laboratorios fijos acondicionados para calibración a altos caudales.

Es así como TGI, dentro del desarrollo de su negocio, y para efectos de brindar una verdadera solución integral a una de las actividades más críticas para las empresas de transporte y distribución de gas natural, la cual es la transferencia de custodia y el aseguramiento de la calidad del gas natural; se encuentra desarrollando un laboratorio móvil que integrará en una sola facilidad las disciplinas de metrología física (volumen, presión, temperatura y magnitudes eléctricas) y aquellas de la metrología analítica (ensayos para determinar la calidad del gas), requeridas para atender de manera confiable e integral, las necesidades de la mayor proporción de usuarios de la red de transporte de la industria del gas natural en Colombia.

TGI S.A. ESP, consciente de su papel como la primera y más grande Transportadora de Gas Natural en Colombia, tiene claro que cada día se incrementa la relevancia de proveer trazabilidad a las mediciones de calidad y cantidad de GN en campo. Es por esto que a través de terceros contrata todas las actividades y procesos relacionados con la Calibración de Medidores, los Análisis Cromatográficos (toma de muestra de gas, Cromatografía y análisis

Contaminante), Calibración de Presión, Calibración de Temperatura y el Mantenimiento de Medidores.

La contratación de la ejecución de las anteriores actividades, genera un desgaste importante del personal de la Compañía encargado del tema de medición, así como de los directivos que tienen que ver con la aprobación de las mismas. Tal como se dijo al inicio, la importancia de proveer trazabilidad a las mediciones, implica mantener estos procesos sin interrupción, los cuales resultan costosos, genera riesgos relacionados con el transporte de equipos, requiere de una adecuada logística y el tiempo requerido para completar el proceso de aseguramiento de las mediciones (calibración, confirmación y corrección) puede ser extenso, generando inconformidad entre los involucrados en el proceso de transferencia de custodia de Gas Natural.

Actualmente TGI S.A. ESP, genera los siguientes costos promedios, los cuales le permiten garantizar una Transferencia de custodia de Gas Natural acorde a la reglamentación:

Tabla 1. Costos promedio que permiten garantizar transferencia de custodia de gas (sin Laboratorio móvil).

Concepto	Valor Unitario	IVA	Total Unitario	Vr Total/Año
Calibración de medidor	2.600.000	416.000	3.016.000	150.800.000
Análisis cromatográfico	4.900.000	784.000	5.684.000	56.840.000
Toma Muestra Gas	3.200.000	512.000	3.712.000	37.120.000
Cromatografía	800.000	128.000	928.000	9.280.000
Análisis Contaminante	900.000	144.000	1.044.000	10.440.000
Calibración de presión	550.000	88.000	638.000	31.900.000
Calibración de Temperatura	650.000	104.000	754.000	37.700.000
Mantenimiento del medidor	1.400.000	224.000	1.624.000	81.200.000
Total Costos Unitarios	10.100.000	1.616.000	11.716.000	358.440.000

Cabe recordar que TGI S.A. ESP tiene a lo largo de la Infraestructura del territorio Colombiano (3.774 kilómetros de Gasoductos) un promedio de 300 Sistemas de medición (250 pequeños y 50 de los grandes), sin contar con los actuales proyectos de expansión de Infraestructura que se vienen desarrollando, los cuales aumentarán los Sistemas de Medición de TGI.

Es así que nace, como una alternativa viable para proveer trazabilidad a las mediciones de Calidad y Cantidad de Gas Natural en Campo, un proyecto planteado y ejecutado por parte de la Transportadora de Gas Internacional y el Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas, con el apoyo de Colciencias, mediante el desarrollo de un Laboratorio Móvil, que integra las facilidades para operar como laboratorio estacionario de metrología, y con CMC¹ acorde con los requerimientos de los procesos de medición de Gas Natural (GN).

¹ Calibration and Measurement Capabilities

El concepto de laboratorio móvil nació de la necesidad de continuar fortaleciendo y mejorando la transparencia y equidad en las operaciones de Transferencia de Custodia de GN², mediante el aseguramiento metrológico de los pequeños SM del Sistema de Transporte de TGI S.A. ESP, mediante los cuales se cuantifica aproximadamente el 15% del gas transportado, pero que representan el mayor número de SM³ (más de 250). Estos sistemas generalmente corresponden a pequeñas poblaciones e industrias, con alta vulnerabilidad metrológica, ya que debido a los bajos volúmenes involucrados, no se posee una estrategia de aseguramiento metrológico que permita garantizarles el 100% del GN cuantificado, puesto que los mayores esfuerzos se centran en los SM que manejan grandes volúmenes, de acuerdo con el principio de Pareto.

Sin embargo, TGI S.A. ESP en su apuesta por constituirse en una empresa de talla mundial y garantizar la eficiencia y equidad en el servicio de transporte de GN, con generación de un alto valor agregado para sus grupos de interés, independiente de su dimensión económica, no ha limitado sus esfuerzos al cumplimiento de lo estrictamente necesario en términos de aseguramiento de sus mediciones y por esto proyectó el desarrollo de un laboratorio móvil con autonomía y capacidad para ejecutar, de manera integral, todos los procesos para el aseguramiento de la calidad y cantidad del GN transportado y medido en SM clase B y clase C, según las recomendaciones de la OIML R 140⁴ [2].

Para lograr lo anterior, se conformó un equipo interdisciplinario, en el ámbito científico, académico, tecnológico e industrial que desarrolló el diseño conceptual, la ingeniería básica y de detalle del Laboratorio Móvil y su posterior construcción.

El Laboratorio Móvil contará con las facilidades necesarias para realizar muestreos de gas natural y ejecutar análisis en sitio, para lo cual estará dotado de equipos de alta tecnología tales como: cromatógrafo electrónico de gases con capacidad para análisis extendido de hidrocarburos, determinación de dióxido de carbono, nitrógeno y H₂S, entre otros.

De otra parte se dispondrá de una facilidad para calibración en sitio de medidores de gas a presión atmosférica con un alcance estimado de 2 m³/h a 650 m³/h, con el cual se podrá atender más del 80% de los medidores tipo turbina, rotativo y diafragma, que operan en los sistemas de transferencia de gas natural de TGI S.A. ESP y en general en Colombia.

Actualmente TGI S.A. ESP tiene doscientos cincuenta (250) medidores a lo largo de los 3.774 kilómetros de gasoductos de los cuales doscientos (200) corresponden a los medidores que se espera operar y mantener en sitio. El mantenimiento de estos calibradores si bien representan un costo importante dentro de la operación y mantenimiento de su infraestructura, lo es aún y en

² Gas Natural

³ Sistemas de Medición

⁴ International Organization of Legal Metrology Recommendations, los cuales son modelos de reglamentos que establecen las características metrológicas requeridas de ciertos instrumentos de medición y que especifiquen los métodos y los aparatos para comprobar su conformidad

mayor importancia, el tiempo que demanda el mantenimiento de los mismos. Este proceso, implica un promedio de quince días, entre el desmonte, el embalaje, su transporte y el envío al respectivo laboratorio que efectuará el mantenimiento.

Este tiempo es fundamental para TGI, por cuanto el laboratorio móvil, permitirá efectuar este mantenimiento en un máximo de dos días, representando así para TGI, una verdadera solución, frente a la transferencia de custodia y el aseguramiento de la calidad del gas natural.

Considerando que el Laboratorio Móvil, se constituye en una total innovación por cuanto no existe a nivel mundial una aplicación móvil de características similares, TGI S.A. ESP, requiere la evaluación de los costos asociados a la operación y mantenimiento del Laboratorio Móvil de Metrología y Calidad de Gas Natural, con base en la información disponible y las proyecciones existentes; de igual forma servirá para proyectar el presupuesto y las respectivas estrategias comerciales a la entrada en operación del mismo.

2 MARCO DE REFERENCIA

2.1 Marco teórico

La Transportadora de Gas Internacional - TGI S.A. ESP, se constituyó como sociedad anónima y empresa prestadora de servicio público el 19 de febrero de 2007. La empresa está sujeta a la regulación, vigilancia y control de las autoridades competentes como la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), la Contraloría de Bogotá y la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) [3].

TGI S.A. ESP tiene por objeto la planeación, organización, ampliación, construcción, operación, mantenimiento y explotación comercial de los sistemas de transporte de gas natural propios.

En consecuencia, la Empresa atiende el mercado más importante y de mayor crecimiento en Colombia. Por lo demás, dadas las características del negocio cuenta con ingresos estables mediante contratos a largo plazo y tarifas que combinan dólares estadounidenses y pesos colombianos.

La Transportadora de Gas Internacional (TGI) es una empresa colombiana, cuyo mayor accionista es el Grupo Energía de Bogotá y que presta servicio público de transporte de gas, con responsabilidad social, prácticas de clase mundial y un equipo humano innovador, eficiente y de alta calidad. En la actualidad es la mayor transportadora de gas por ductos en Colombia con 3 mil 774 kilómetros de gasoductos, equivalente al 43% del total del gas consumido en Colombia), con capacidad disponible de hasta 420 MPCD⁵[4].

⁵ MPCD: Millones de pies cúbicos por día.

TGI, dentro de la industria del gas (transportador) entiende que las operaciones de medición en los procesos de transferencia de custodia, revisten de una alta importancia, considerando que se encuentran en riesgo importantes sumas de dinero.

No obstante, a lo largo de toda la cadena de la industria del gas, el sector transporte es quien ofrece la más baja incertidumbre (recibos a productores y entregas a remitentes) en la medición de transferencia de custodia, considerando los altos volúmenes que se mueven.

Es importante, tener en cuenta que cuando dos o más partes deben estar de acuerdo con respecto al resultado de una medición que involucra dinero, la actividad metrológica reviste una mayor complejidad. De ahí que una clara definición de las directrices a tener en cuenta para los aspectos metrológicos es fundamental para el buen entendimiento y el normal desarrollo de las actividades de medición, logrando de esta forma que las partes acepten que la medición se realiza de una forma adecuada y confiable.

Es así como para garantizar que las mediciones de volumen y caudal de gas natural sean confiables, es prioritario contar con la infraestructura que soporte y permita asegurar los requisitos que exige el Gobierno.

Considerando lo anterior y teniendo en cuenta las dificultades en el aseguramiento metrológico que actualmente presentan los sistemas de medición de los gasoductos en Colombia, TGI presenta la iniciativa de desarrollar un “*Laboratorio Móvil*” que permita brindar aseguramiento metrológico a estos sistemas, constituyendo así en una gran herramienta que le permitirá que se controlen sus procesos de transferencia de custodia.

Al respecto, es importante destacar que a nivel internacional no se encuentran herramientas similares. En algunos países se presentan soluciones móviles que permiten efectuar trabajos en campo de manera efectiva, sin embargo, estas solo actúan sobre inconvenientes puntuales y específicos, ya sea volumen, presión, temperatura o calidad de gas, es decir, son equipos de calibración en campo que solo tienen capacidad de atender una de estas variables y en casos muy concretos dos, más no de una manera integral.

La red de Gasoductos contiene aproximadamente 250 sistemas de medición; es así como consciente de la importancia que representa dentro de la industria del gas natural la transferencia de custodia de gas natural; las mediciones adquieren una gran importancia a la hora de cuantificar la cantidad de producto transferido.

Además cabe resaltar que el desarrollo de este Laboratorio Móvil de calidad de gas y metrología, se constituye en un proyecto de innovación tecnológica, única no solo en Latinoamérica, sino en el mundo.

En Europa, una de las empresas que fabrican medidores patrones para la medición de gas natural, desarrolla Laboratorios móviles para la calibración de medidores, no obstante, estos laboratorios suplen las necesidades de la

industria del gas, al brindar aseguramiento metrológico a los medidores encargados de la transferencia de custodia, sin embargo, no lo hace en cuanto a la calidad del gas. En Estados Unidos y en Canadá, se han desarrollado laboratorios de cromatografía móviles para realizar análisis en sitio.

En conclusión desarrollar un Laboratorio Móvil, que integre la metrología física y la metrología química, se constituyen en un proyecto pionero en el mundo.

Los países Latinoamericanos como Argentina, Brasil y México (los dos primeros tienen entre 9.200 y 7.600 kilómetros de gasoductos respectivamente), están siendo aliados estratégicos para Colombia, en la búsqueda del desarrollo de nuevas alternativas tecnológicas que permitan el progreso de la Industria del Gas Natural.

De acuerdo a la experiencia en el tema, se tiene claro que el uso de equipos portátiles para poder realizar calibraciones en campo como principal aseguramiento metrológico, permite reducir los costos, toda vez que se reducen al mínimo las paradas de los sistemas de transferencia de custodia, frente a la opción de desmontar los equipos y enviarlos a un laboratorio estacionario.

Actualmente, los equipos portátiles que se utilizan en el aseguramiento metrológico de magnitudes como presión, temperatura, volumen, composición, etc., representan una ventaja importante, sin embargo, las adversas condiciones ambientales en campo y la misma portabilidad de los equipos, incrementan la incertidumbre de los resultados obtenidos, frente a aquella incertidumbre que podrían proveer los equipos de laboratorio estacionario.

En cuanto a lo que respecta a la calibración de medidores de volumen en campo, existen dos opciones:

Artículo I. El uso de probadores portátiles (provers) que utilizan medidores rotativos como patrones y que han sido diseñados con un nivel bastante sólido para ser operados en campo. Esta opción fue implementada por algunos laboratorios a nivel nacional, quienes utilizan el probador como un banco estacionario de laboratorio. Sin embargo, su uso en campo, bajo condiciones ambientales no controladas, dificulta la obtención de resultados con adecuados niveles de incertidumbre. Esta opción tecnológica no es lo suficientemente flexible y transparente para permitir su aseguramiento metrológico cumpliendo con los requisitos mínimos para demostrar la trazabilidad y validez de resultados, exigidos en la norma ISO 17025[5].

Artículo II. Los laboratorios móviles para calibración de medidores de volumen de gas (realmente muy pocos casos puestos en práctica a nivel mundial). La empresa ACTARIS⁶, con soluciones a la medida de acuerdo con el caudal de los medidores a calibrar, es la más destacada en estos equipos. Estos laboratorios son implementados en remolques con sistemas de acondicionamiento de aire para garantizar estabilidad térmica durante los procesos de calibración.

⁶ ACTARIS: Empresa fabricante de medidores y contadores a nivel mundial.

En el caso de los equipos portátiles para calibración de magnitudes como presión, temperatura y magnitudes eléctricas, existe una gran ventaja y es que estos, se encuentran en una amplia gama de marcas, características, precios y clase de exactitud, permitiendo la facilidad de calibrar en campo de una manera práctica, sin embargo, sacrificando, como se mencionó anteriormente, la incertidumbre de medición. En magnitudes como la presión, tecnológicamente no es posible realizar en campo, ajustes a transmisores de presión con clase de exactitud mejor de 0,1%, pues la variación térmica del ambiente impide la reproducción de la presión con una adecuada estabilidad.

En cuanto a la cromatografía de gases para la determinación de la calidad del gas natural, al igual que para los equipos portátiles para calibración, también existe en el mercado una amplia gama de equipos portátiles que permiten analizar la composición del gas en campo, pero limitados al análisis simple con detección de hasta C6+. A nivel internacional se han desarrollado laboratorios móviles de cromatografía, especialmente para la evaluación y control de contaminantes ambientales de acuerdo con los lineamientos dados en los métodos EPA⁷. Estos Laboratorios han sido implementados sobre remolques o camiones con unidades de acondicionamiento de aire y todas las facilidades para su adecuada operación, desde el proceso de muestreo hasta la emisión de resultados in-situ. Específicamente en Canadá, la empresa ATCO Gas, una de las más grandes transportadoras y distribuidoras de gas natural y electricidad en ese país, desarrolló su propio laboratorio móvil de calidad de gas, utilizando un tráiler que fue adecuado para la ejecución de análisis cromatográficos, medición de H₂S y Humedad.

De acuerdo a lo anterior, si bien existen soluciones, estas se dan a problemas puntuales, los cuales adicionalmente presentan desempeños metrológicos inferiores a los que presentan los equipos estacionarios. Esta situación, permite concluir que ninguna de las soluciones que se han desarrollado a nivel mundial o nacional permite evaluar y controlar de manera integral la cantidad y la calidad del gas, en los procesos de transferencia de custodia en campo.

Ahora bien para entender la necesidad de suplir los problemas críticos que se presentan en la Industria del Gas, es preciso conocer la naturaleza misma del Gas Natural.

1.1.1 El Gas Natural

El Gas Natural, es una mezcla de gases, de composición variable, siendo el metano (CH₄) el componente predominante.

Este recurso no renovable, tradicionalmente se encuentra a presiones relativamente elevadas en formaciones geológicas, porosas y estancas, de la corteza terrestre, conocidas como "rocas almacén" que constituyen yacimientos de hidrocarburos.

⁷ Environmental Protection Agency, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

Desde un punto de vista técnico, los yacimientos de hidrocarburos se encuentran, inicialmente, ya sea en estado monofásico o en estado bifásico⁸, de acuerdo con la posición relativa de sus presiones y temperaturas en los diagramas de fases.

En ausencia de agua estos diferentes yacimientos monofásicos pueden comportarse [6]:

1. Como yacimientos simples o normales de gas ("gas seco"), donde la temperatura de yacimiento excede el punto cricondentérmico⁹;
2. Como yacimientos de condensación retrógrada (punto de rocío o "gas húmedo"), donde la temperatura del yacimiento se encuentra entre la temperatura crítica y la temperatura del punto cricondentérmico.
3. Como yacimientos de gas disuelto (de bajo punto de burbujeo, donde la temperatura del yacimiento está por debajo de la temperatura crítica.

En el caso de los yacimientos de gas, al ser extraído del subsuelo, sus condiciones de presión y temperatura se modifican, generándose una disminución en estas dos variables. Dependiendo de la composición del gas en el yacimiento, la mezcla de hidrocarburos procedente de un yacimiento de gas se puede subdividir en:

- Gas seco, no forma fase líquida en superficie, a la temperatura ambiente y presión de la planta de tratamiento, y que suele estar constituido en su mayor parte por metano (CH_4), etano (C_2H_6) y pequeños porcentajes de propano (C_3H_8) y butano (C_4H_{10}), estando ausentes hidrocarburos superiores al pentano (C_5H_{12}).
- Gas húmedo, forma fase líquida en superficie, a la temperatura ambiente y presión de la planta de tratamiento. La fase gaseosa suele estar constituida también por metano y etano, pero con proporciones relevantes de propano, butano y cantidades residuales de hidrocarburos de cadenas superiores al hexano. A la fase líquida se le denomina condensado o gasolina natural.

En el yacimiento, el gas se encuentra saturado en agua, parte de esta se condensa y se elimina en separadores de superficie a pie de pozo, y parte permanece en fase vapor; antes de ser transportado por tuberías, se debe adecuar el punto de rocío con el fin de evitar condensaciones indeseables en las redes. Algunos de los posibles elementos contaminantes del gas natural, que deben eliminarse, pueden también poseer un carácter ácido, como los mercaptanos¹⁰ (R-SH), CO_2 y H_2S , que pueden estar presentes, a veces en proporciones significativas.

⁸ Monofásico y bifásico: Monofásico corresponde a una sola fase, por ejemplo fase gaseosa o fase líquida. Bifásico corresponde a la presencia de dos fases, por ejemplo fase gaseosa y líquida.

⁹ Cricondentérmico: Representa la máxima temperatura a la que están en equilibrio el líquido y el gas en el yacimiento.

¹⁰ Mercaptanos: Compuestos fuertemente olorosos de carbono, hidrógeno y azufre que se encuentran en el gas y en el aceite. Algunas veces se agregan al gas natural por razones de seguridad.

Cuando el gas contiene una cantidad considerablemente alta de hidrocarburos superiores al metano, puede ser necesario ajustar el nivel de concentración de los mismos, fundamentalmente por las siguientes razones:

- a) para evitar la formación de una fase líquida durante su transporte;
- b) para ajustar el poder calorífico del gas natural dentro de una determinada especificación de calidad, para lo cual no debe contener ni un alto contenido de gases inertes como el nitrógeno, que disminuye el poder calorífico, ni un alto contenido de etano o hidrocarburos superiores, que tienden a incrementar el poder calorífico;
- c) y para recuperar la fracción de hidrocarburos líquidos, que puede ser utilizado como materia prima en procesos petroquímicos, siendo mayor su valor económico.

2.1.1 Medición de Gas en Transferencia de Custodia

En el sistema de transferencia de custodia de gas natural se pueden identificar tres componentes:

- a. Elemento primario: se identifica fácilmente relacionándolo con la tecnología de medición empleada y las condiciones óptimas que se requieren para la obtención de resultados de medición confiables.

El elemento primario define el tipo básico de medidor usado para medición de gas, siendo los más comunes:

- Medidor tipo Turbina
- Medidor tipo Rotativo
- Medidor tipo Diafragma
- Medidor tipo Placa de Orificio
- Medidor Ultrasónico
- Medidor Másico tipo Coriolis

Los medidores que empleará el Laboratorio Móvil, serán las turbinas, rotativos y diafragmas, por cuanto constituyen el mayor parque de medidores utilizados en los gasoductos de TGI S.A. ESP y en el Sistema Nacional de Transporte.

Medidor tipo turbina



Figura 1. Medidor Tipo Turbina

En el medidor tipo turbina el fluido entra a través de un rectificador de flujo de diseño especial, el cual provee un patrón de velocidades de flujo uniformemente distribuido, que transfiere energía cinética al rotor de la turbina.

El flujo del gas pone en movimiento el rotor de la turbina con una velocidad proporcional a la velocidad del gas. El volumen del fluido que pasa a través del medidor por unidad de tiempo (caudal) es igual a la velocidad del fluido, multiplicada por el área de flujo efectiva de la turbina, y cada revolución del rotor de la turbina es equivalente a un determinado volumen pasando a través del medidor.

El rotor de la turbina también acciona un contador, el cual posee engranajes y un odómetro que indica el volumen de fluido que pasa por el medidor (m^3 o ft^3). También es usual disponer de sensores de proximidad que suministran salidas eléctricas, las cuales pueden obtenerse a partir del paso de los alabes de la turbina o de la rotación de un disco especial. De esta forma la señal de frecuencia generada (pulsos) es proporcional al caudal.

Medidor tipo rotativo



Figura 2. Medidor tipo rotativo

Los medidores de gas rotativos tienen una larga trayectoria en la industria del gas. En estos equipos, dos rotores con forma de número ocho (8) se ensamblan usando engranajes externos de forma que permitan un movimiento sincronizado. La tolerancia (huelgo) entre los rotores y la superficie interna del cuerpo del medidor es mínima con el fin de evitar las fugas. Por cada rotación completa, cada rotor transporta un volumen definido entre la entrada y la salida. De esta forma, el medidor se clasifica dentro de los medidores de desplazamiento positivo. El volumen del espacio entre la superficie interna del cuerpo del medidor y el rotor determina el factor del medidor (k-factor), y el caudal es proporcional a la velocidad de rotación de los rotores.

Los rotores a su vez transmiten movimiento a un contador por medio de una relación de engranajes. El contador indica el volumen que pasa a través del medidor (m^3 o ft^3). Los ejes del rotor pueden estar equipados con un sensor, con el fin de proporcionar una señal de frecuencia (pulsos) proporcional al caudal.

Medidor tipo diafragma



Figura 3. Medidor tipo diafragma

El medidor tipo diafragma o de paredes deformables, está formado por una envoltura a presión con conexiones de entrada y salida, al interior se forman cuatro cámaras de medición. Son el tipo de medidor comúnmente utilizado en aplicaciones de transferencia de custodia a baja presión y para bajos volúmenes.

- b. Elemento Secundario: Elementos requeridos para la medición de variables diferentes al volumen o caudal de gas y que participan del modelo matemático base de la medición del volumen de gas a facturar. Es posible encontrar estaciones de medición sin elementos secundarios, como es el caso de la medición de volúmenes inferiores 100000 pies cúbicos estándar por día, así como en las entregas residenciales y en la mayoría de las entregas comerciales, donde el gas natural a baja presión se mide utilizando tan solo un medidor de diafragma, sin embargo, en transferencia de custodia de grandes volúmenes de gas, es posible encontrar elementos adicionales para evaluar la calidad del gas, como medidores de humedad, de punto de rocío de hidrocarburos, H₂S o Azufre, entre otros.
- c. Elemento Terciario: Computador o corrector electrónico de flujo. Destinado al cálculo de la cantidad total de gas (volumen o energía) a partir del elemento primario y los elementos secundarios. Estos reciben señales eléctricas, analógicas o digitales, las cuales son convertidas y procesadas para obtener el volumen a las condiciones de referencia preestablecidas. La tarea principal del computador de flujo en aplicaciones tales como transferencia de custodia es medir el caudal y/o volumen de gas con una alta exactitud y confiabilidad. Pero adicionalmente es utilizado para:
- Almacenar históricos de las condiciones de flujo, volumen y caudal.
 - Registro de verificaciones o calibraciones realizadas anteriormente a los elementos secundarios.
 - Corrección de volumen de gas por efectos de compresibilidad del gas.

- Comunicación con los Centros Principales de Control o estaciones remotas, mediante algún tipo de protocolo de comunicación (SCADA en TGI), permitiendo facilidad en el seguimiento remoto de la estación de medición.
- Ejecución de funciones de alarma y control, etc.

- Registro de las diferentes condiciones de operación en tiempo real.

2.1.2 Evaluación de la Calidad del Gas Natural

Los cromatógrafos en línea o de laboratorio, se constituyen en la herramienta a través de la cual, se realiza la evaluación de la composición del Gas Natural. En esta evaluación, se pueden ejecutar dos tipos de análisis, dependiendo del alcance de los componentes a detectar [7].

- a. Gas Natural Normal o Simple: Este método determina la composición química del gas natural y las mezclas gaseosas similares dentro de un alcance de composición determinado. Este procedimiento de análisis, es el que normalmente se realiza a un gas natural que cumple con las especificaciones de calidad definidas para venta.

- b. Gas Natural Extendido o Ampliado: Este método determina la composición química de un gas natural y las mezclas gaseosas similares hasta hidrocarburos C14+, combinando el método descrito en la norma GPA 2261 "Analysis for Natural Gas and Similar Gaseous Mixtures by Gas Chromatography " con un análisis extendido de los C6 y componentes más pesados, usando cromatografía capilar de gases. Este análisis es recomendado en el caso de un gas natural rico o donde se requiera conocer la composición detallada de los C6+, como es el caso de la determinación del punto de rocío de hidrocarburos mediante el uso de ecuaciones de estado.

Dada la complejidad de este método, este tipo de análisis se realiza casi exclusivamente en laboratorio, por lo que, los tiempos requeridos para la obtención de resultados desde la toma de la muestra en campo, son muy largos, disminuyendo las bondades del método. Debido a lo anterior, se ha previsto implementar como parte del Laboratorio móvil de TGI un cromatógrafo de Laboratorio con un alcance de por lo menos C9+, que permita evaluar con adecuada exactitud la composición del gas natural en los diversos puntos de transferencia de custodia a controlar.

2.1.3 Cromatógrafos en Línea

La utilización de cromatógrafos instalados en línea, permite mediciones continuas del poder calorífico y de otras propiedades como la gravedad específica y el índice de Wobbe, todas ellas basadas en el análisis de composición, lo que hace, que su uso sea bastante utilizado en la industria de

gas para procesos de transferencia de custodia y facturación. Las bondades frente a la utilización de cromatógrafos en línea, se encuentran asociados a que permiten proveer mediciones más confiables y exactas, comparadas con las obtenidas por los calorímetros tradicionales y en que el operador puede medir y controlar la calidad del gas en tiempo real, sin embargo, esto solo es aplicable cuando previamente se ha comprobado con un análisis extendido, que no existen componentes pesados superiores a C6+ [8]. Los resultados que se obtienen frente a la utilización de cromatógrafos en línea resultan equivalentes a los obtenidos en el laboratorio, sin embargo la incertidumbre asociada a estos resultados generalmente es mayor.

2.2 Configuración y ordenamiento del laboratorio

2.2.1 El Vehículo

Teniendo en cuenta los anteriores conceptos TGI, se encuentra desarrollando un Laboratorio móvil para la evaluación y control, de la calidad y de la cantidad de gas natural transportado por sus gasoductos, convirtiéndose de esta forma en un producto tecnológico innovador, con gran potencialidad para replicarlo para su utilización, especialmente en los países Latinoamericanos.

Su desarrollo, comprende el diseño y adecuación de un vehículo para ser utilizado como Laboratorio Móvil de calidad y cantidad de gas natural. Su movilidad, estará determinada por la ubicación geográfica de los sistemas de medición, el cual podrá trasladarse de manera segura por el Territorio Nacional.

El tamaño y la capacidad volumétrica del vehículo serán factores claves para que la distribución de los bancos de ensayo y calibración, que operarán en el laboratorio móvil de calidad y cantidad de gas natural, sea adecuada para obtener resultados óptimos y provea condiciones metrológicas y ergonómicas para que los profesionales puedan realizar un trabajo cómodo y seguro.

Dentro del estudio de pre factibilidad, se determinó la necesidad de utilizar un vehículo con chasis cuya capacidad de carga estimada será superior a 3.5 toneladas y un volumen de furgón estimado superior a 25 m³. Lo anterior implica que con un alcance de caudal, para el banco de flujo de gas, de 650 m³/h (correspondiente a un medidor de 4"), el aire recirculará en el vehículo cada 2 minutos y el sistema de acondicionamiento de aire deberá mantener la estabilidad térmica, independiente de las condiciones ambientales externas, las cuales podrían fluctuar entre los 10 °C y los 35 °C dependiendo de la ubicación geográfica y la altitud sobre el nivel del mar.

El diseño y las adecuaciones del vehículo permitirán el traslado, bodegaje y uso seguro de todos los componentes considerados para el laboratorio móvil, generando en campo condiciones similares a los laboratorios fijos para garantizar la reproducibilidad de los métodos de ensayo y calibración. Por este motivo, se prevé que el vehículo deberá contar con características técnicas y facilidades, tales como:

- Suministro de energía eléctrica por conexión a una red y a través de generación propia suficiente para la alimentación de todos los equipos de potencia, control y adquisición de datos.
- Aislamiento térmico y diseño fluido-dinámico apropiado para mantener la estabilidad de temperatura, independiente del ambiente en que opere.
- Facilidades para el manejo y suministro de gases especiales y gases de referencia utilizados en ensayos de calidad del gas.
- Sistemas de anclaje y sujeción anti vibración, para los equipos electrónicos y demás, que posean sensibilidad a la vibración propia del rodaje por carretera.
- Facilidad de acceso y movilidad al interior del vehículo (escalerillas, plataformas de carga, etc.).
- Potencia y espacio del vehículo, suficientes para transportar el personal, los elementos y los equipos necesarios para la realización de los ensayos y las calibraciones.
- Espacios ergonómicos y seguros para los profesionales que laborarán en el vehículo.

Para el acondicionamiento de las anteriores características en el vehículo, se realizará el modelaje mediante el uso de software CAD (Computer Aided Design), optimizando los espacios internos y asignando una distribución de planta adecuada para los equipos y las actividades que se realizarán en el interior del laboratorio.



Figura 4. Vehículo adecuado para el Laboratorio móvil

El diseño del vehículo y las facilidades se desarrollará en forma paralela considerando los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos, con la constante evaluación de los requisitos obtenidos durante el diseño metrológico, para de una manera iterativa obtener el esquema óptimo que permita la

ejecución de los procedimientos de ensayo y calibración previstos para el laboratorio móvil.



Figura 5. Vista lateral del Vehículo adecuado para el Laboratorio móvil



Figura 6. Vista interna del Vehículo adecuado para el Laboratorio móvil

2.2.2 Denominación del Laboratorio Móvil de Metrología

El Laboratorio Móvil de Metrología, fue denominado M3Tlab, debido a sus atributos fundamentales: Metrología, Movilidad, Mantenimiento y Trazabilidad (MMMT).

El juego de concepto, llevo a la siguiente igualdad: MMM = M3, y así se llevo a M3T (o MET por Metrología) y "lab" como abreviatura de

Laboratorio. Por coincidencia al leer M3 se evidencia el metro cúbico (m³), que es la magnitud clave en la medición de volumen de gas.

2.2.3 Requerimientos tecnológicos para el montaje del laboratorio

TGI S.A. ESP, buscando asegurar de una forma integral, todos los procesos para el aseguramiento de la calidad y cantidad del Gas Natural transportado y medido en Sistemas de Medición clase B y clase C, según las recomendaciones de la OIML R 140, obtuvo como resultado un Vehículo acondicionado como laboratorio Móvil, el cual permite, almacenar, transportar y operar, los patrones y equipos de medición requeridos para evaluar la composición C10+, HCDP¹¹ y Humedad del Gas Natural, y calibrar los instrumentos de magnitudes involucradas en el proceso de transferencia de Custodia, tales como: Volumen de Gas, Presión, Temperatura, Frecuencia y las magnitudes eléctricas asociadas, bajo un SGC ISO 17025¹².

Adicionalmente, es posible realizar labores de Mantenimientos electromecánico para los sistemas de Medición, permitiendo garantizar la calidad y cantidad del Gas Natural medido en los Sistemas de medición.

Con el objeto de proveer las CMC¹³ necesarias para el aseguramiento metrológico de los Sistemas de Medición, el laboratorio M3Tlab, fue desarrollado tomando como base las características funcionales y metrológicas de los SM e instrumentos objetivos, así como los lineamientos de la recomendación OIML R 140 para sistemas con precisión Clase B. Para ellos fue necesario realizar una serie de estados [9][10][11]del arte que permitieron, estudiar, comparar y seleccionar, con base en información secundaria, las alternativas tecnológicas para obtener las CMC objetivo, en el M3Tlab.

Los alcances previstos, se describen a continuación:

- VOLUMEN DE GAS NATURAL

En el desarrollo del patrón de volumen se tomaron en consideración los medidores objetivo (**Tabla 2**), y los requerimientos metrológicos y funcionales para garantizar la ejecución de calibraciones con CMC cercana a 0.3% (k=2) en la determinación del error.

¹¹ Hydrocarbon Dew Point, punto de rocío de hidrocarburo

¹² Sistema de Gestión de la Calidad conforme a los requisitos de la Norma ISO/IEC 17025. La ISO 17025 es una normativa internacional desarrollada por ISO (International Organization for Standardization) en la que se establecen los requisitos que deben cumplir los laboratorios de ensayo y calibración

¹³ Calibration and measurement Capabilities

Tabla 2. Medidores de Volumen de Gas Objetivo

Tipo	Intervalo medición	Características Medidor	EMP ¹⁴
Rotativo y Turbina	2 m ³ /h a 650 m ³ /h	DN: 50 mm a 100 mm Conexiones: PN 20 a PN Salidas: Odómetro, Contacto seco y Alta frecuencia	1%

- CALIDAD DEL GAS NATURAL

Con base en la composición típica de los gases naturales en Colombia, se planteó, la capacidad para realizar análisis de GN semi-extendido, de acuerdo con los alcances descritos en la **Figura 7.** que se presenta más adelante. De esta manera se pueden determinar mediante reglas de mezclas y EOS¹⁵, diversas propiedades de interés en el GN, tales como: poder calorífico, temperatura de punto de rocío de hidrocarburos, densidad, factor de compresibilidad, velocidad del sonido, viscosidad, etc.

En principio las propiedades de interés y sus límites de especificación son listadas en la **Tabla 3.**

Tabla 3. Mensurandos de Interés y límites de especificación en el Modulo de Calidad de Gas

Propiedad	Método de Medición	Intervalo de Medición
Composición de GN	Cromatografía C10	Cromatografía extendida hasta C10+. (Ver Figura 7. 7)
Poder calorífico	Cromatografía C10 + regla de mezcla	33.53 MJ/m ³ a 44.71 MJ/m ³
Temperatura de punto de rocío de hidrocarburos	Cromatografía C10 + EOS	-34 °C a 15.56 °C
Contenido de vapor de agua	Absorción en sensor de óxido de aluminio	10 mg/m ³ a 590 mg/m ³

¹⁴ Error Máximo Permisible

¹⁵ Equation of State (Ecuación de Estado)

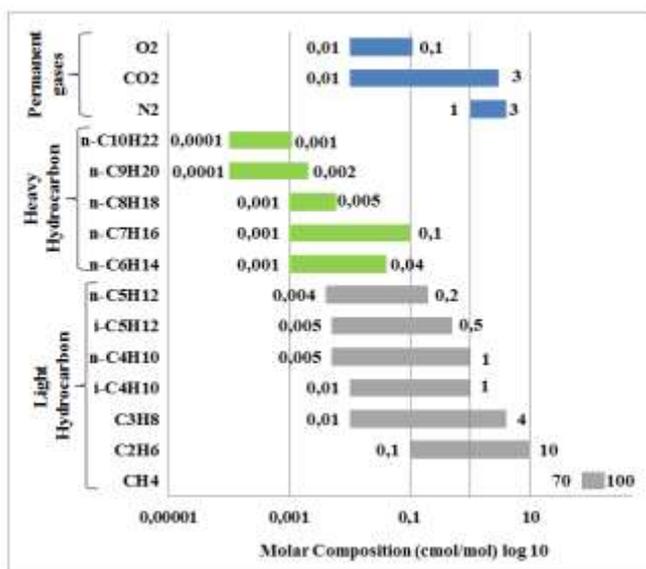


Figura 7. Componentes e Intervalo de concentración para análisis de GN
 Para reducir la incertidumbre por efecto del muestreo de GN, se especificó y configuró un sistema con sonda de inserción en caliente, que permitiera ejecutar muestreos spot, y obtener muestras representativas de la corriente de flujo de GN.

- MAGNITUDES ASOCIADAS

Aunque las principales magnitudes asociadas a la medición de GN, son la presión y la temperatura, estas se obtienen mediante instrumentos electrónicos, que requieren aseguramiento metrológico en magnitudes tales como: resistencia eléctrica, corriente eléctrica, tensión y frecuencia. En la **Tabla 4** se describen los alcances respectivos.

Tabla 4. Magnitudes de Interés y límites de especificación en el Módulo de Magnitudes Asociadas

Magnitud	Intervalo de Medición	EMP
Presión manométrica	10.34 kPa – 206.8 kPa	0.2 kPa
	103.4 kPa – 2 068 kPa	2 kPa
	517 kPa – 10 342 kPa	10.3 kPa
Temperatura	-10°C a 150 °C	0.5 °C
Tensión eléctrica DC	-15 V a 15 V	5 mV
Corriente eléctrica DC	0.1 mA a 22 mA	8 µA
Resistencia DC	10 Ohm a 200 Ohm	0.01 Ohm
Frecuencia	1 Hz a 10 000 Hz	0.1 Hz

- MANTENIMIENTO M3TLAB

Como complemento a las CMC previstas para M3Tlab, se consideró igualmente la necesidad de ejecutar mantenimientos electromecánicos menores, a los SM y sus instrumentos, por lo cual se definieron como requerimientos:

- Evaluación de puestas a tierra
- Evaluación de aislamiento del SM
- Análisis de señales eléctricas
- Desmontaje, elevación y montaje de componentes del SM
- Mantenimiento electromecánico de instrumentos y componentes del SM

De otra parte, una vez establecida la matriz de requerimientos, a partir del análisis de los alcances y retos del laboratorio móvil, se inició un trabajo de diseño multidisciplinario e iterativo, que integró ingenieros y metrólogos de diversas disciplinas, hasta obtener un diseño conceptual y la ingeniería básica, para el desarrollo del proyecto, dentro de los cuales, el acondicionamiento que tendría el Laboratorio Móvil.

2.2.4 Acondicionamiento del laboratorio móvil

Vehículo acondicionado como laboratorio móvil

Suspensión y sistemas antivibración. Uno de los resultados que revistió mayor complejidad en su desarrollo, fue el vehículo acondicionado como laboratorio móvil (VALM). Este fue integrado a partir de un pequeño camión HINO 300 Dutro Max del Grupo Toyota [12], con cabina tipo COE¹⁶, y con suspensión posterior de ballestas convencionales (semi-elliptic leaf spring) y amortiguadores de doble acción. Esta configuración es de serie en el mercado colombiano y se utiliza para el transporte de carga en general, debido a su rigidez, longevidad y bajo mantenimiento. Sin embargo, este tipo de suspensión transfiere a la carga, los efectos de vibraciones de baja frecuencia, o denominados impactos[13][14][15], que se incrementan con la velocidad del rodaje, la rigidez de la suspensión y el mal estado de la carretera[16]. Por estas razones fue necesario diseñar un sistema de suspensión, ubicado entre el chasis del camión y el furgón del laboratorio móvil, mediante el cual se redujera la magnitud de los impactos, sin poner en riesgo la estabilidad del laboratorio móvil durante el rodaje.

La solución simple, pero efectiva, fue la instalación de soportes cónicos distribuidos longitudinalmente (ver **Figura 8**), de acuerdo con la distribución de

¹⁶ Cab over engine (Cabina sobre el motor)

masas prevista, mediante los cuales se redujo hasta valores seguros, el vector de aceleración (triaxial) generado por los impactos durante el rodaje.



Figura 8. Sistemas anti vibratorios implementados en el VALM¹⁷ para la reducción de impactos

Para validar la eficacia de la suspensión implementada, se realizaron varios recorridos por carreteras colombianas típicas, que poseen ondulaciones, huecos, pavimento deteriorado e incluso sin pavimento. Durante estas pruebas se realizó el monitoreo de los impactos sobre el chasis del camión (suspensión convencional) y sobre el furgón del camión (suspensión acondicionada), mediante el uso de acelerómetros triaxiales, con disparo a 1.5 G¹⁸ [17] y frecuencia de muestreo de 50 kHz, mediante lo cual se confirmó la capacidad, de la suspensión implementada, para reducir la magnitud de los impactos en más de un 80% (Ver **Figura 9.** y **Figura 10.**).

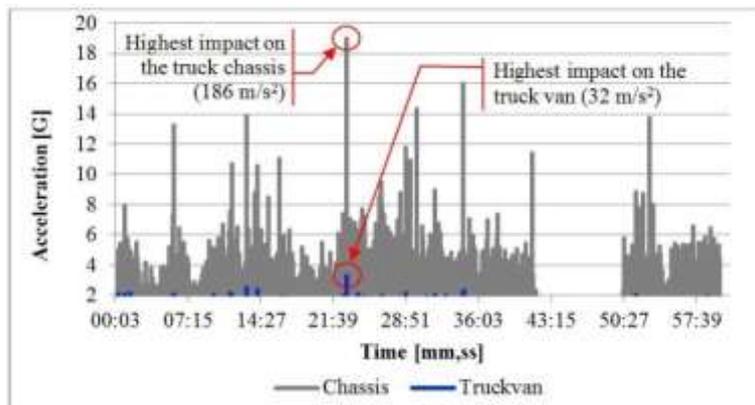


Figura 9. Impactos registrados durante las pruebas SAT de traslado por carretera

¹⁷ VAML: Vehículo Acondicionado como Laboratorio Móvil

¹⁸ Aceleración de la gravedad. Para los experimentos descritos corresponde a la gravedad local de la ciudad de Piedecuesta (Colombia) 9.7778 m/s² [17]

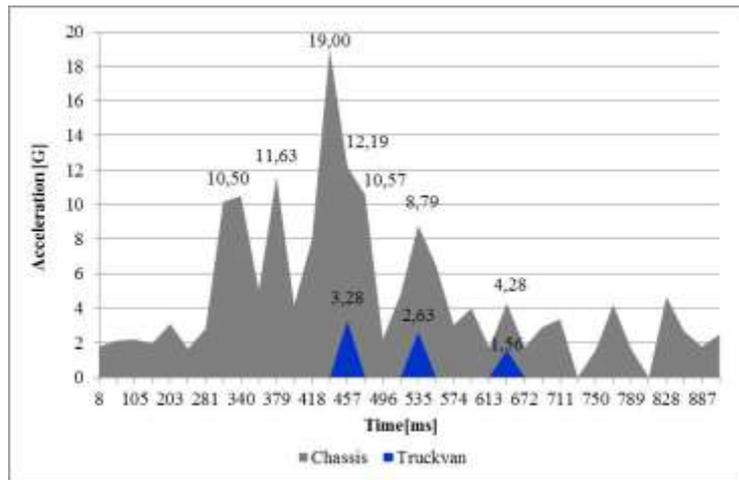


Figura 10. Comparativo de la reducción de impactos

Aunque la suspensión acondicionada (que corresponde al segundo nivel de aislamiento de vibraciones) permitió reducir el nivel de impactos, durante el rodaje, a valores inferiores a 4 G, se implementó un tercer nivel de aisladores de vibración que permiten reducir en un mayor grado los impactos, tanto, para los equipos que se encuentran integrados de manera permanente al VALM, tales como: cromatógrafo, planta eléctrica, compresores, patrón volumétrico, etc., como para los equipos almacenados, pues los bancos de trabajo y gabinetes poseen antivibradores en el anclaje al VALM.

2.2.5 Distribución de Plantas y Módulos Operativos

Como resultado del proceso de diseño iterativo y luego de seleccionadas las tecnologías a implementar, se obtuvo una distribución de planta, compacta, flexible y a la medida de los procesos de ensayo, calibración y mantenimiento. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se observan en líneas punteadas las áreas correspondientes a los módulos del laboratorio. Entre estos, los módulos A, B, C y D se encuentran ubicados al interior del furgón y el módulo E es accesible desde la parte lateral externa del furgón.

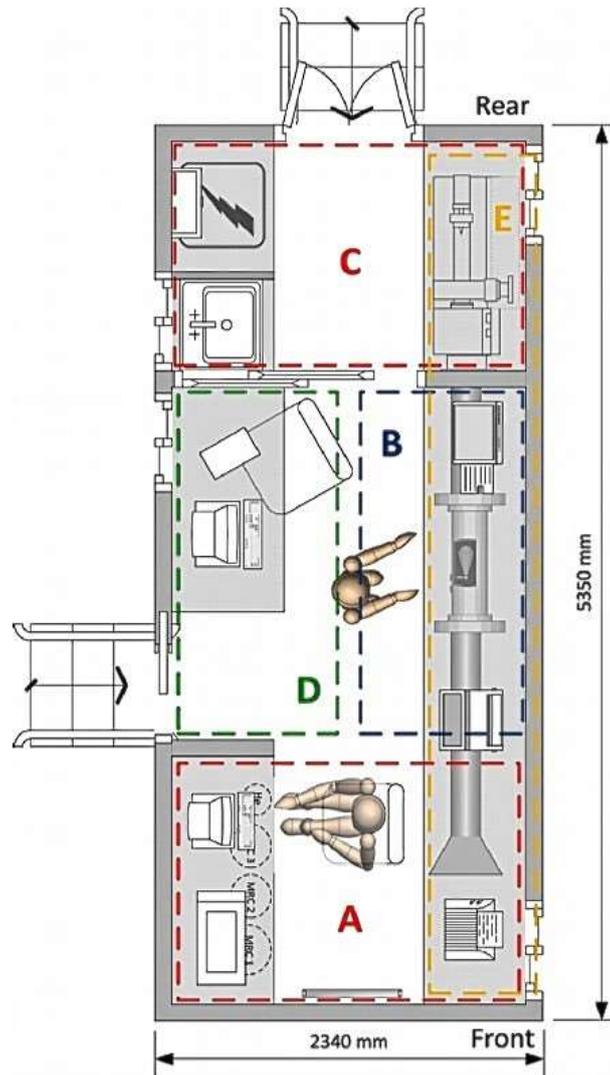


Figura 11. Esquema de planta del laboratorio móvil.
 A-Calidad de gas. B- Magnitudes secundarias. C-Mantenimiento. D- Multifuncional. E- Volumen de gas

2.2.6 Facilidades (energía, aire acondicionado, aire comprimido, etc.) y resultados

Para proveer al laboratorio móvil la capacidad de operar, In-situ, con similares facilidades a las que posee un Laboratorio permanente, se hizo necesario integrar a bordo del VALM, los equipos descritos en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Equipos integrados como facilidades en el VALM

Equipo	Características	Desempeño
Generador Eléctrico	Tecnología Inverter con potencia máx. de 6.5 kW y salida de 120/240 VAC a 60 Hz	Onda senoidal de 60 Hz, con suministro proporcional a la carga eléctrica y autonomía de hasta 10 horas
Aire Acondicionado	Del Tipo <i>Vehicle Mounted</i> con potencia de enfriamiento de 2.63 kW y refrigerante R410	Estabilidad de $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ en 1 h a un ΔT de 5°C por debajo de la T_{amb}
Sistema de Aire comprimido de baja Presión	Compresor monoetapa con filtro de $5\ \mu\text{m}$	$6.5\ \text{m}^3/\text{h}$ @ $0.82\ \text{Mpa}$
Sistema de Aire comprimido de Alta Presión	Compresor de doble etapa con filtro de $0.5\ \mu\text{m}$ y membrana de secado para obtener dewpoint de -15°C a P_{atm}	$0.6\ \text{dm}^3/\text{h}$ @ $20.7\ \text{Mpa}$

2.2.7 Desempeño y estabilidad metrológica

Los alcances operativos y metrológicos descritos anteriormente, fueron implementados en su totalidad, durante la etapa de integración y posteriormente se desarrollaron una serie de pruebas FAT¹⁹ y SAT²⁰, por módulos individuales y en conjunto. Mediante estas pruebas se evaluó el desempeño metrológico del laboratorio móvil y fueron desarrolladas como parte de las estrategias para el monitoreo del desempeño (ver **Tabla 6.**) en el tiempo y bajo diversas condiciones ambientales.

¹⁹ Factory Acceptance Test, prueba realizada para determinar si se cumplen los requisitos de la especificación o contrato

²⁰ Site Acceptance Test, se realiza para asegurarse de que el sistema, una vez instalado en condiciones reales, funciona correctamente.

Tabla 6. Estrategia para monitoreo de desempeño metrológico

Magnitud	Estrategia para Monitoreo de Desempeño	Desempeño Obtenido en Pruebas FAT y SAT
Volumen de Gas	Verificación periódica, mediante calibración de un medidor rotativo de transferencia	Ver Numeral 2.2.8
Composición de Gas C10+	Ajuste periódico multinivel, de factores de respuesta, utilizando 3 MRG Monitoreo del tiempo de retención, ruido y deriva en la respuesta del microcromatógrafo	Ver Numeral 2.2.99
Contenido de Vapor de Agua	Comparación periódica con sensor de referencia	En proceso de evaluación de desempeño
Presión	Comparación entre manómetros electrónicos sobre su intervalo de operación común	Estabilidad en la reproducción
Temperatura	Comparación periódica con sensor de temperatura tipo RTD y reproducción del punto de hielo	Estabilidad en la reproducción
Magnitudes Eléctricas	Calibración periódica con medidor-generador multifunción	En proceso de evaluación de desempeño

De las estrategias planteadas en la **Tabla 6**Tabla 7. , se describen a continuación las más representativas, desarrolladas para el módulo de volumen y de calidad de gas.

2.2.8 Pruebas de Desempeño metrológico para el Modulo de Volumen de Gas

El Patrón de volumen fue integrado y sus medidores patrón e instrumentos de medición fueron caracterizados y calibrados en el Laboratorio del CDT de GAS, que se encuentra acreditado por el ONAC²¹, según lineamientos de la norma ISO/IEC 17025 [18]. Para las pruebas FAT y SAT, se utilizó como dispositivo de transferencia, un medidor rotativo de doble lóbulo, con alcance de caudal de 1,6 m³/h a 250 m³/h, que fue especificado y adquirido como medidor de referencia para las verificaciones periódicas del Patrón de Volumen en M3Tlab. Este medidor fue previamente caracterizado en laboratorio para confirmar su robustez metrológica, y obtener los resultados de una calibración inicial (Ver

²¹ Organismo Nacional de Acreditación de Colombia

Cod LAB en la **Tabla 7.** , realizada bajo condiciones controladas de laboratorio. Los valores iniciales del error fueron asumidos como valores de referencia contra los cuales comparar las curvas de calibración posteriormente obtenidas en laboratorio e In-situ, bajo las condiciones ambientales descritas en la **Tabla 7.**

Para evaluar la estabilidad del Patrón de volumen se siguieron los lineamientos de CO_x, aplicables a comparaciones, obteniendo errores normalizados menores a 0.35 mediante lo cual se confirmó la reproducibilidad del Patrón de Volumen de M3Tlab, bajo las diversas condiciones de operación en laboratorio e in-situ.

Tabla 7. Condiciones de prueba para el patrón de volumen de gas Año: 2013

Cod	Ciudad	Fecha MM-DD	Altitud [msnm]	P _{atm} [kPa]	T _{amb} [°C]	HR [%]
LAB	Piedecuesta	02-26	1 000	90.06	21.4	55.1
LAB1	Piedecuesta	02-28	1 000	90.08	21.3	50.4
LAB2	Piedecuesta	03-01	1 000	90.47	20.9	52.1
PDT	Piedecuesta	05-05	1 000	90.52	25.5	63.5
BCB	Barrancabermeja	04-24	100	100.36	28.5	77.5
TNJ	Tunja	05-07	2 950	70.62	13.2	88.4

Para suministrar una referencia gráfica sobre el desempeño obtenido con el patrón de volumen, se presenta en la **Figura 12.** la desviación di (eje y) de los errores (Ei) en las múltiples calibraciones, respecto a los errores en la calibración inicial (di=0 eje y).

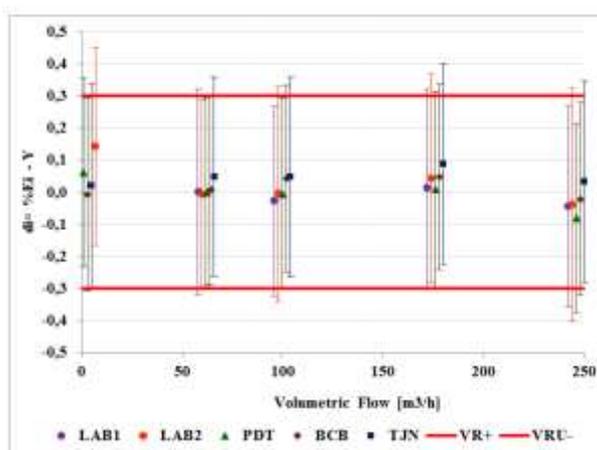


Figura 12. Desviación del error del medidor rotativo de transferencia. Las líneas rojas horizontales corresponden a la incertidumbre de los errores iniciales, tomados como valores de referencia

2.2.9 Pruebas de Desempeño Metrológico para el Módulo de Calidad de Gas.

El principal ensayo de calidad de gas implementado en M3Tlab, corresponde a la determinación de la composición C10+ en GN. Este ensayo es realizado mediante un microcromatógrafo que separa y detecta los compuestos del GN en un tiempo de 3 minutos, utilizando Helio como gas carrier. Este equipo posee un límite de detección de 1 ppm, un volumen mínimo de inyección de 1 μL y se encuentra constituido por cuatro módulos cromatográficos independientes que poseen la siguiente configuración:

- Column Hayesep A, 0,4m, Heated Injector, Backflush.
- Column CP-Sil 5 CB, 4m, Heated Injector, Backflush.
- Column CP-Sil 5 CB, 8 m, Heated Injector.
- Column MS5A PLOT, 20m, Heated Injector.

En la evaluación de desempeño del Microcromatógrafo, se utilizaron 3 RGM²², preparados por método gravimétrico, con concentraciones sobre el intervalo previsto, incertidumbre en masa $\leq 1\%$ y PRH²³ $\leq 0^\circ\text{C}$. Las pruebas consistieron en la evaluación de la repetibilidad y reproducibilidad del área de repuesta del microcromatógrafo bajo las condiciones descritas en la **Tabla 8**.

Tabla 8. Condiciones de prueba para el Microcromatógrafo

Cód.	Ciudad	Altitud [msnm]	P_{atm} [kPa]	T_{amb} [°C]	HR [%]
PDT	Piedecuesta	1 000	90.52	23.0	60.0
BCB	Barrancabermeja	100	100.36	25.0	68.5

Los resultados obtenidos, indicaron que la repetibilidad y la reproducibilidad son características de cada grupo de compuestos (Gases permanentes, HC livianos y HC pesados) y del intervalo de concentración del compuesto de interés. Por lo cual, se logró establecer una matriz para el monitoreo del desempeño del cromatógrafo en términos de repetibilidad (

²² Reference Gas Mixture, mezcla de gases de referencia

²³ Punto de Rocío de Hidrocarburos

Tabla 9) y Reproducibilidad (**Tabla 10).**

Tabla 9. Repetibilidad [%RSD] en las áreas de respuesta del Microcromatógrafo.

Intervalos de Concentración	100 – 10 [cmol/mol]	10 – 1 [cmol/mol]	1 – 0,01 [cmol/mol]	0,01 – 0,0001 [cmol/mol]
Permanent gases	-	< 0,8	< 6	< 10
Heavy Hydrocarbon	-	< 0,5	< 2	< 5
Light Hydrocarbon	< 0,2	< 0,2	< 1	< 1,75
%RSD máxima, obtenida al evaluar 3 RGM (dentro de los intervalos de concentración objetivo), con base en el promedio de tres inyecciones, realizadas en forma consecutiva.				

Tabla 10. Reproducibilidad [%RSD] en las áreas de respuesta del Microcromatógrafo

Intervalos de Concentración	100 – 10 [cmol/mol]	10 – 1 [cmol/mol]	1 – 0,01 [cmol/mol]	0,01 – 0,0001 [cmol/mol]
Permanent gases	-	< 2,5	N/C	< 20
Heavy Hydrocarbon	-	N/C	N/C	< 7,5
Light Hydrocarbon	< 0,35	< 0,5	< 2,5	N/C
%RSD máxima, obtenida al evaluar un RGM (dentro de los intervalos de concentración objetivo), con base en el promedio de tres inyecciones, realizadas en tres días consecutivos, apagando y reencendiendo el equipo cada día. N/C Intervalo de concentración No Cubierto por el RGM utilizado en la prueba de reproducibilidad				

La operación y mantenimiento de su red de Gasoductos, está conformada por un sistema de Gasoductos principales, a los cuales se conectan ramales regionales, que transportan el gas hasta los municipios. Este gas, es llevado a las residencias, industrias, comercios y otros usuarios a través de redes domiciliarias de distribución o en forma directa, mediante conexiones al sistema de transporte de TGI a través de su propia red y de aquella que es contratada con el sector privado.

Los Gasoductos de TGI, son:

- **Gasoducto Ballena Barrancabermeja:**

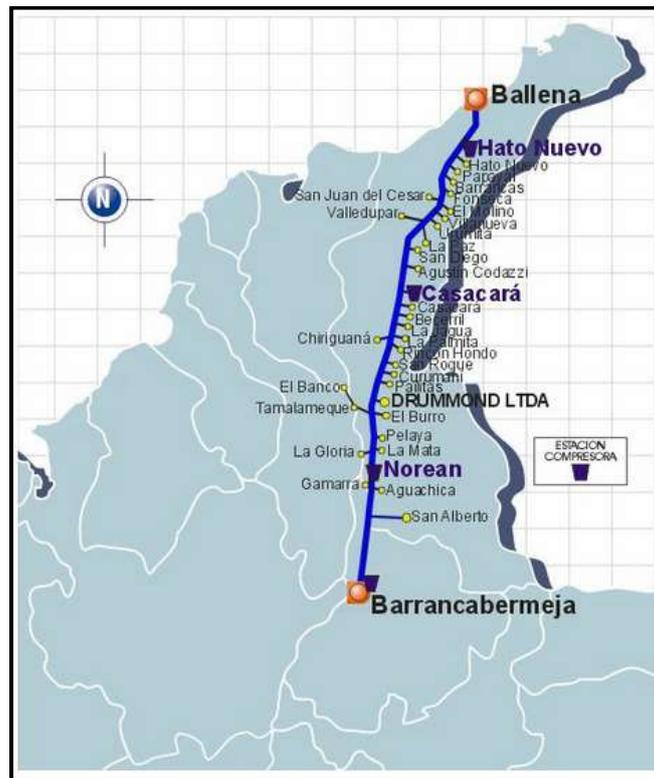


Figura 14. Mapa del Gasoducto Ballena Barrancabermeja
Fuente: TGI S.A ESP

El gasoducto Ballena - Barrancabermeja cuenta con seis (6) estaciones de compresión y una estación Terminal en Barrancabermeja (km 578,8 + 000), sistema de telecomunicaciones a lo largo del trazado, estaciones de lanzamiento y recepción de raspadores y válvulas de corte o seccionamiento, entre otras.

La capacidad máxima de transporte del gasoducto Ballena - Barrancabermeja es de 260 MSCFD²⁴, a condiciones de presión de 1,200 psig²⁵ en la estación Ballena (Campo Chuchupa) y 650 psig en Barrancabermeja.

²⁴ MSCFD: millones de pies cúbicos día

²⁵ PSIG: medida de presión. Libras por pulgada cuadrada galvanométricas.

Beneficia directamente a 33 poblaciones de los departamentos de La Guajira, Cesar, Magdalena y Santander.

- **Gasoducto Centro Oriente:**

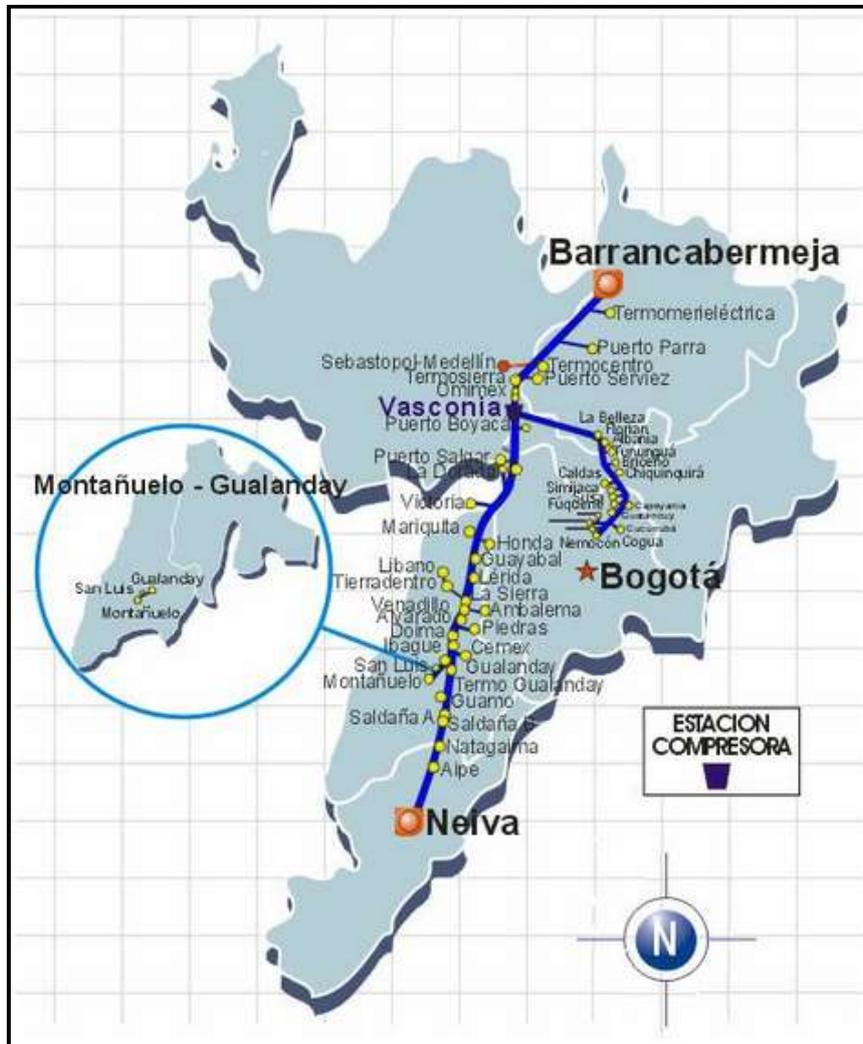


Figura 15. Mapa del Gasoducto Centro Oriente

Fuente: TGI S.A ESP

Los puntos de Entrada de Gas de este sistema son Cusiana, Barrancabermeja, ECOPETROL Dina, Rio Ceibas, Hocol y Toqui-toqui. Está conformado por los siguientes sectores:

- Barrancabermeja – Mariquita
- Mariquita – Gualanday
- Gualanday – Dina

- Montañuelo – Gualanday. Este sistema cuenta con 3 sectores, un primer tramo en 28.5 kilómetros de tubería de 6” hasta la reducción de 6” a 4”; un segundo tramo de 4 kilómetros en 4” desde la reducción de 6” a 4” hasta Chicoral y un tercer tramo de 6 kilómetros en tubería de 6” desde Chicoral hasta el Centro Operacional de Gualanday.
- Dina-Tello-Los Pinos
- Vasconia – Cogua
- Variante Puente Guillermo – Sucre Oriental, con longitud de 34.34 km en tubería de 20” de diámetro.

La extensión total del gasoducto es de 1005 kilómetros, en sus dos troncales principales: Barrancabermeja - Neiva (560.630 km), Vasconia - Cogua - Bogotá (208.7 km), Gasoducto Montañuelo - Gualanday de 37.4 Km, Dina - Tello - Los Pinos con 19.9 Km, Variante Puente Guillermo - Sucre Oriental con 34.34 Km.

- **Gasoducto Boyacá Santander:**



Figura 16. Mapa del Gasoducto Boyacá - Santander
Fuente: TGI S.A ESP

El Gasoducto de Boyacá y Santander fue asumido por TGI el 22 de Octubre de 2009. Se alimenta de Gas Cusiana por el Gasoducto Cusiana – La Belleza. Tiene una longitud aproximada de 308 km y suministra gas a 40 localidades de los municipios de Boyacá y Santander.

Cuenta con los siguientes gasoductos troncales:

- Troncal – Teatinos – Belencito: 10” de diámetro, 85km de longitud, cuenta con 4 válvulas de seccionamiento (Oicatá, Tuta, Duitama y Chicamocha) distribuidas a lo largo del gasoducto troncal.
- Troncales Samaná, Sora, Raquira, Villa de Leiva, Santa Sofía, Sáchica y Bolivar, con diámetro de 2” y longitudes entre 700 metros y 22 kilómetros.
- Troncal Otero – Santana: 8” de diámetro, 44 kilómetros de longitud, cuenta con una válvula de seccionamiento en Togüí.

- **Gasoducto Mariquita Cali:**



Figura 17. Mapa del Gasoducto Mariquita Cali
Fuente: TGI S.A ESP

La construcción y operación de este gasoducto fue adjudicada a la firma Transgas de Occidente S.A. por el sistema BOMT²⁶. Una vez este BOMT finalice (transferencia en el 2017) pasará a formar parte de la red de Gasoductos de TGI.

El Gasoducto Mariquita – Cali tiene un diámetro de 20”, y la extensión total es de 760 kilómetros, de los cuales 417 kilómetros corresponden a ramales y 343 kilómetros a la red troncal.

Actualmente cuenta con facilidades para atender el suministro de 48 municipios de los departamentos del Valle del Cauca, Quindío, Caldas, Risaralda, Tolima y

²⁶ BOMT: Build, Operate, Maintain, Transfer.

las térmicas Termovalle y Termoemcali. Su capacidad máxima de transporte es de 168 MSCFD.

- **Gasoducto Cusiana Apiay Bogotá:**



Figura 18. Mapa del Gasoducto Cusiana Apiay Bogotá
Fuente: TGI S.A ESP

Este Gasoducto satisface las necesidades de gas natural de las ciudades de Villavicencio y Bogotá Distrito Capital, las Termoeléctricas de Ocoa y Termosuria y varias poblaciones de los departamentos de Casanare, Meta y Cundinamarca. Se encuentra conformado por los siguientes sectores troncales:

- Cusiana – Apiay: Con una longitud de 149 kilómetros en tubería de 12” (65.9 kilómetros) y 10” (74.1 kilómetros) de diámetro.
- Apiay – Termocoá: Se localiza en el departamento del Meta con una longitud de 36.4 kilómetros en tubería de 6” de diámetro.
- Apiay – Usme: Con una longitud de 122 kilómetros en tubería de 6” de diámetro.
- Gasoducto del Ariari: Tiene una longitud de 60.1 kilómetros en 3” de diámetro.
- Morichal Yopal: Tiene una longitud de 13 kilómetros en 4” de diámetro.

- **Gasoducto Cusiana Porvenir La Belleza:**

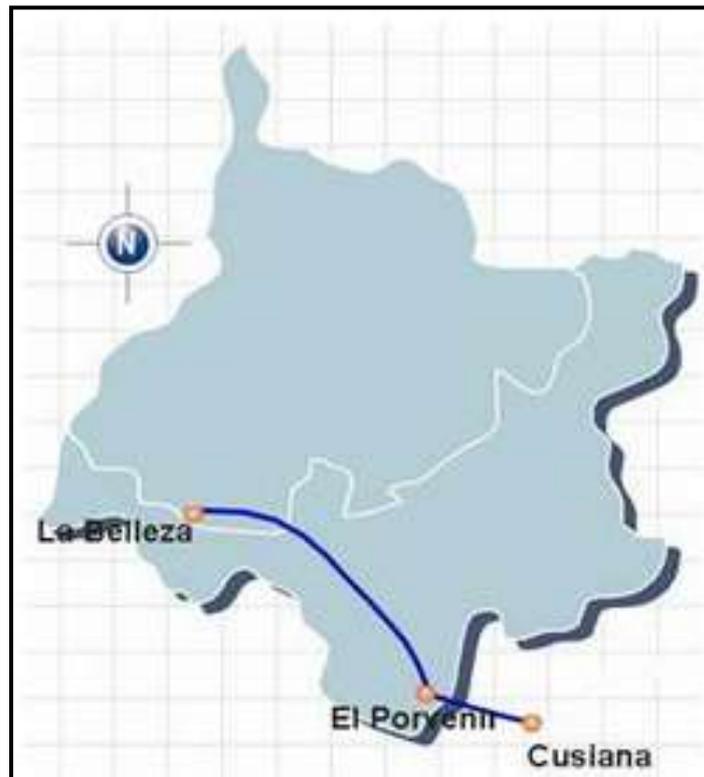


Figura 19. Mapa del Gasoducto Cusiana Porvenir La Belleza
Fuente: TGI S.A ESP

Este Gasoducto, se localiza en los departamentos de Casanare, Boyacá y Santander pasando por los municipios de Tauramena, Monterrey, Sabanalarga, Paez, Miraflores, Zetaquirá, Ramiriquí, Jenesano, Boyacá, Ventaquemada, Samacá, Sáchica, Villa de Leiva, Santa Sofía, Moniquirá, Puente Nacional, Albania, Jesús María, Florián y La Belleza. Tiene una longitud total de 222.98 Km. en tubería de 20 pulgadas de diámetro.

La capacidad máxima del gasoducto es de 390 MMSCFD²⁷. Actualmente es el principal centro de suministro de gas de la capital del país y de los ramales de Boyacá y Santander.

De otra parte, el sistema de transporte de TGI, cuenta con 12 estaciones compresoras con una potencia instalada total de 149.070 HP²⁸. La función de una estación compresora de gas es la de elevar la presión del fluido en la línea, con el fin de suministrarle la energía necesaria para su transporte.

En la estación el flujo inicia su recorrido por la línea de succión, pasando por equipos de subprocesos como:

²⁷ MMSCFD: Millones de pies cúbicos estándar por día, es una unidad de medida para líquidos y gases. Se utiliza comúnmente como una medida de gas natural, gas licuado de petróleo (GLP), gas natural comprimido (CNG) y otros gases que son extraídos, procesados o transportados en grandes cantidades.

²⁸ HP: Caballos de Potencia.

- El cromatógrafo, el cual registra algunos parámetros que miden la calidad del gas.
- El slug catcher²⁹ en el que se expande el gas, ayudando a separar los condensados.
- El filtro de succión o separador encargado de extraer impurezas sólidas.
- El medidor ultrasónico de flujo que registra y almacena datos de presión, temperatura, volumen y caudal.
- El higrómetro que muestra temperaturas de rocío.

El gas continúa su recorrido a los compresores, entrando a los "scrubbers" (tanques separadores de líquidos) de succión y de combustible, estos extraen aún más los líquidos del gas. Luego sigue a los cabezales de succión y entra al compresor. Finalmente, el gas a una mayor presión, sale por la línea de descarga de las compresoras. Para bajar su temperatura, el gas pasa a través de los enfriadores o "coolers" y después entra al filtro de descarga o coalescente, éste ayuda a separar los líquidos del gas y seguidamente hace registro en el medidor Ultrasónico de flujo de esta línea [19].

Toda estación cuenta también con un suministro de potencia para la puesta en marcha de los compresores; un motor por cada compresor, un ventilador para el sistema de enfriamiento, un sistema de válvulas intrínseco en el funcionamiento de los compresores que garantiza la presión de trabajo deseada, un pequeño compresor para el accionamiento de válvulas y toda la instrumentación necesaria para el control del proceso de compresión.

Además, dentro de la estación se cuentan con tanques de almacenamiento para los lubricantes y refrigerantes que son utilizados en los motores y para los condensados drenados en la operación. Éste último, con el propósito de proteger y conservar el entorno natural.

Las doce estaciones compresoras que actualmente posee TGI, corresponden a las de:

- Hatonuevo
- La Jagua del Pilar
- Curumani
- Casacará
- Norean
- San Alberto
- Barrancabermeja
- Vasconia
- Padua
- Marquita
- Puente Guillermo

²⁹ Slug Catcher: es el nombre de un equipo de separación en el gas de refinería o de la industria petrolera, en la que se separa el gas de los condensados, que son recogidos o capturados en la salida de las tuberías.

- Miraflores

Es así como, considerando la operatividad de la infraestructura de las empresas transportadoras, se tiene que dentro de la industria del Gas Natural, existen dos aspectos cruciales: la medición de los volúmenes de gas y el análisis de su calidad. Condiciones estas, que a la fecha se han tratado en forma independiente. Dado que estas actividades son complementarias, el Laboratorio Móvil, brindará una atención integral que garantizará una medición trazable, es decir, con incertidumbres apropiadas a estos procesos y un control de la calidad del gas natural que asegurará el cumplimiento de la regulación que al respecto ha emitido la CREG³⁰, permitiendo de esta forma el mantenimiento de la integridad de las redes de gasoductos, paralelo a la protección del usuario final.

Adicionalmente a la forma separada como se han venido desarrollando estos dos aspectos, se encuentra el relacionado con la estacionalidad que presentan los actuales laboratorios en materia de calibración de medidores de gas en Colombia. Es decir, se encuentran asentados en ciudades lejanas a la ubicación de los medidores, lo cual implica, que estos, deben ser desmontados para ser enviados a los sitios donde operan estos laboratorios, generando de esta forma problemas operacionales y logísticos, requiriendo la aplicación de acuerdos de medición.

Un acuerdo de Asignación es un documento escrito pactado mutuamente entre los agentes que comparten una misma City Gate³¹ de transferencia, mediante el cual se especifican los mecanismos de asignación de la medición de gas en dicha City Gate, para los días en que el medidor se encuentre fuera de línea.

El Laboratorio Móvil, contará como pilar fundamental, con la formación de personal especializado en materia de metrología física y analítica, quienes soportarán técnicamente el desarrollo y futura operación, tanto al interior de TGI como del propio Centro de Desarrollo Tecnológico – CDT del Gas. El desarrollo de este proyecto fortalecerá principalmente la infraestructura metrológica nacional, al servicio del país, incrementará el conocimiento y la experiencia del recurso humano de TGI S.A. ESP y de la Corporación CDT de Gas, permitirá el fortalecimiento de TGI S.A. ESP, en un factor estratégico y diferencial como lo es la capacidad tecnológica de garantizar la calidad y cantidad de gas suministrado, frente a otras empresas de talla internacional.

El Laboratorio Móvil, contará con las facilidades (equipos de alta tecnología) para realizar muestreos de gas natural y ejecutar análisis en sitio. Estos equipos, se instalarán en un vehículo especialmente acondicionado para operar como Laboratorio Móvil de metrología para calidad y volumen de gas natural, así como presión, temperatura y magnitudes eléctricas. Adicionalmente, el

³⁰ CREG: comisión Reguladora de Energía y Gas.

³¹ City Gate: es un punto para reducir la presión del gas natural; para reducirla se usan válvulas de control y reguladores. El City Gate es usualmente el punto donde se recibe el gas y donde la compañía de distribución local toma el control.

Laboratorio Móvil, tendrá unas condiciones diferentes de operación, toda vez que esta se dará entre 0 y 3000 m.s.n.m., con temperaturas desde los 10 hasta los 35 °C.

Contará también, con las herramientas y los materiales necesarios para el mantenimiento, evaluación, control y mejoramiento del Laboratorio Móvil, de tal forma que se garantice su aseguramiento metrológico permanente.

El desplazamiento del Laboratorio Móvil, implicará recorrer gran parte del país, (3.774 kilómetros de gasoductos), con unas condiciones topográficas muy variadas que incidirán de manera significativa en el desarrollo del presente proyecto. Adicionalmente, la identificación de los puntos o sitios hasta donde podrá acceder el Laboratorio Móvil, se constituirán en un aspecto importante, dada las condiciones inhóspitas de algunos sitios del territorio nacional por donde atraviesa la red de gasoductos de TGI.

Actualmente TGI S.A. ESP tiene doscientos cincuenta (250) sistemas de medición a lo largo de los 3.774 kilómetros de gasoductos de los cuales doscientos (200) representaran el marco sobre el cual, se hará la operación y mantenimiento por parte del Laboratorio Móvil a los medidores que se espera operar y mantener en sitio. Es importante establecer que si bien la operación y mantenimiento de estos medidores representan un costo importante dentro de la operación y mantenimiento de su infraestructura, lo es aún y en mayor importancia, el tiempo que demanda el mantenimiento de los mismos. Este proceso, implica un promedio de quince días, entre el desmonte, el embalaje, su transporte y el envío al respectivo laboratorio que efectuará el mantenimiento. Este tiempo es fundamental para TGI, por cuanto el laboratorio móvil, permitirá efectuar el mantenimiento en un máximo de dos días, representando así para TGI, una verdadera solución, frente a la transferencia de custodia y el aseguramiento de la calidad del gas natural.

4 MARCO LEGAL O REGULATORIO

La Transportadora de Gas Internacional - TGI S.A. E.S.P. es una empresa que presta el servicio de transporte de gas mediante una red de 3.774 kilómetros de gasoductos, que van desde La Guajira hasta el Valle del Cauca.

TGI S.A. ESP, es una empresa de servicios públicos, constituida como una sociedad anónima por acciones, conforme a las disposiciones de la ley 142 de 1994, con autonomía administrativa, patrimonial y presupuestal, y ejerce sus actividades dentro del ámbito del derecho privado como empresario mercantil. Tiene su domicilio principal en la ciudad de Bucaramanga, República de Colombia, y puede establecer, sucursales, agencias, oficinas o unidades seccionales u operativas en cualquier lugar del territorio colombiano o en el exterior para desarrollar las actividades propias de su objeto social.

4.1 Objeto Social de TGI

TGI S.A. ESP tiene por objeto la planeación, organización, diseño, construcción, expansión, ampliación, mantenimiento, operación y explotación comercial de los sistemas de transporte de gas natural propios y de los sistemas de Transporte de hidrocarburos en todas sus formas.

Considerando su objeto social, TGI es una empresa adscrita al Sector Hidrocarburos del Ministerio de Minas y Energía.

4.2 Estructura y Reglamentación de la Distribución de Gas Domiciliario en Colombia

En Colombia, la cadena de la industria del gas, consiste en el recorrido que debe tener este, desde el campo productor hasta el usuario final, es decir, en este proceso se evidencia más de un cambio de la custodia del gas.

Figura 20. Cadena de gas en Colombia, proceso de cambio de custodia

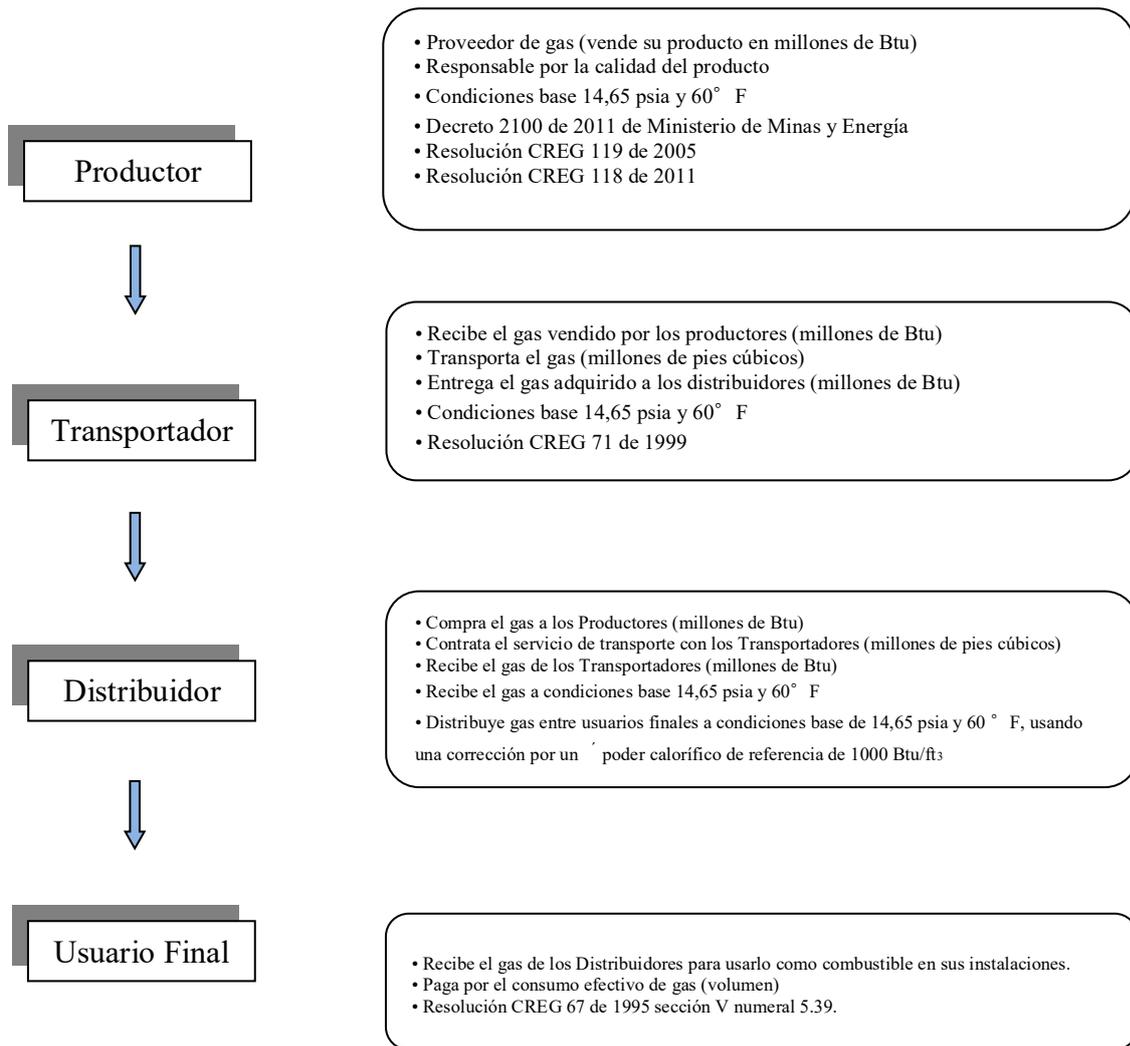
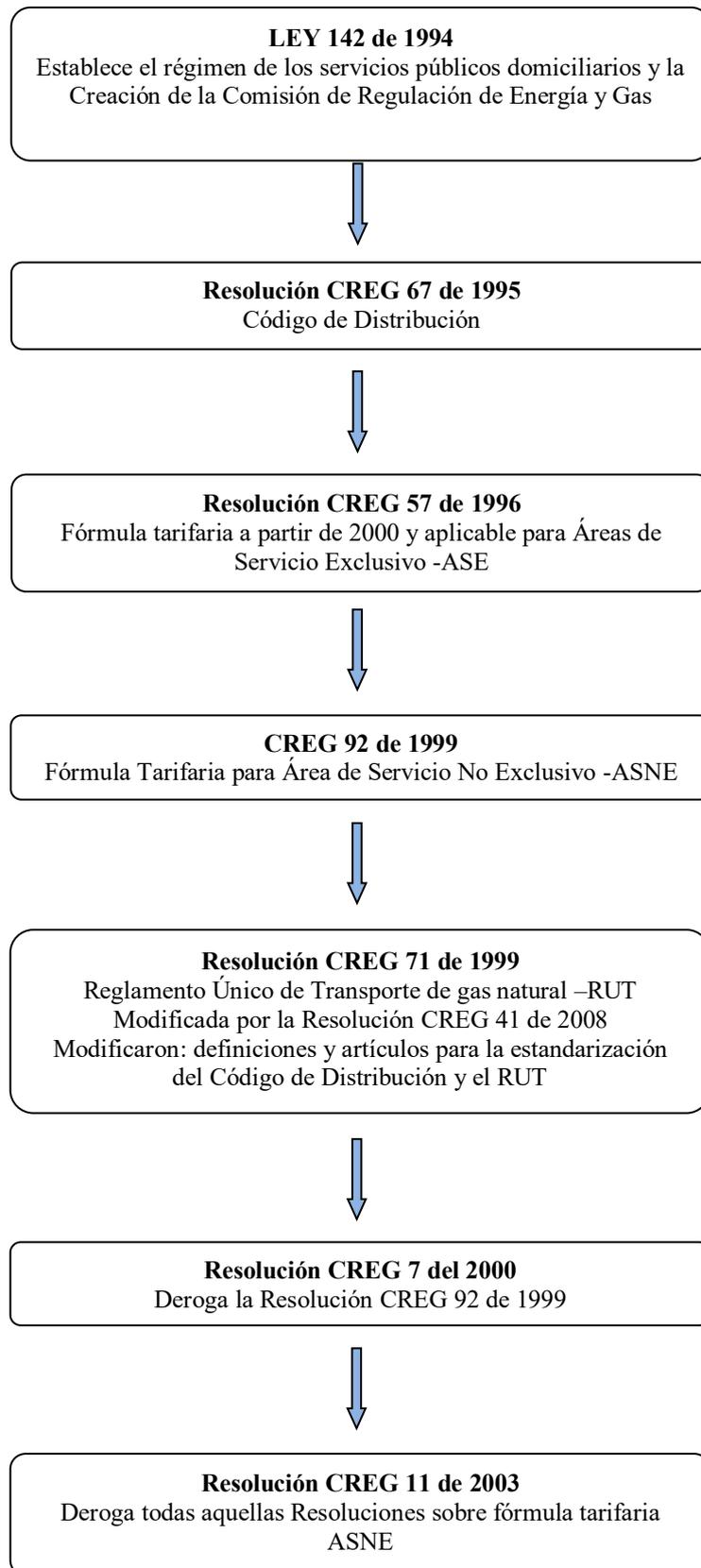


Figura 21. Esquema en la Evolución de la Reglamentación Nacional del Servicio de Gas



- **Ley 142 de 1994**

La Ley 142 del 11 de julio de 1994 representa el régimen de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado, aseo, energía eléctrica, distribución de gas combustible, telefonía pública básica conmutada y la telefonía local móvil en el sector rural [20]. Adicionalmente, tiene la facultad de intervenir las empresas de servicios públicos domiciliarios mediante las comisiones de regulación de agua potable y saneamiento básico, de energía y gas combustible y de telecomunicaciones.

- **Ley 401 de 1997**

La Ley 401 creó una entidad descentralizada del orden nacional, vinculada al Ministerio de Minas y Energía, con el carácter de Empresa Industrial y Comercial del Estado, con personería jurídica, autonomía administrativa, financiera y patrimonial, que se denominó Empresa Colombiana de Gas conocida con la sigla de ECOGAS [21].

Esta empresa tuvo como objeto la planeación, organización, ampliación, mantenimiento, operación y explotación comercial de los sistemas de transporte de gas natural propios. Además, podía explotar comercialmente la capacidad de los gasoductos de propiedad de terceros pagando una tarifa de disponibilidad o realizando acuerdos contractuales.

La Ley 401, también creó el Consejo Nacional de Operación de Gas Natural - CNO-, el cual tiene como función hacer recomendaciones para que la operación integrada del Sistema Nacional de Transporte de Gas Natural sea segura, confiable y económica.

- **Resolución CREG 67 de 1995**

La Resolución CREG 67 de 1995 establece el Código de Distribución de Gas Combustible por Redes, contiene los parámetros a cumplir para la prestación del servicio de distribución de gas natural aplicable a pequeños y grandes consumidores, distribuidores y comercializadores de gas combustible por redes [22].

El propósito del Código de Distribución es el de establecer los criterios de planeación de los sistemas de distribución de gas combustible por redes en condiciones de eficiencia y seguridad. Además, garantiza que los usuarios conectados a los sistemas de distribución tengan los mismos derechos y deberes y las mismas condiciones de calidad, confiabilidad, continuidad y seguridad en el servicio, manteniendo el principio de neutralidad.

De igual forma, propone los parámetros mínimos que las empresas deben seguir para la elaboración de contratos de condiciones uniformes exigidos por la Ley 142 de 1994 y los principios, derechos y deberes que rigen las relaciones entre los usuarios de los sistemas de distribución, los comercializadores y los distribuidores.

El Código de Distribución también reglamenta la expansión eficiente, económica y confiable de un sistema de distribución, mediante la fijación de las responsabilidades de los distribuidores y la elaboración de un programa dirigido a la expansión del sistema de distribución. Adicionalmente, garantiza el correcto funcionamiento de las conexiones existentes y las nuevas, velando porque éstas cumplan con las fronteras entre el distribuidor y el usuario, y la relación entre el distribuidor y el comercializador, cuando esto fuera necesario.

Por otra parte, la Resolución debe proporcionar las reglas mínimas que cubren los aspectos de operación de un sistema de distribución, aclarando la obligación de la elaboración de un plan de operación y mantenimiento, así como de atención de contingencias, coordinación de seguridad y pruebas de equipos.

Con respecto a los sistemas de medición, se establecen los procedimientos y requisitos de equipos e información necesaria tanto para la facturación del usuario del sistema de distribución, como para los demás fines pertinentes.

- **Resolución CREG 57 de 1996**

Esta Resolución establece la fórmula tarifaria para la remuneración del servicio público de gas combustible por red y para sus actividades complementarias para áreas de servicio exclusivo, la cual se aplica a todas las personas organizadas que comercialicen, transporten o distribuyan gas combustible por redes de tubería y grandes consumidores [23].

Ahora bien, en el caso concreto de TGI, como empresa Transportadora dentro de la cadena de la industria del Gas, la reglamentación aplicable al tema del presente proyecto, sería la Resolución CREG 71 de 1999.

- **Resolución CREG 71 de 1999**

La Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG, estableció en el año 1999, la Resolución CREG 71, en la cual se desarrollo un conjunto de políticas y requerimientos técnicos con relación al Sistema Nacional de Transporte de Gas, conocido como el Reglamento Único de Transporte (RUT). Este Reglamento tiene como objeto garantizar la no discriminación, al permitir el desarrollo abierto de mercados de suministro y transporte de gas. Establece igualmente, las condiciones e instrumentos para la operación eficiente, económica y confiable, estandarizando las normas y especificaciones de la calidad para la industria del Gas [24].

La Sección 5 de la Resolución, está relacionada con los temas de Medición y Facturación, describiendo las exigencias metrológicas que deben cumplir los sistemas de medición, relacionadas tanto con la medición de cantidades de volumen, como con la energía y la calidad del gas transportado; de igual forma, en la sección 6, establece los estándares y normas técnicas aplicables, así como los requisitos de calidad que debe cumplir el gas natural a ser transportado.

4.3 Medición de cantidades de energía y calidad del gas en estaciones de transferencia de custodia entre transportadores

Para determinar las Cantidades de Energía y la Calidad del Gas en Estaciones de Transferencia de Custodia entre Transportadores, el propietario de la Estación de Transferencia deberá disponer, a su costo, de todos los equipos en línea requeridos para medir las cantidades de energía y la calidad según lo dispuesto en el numeral 6.3 de la presente Resolución, o aquellas normas que lo modifiquen o adicionen, y será responsable de la operación y mantenimiento de los mismos. El Transportador no propietario de la Estación entre Transportadores será el responsable de la medición en línea para determinar la cantidad de energía y verificar la calidad de Gas.

5 ESTUDIO FINANCIERO

5.1 Evaluación Financiera con Proyecto

El presente capítulo corresponde al análisis financiero que se aplicó al proyecto, sobre el cual es importante conocer los siguientes antecedentes:

Como se ha señalado en capítulos anteriores, TGI, a lo largo de los 3.774 kilómetros de Gasoductos, tiene instalados, un total de 250 Sistemas de Medición, de los cuales 50, corresponden a medidores de gran diámetro que operan a alta presión, debido a que son medidores de un tamaño considerable y por lo tanto requieren un tratamiento especial para su operación y mantenimiento. La diferencia, es decir, los 200 medidores restantes, corresponden a medidores pequeños tipo Turbina, Rotativo y Diafragma, los cuales se convierten en el objeto de trabajo sobre el cual actuará el Laboratorio Móvil.

Estos 200 medidores representarán el mercado donde se centrará la atención del Laboratorio Móvil, los cuales son menores a 6" y operan generalmente a baja presión (inferior a 250 psig). Estos sistemas de medición no cuentan con un medidor de respaldo o inclusive carecen de by pass. Se espera atender un promedio de 50 medidores por año.

Sobre este punto es importante, establecer que de acuerdo a las especificaciones técnicas de fabricación, este tipo de medidores contará con un mantenimiento cada tres (3) años, sin embargo, se podrán presentar mantenimientos previos en aquellos casos en que se presenten fallas anticipadas o como medida preventiva.

De otra parte, es importante señalar que para el Diseño y Montaje del Laboratorio Móvil, no se consideró ningún tipo de financiamiento, no obstante para la realización de la evaluación financiera del proyecto se consideró la tasa preferencial de préstamo otorgada por parte de las entidades bancarias a la empresa TGI, la cual es del DTF más 2 puntos.

Otro aspecto a tener en cuenta, dentro de la evaluación del proyecto, es el relacionado con lo innovador del diseño y montaje del Laboratorio Móvil, toda vez que proyectos de este tipo, tienen un beneficio tributario, de acuerdo a lo establecido en el artículo 158 - 1 del Estatuto Tributario “DEDUCCIÓN POR INVERSIONES EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO”, el cual establece [25]:

“Las personas que realicen inversiones en proyectos calificados como de investigación y desarrollo tecnológico, según los criterios y las condiciones definidas por el Consejo Nacional de Beneficios Tributarios en Ciencia, Tecnología e Innovación tendrán derecho a deducir de su renta, el ciento setenta y cinco por ciento (175%) del valor invertido en dichos proyectos en el período gravable en que se realizó la inversión. Esta deducción no podrá exceder del cuarenta por ciento (40%) de la renta líquida, determinada antes de restar el valor de la inversión.”

Esta normatividad aplica para el presente proyecto y se toma como un ingreso en el año 0 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Ventas Estimadas, año 0).

- Ingresos del Proyecto

En lo que respecta a la proyección de los ingresos, **Tabla 11.** “Proyección de los Ingresos”, se trabajó sobre la información suministrada por TGI, en la cual se tomaron los diferentes procesos y precios que TGI aplica sobre sus sistemas de medición. Como se señaló anteriormente, el promedio de medidores por año sobre los cuales actuará el Laboratorio Móvil, corresponde a una cantidad de 50 sistemas de medición, dato este sobre el cual se trabajaron las proyecciones de los ingresos, los cuales se soportan en el siguiente cuadro:

Tabla 11. Proyección de los ingresos

Concepto	Valor Unitario	IVA	Total Unitario	Vr Total/Año
Calibración de medidor	2.600.000	416.000	3.016.000	150.800.000
Análisis cromatográfico	4.900.000	784.000	5.684.000	56.840.000
Toma Muestra Gas	3.200.000	512.000	3.712.000	37.120.000
Cromatografía	800.000	128.000	928.000	9.280.000
Análisis Contaminante	900.000	144.000	1.044.000	10.440.000
Calibración de presión	550.000	88.000	638.000	31.900.000
Calibración de Temperatura	650.000	104.000	754.000	37.700.000
Mantenimiento del medidor	1.400.000	224.000	1.624.000	81.200.000
Total Costos Unitarios	10.100.000	1.616.000	11.716.000	358.440.000

La proyección de los ingresos, contempla un IPC del 3% para los diez años contemplados del proyecto. Igualmente, para el año 0, se toma como ingreso

el beneficio tributario que establece la Ley para proyectos de innovación tecnológica.

Tabla 12. Ventas estimadas

Concepto	Años										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Beneficio tributario	485.044.560	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Calibración de medidor	0	145.000.000	149.350.000	153.830.500	158.445.415	163.198.777	168.094.741	173.137.583	178.331.710	183.681.662	189.192.112
Análisis cromatográfico	0	55.680.000	57.350.400	59.070.912	60.843.039	62.668.331	64.548.380	66.484.832	68.479.377	70.533.758	72.649.771
Calibración de presión	0	29.000.000	29.870.000	30.766.100	31.689.083	32.639.755	33.618.948	34.627.517	35.666.342	36.736.332	37.838.422
Calibración de Temperatura	0	34.800.000	35.844.000	36.919.320	38.026.900	39.167.707	40.342.738	41.553.020	42.799.611	44.083.599	45.406.107
Mantenimiento del medidor	0	75.400.000	77.662.000	79.991.860	82.391.616	84.863.364	87.409.265	90.031.543	92.732.489	95.514.464	98.379.898
Total de venta	485.044.560	339.880.000	350.076.400	360.578.692	371.396.053	382.537.934	394.014.072	405.834.495	418.009.529	430.549.815	443.466.310

Costos y Gastos del Proyecto: Al igual que la proyección de los Ingresos, la estimación y proyección de los costos y gastos, también se trabajó con una inflación del 3%, los cuales se especifican a continuación:

- **Materiales Directos:** Corresponden a los costos relacionados con el suministro de los materiales involucrados en la ejecución de los trabajos que se realizarán en el Laboratorio Móvil y tienen que ver con el mobiliario, herramientas, consumibles y conexiones de cromatografía y los gases (Helio, Hidrogeno, Aire sintético, Nitrógeno, etc.) requeridos dentro del trabajo del Laboratorio Móvil del Laboratorio Móvil.
- **Mano de Obra:** El personal que se tiene previsto para la operatividad del Laboratorio Móvil, será de 4 personas, las cuales están compuestas por un (1) Técnico I, un (1) Conductor y dos (2) Profesionales I. La siguiente tabla, establece las remuneraciones de cada cargo.

Tabla 13. Personal previsto para operatividad del Laboratorio Móvil

Cargo	No Cargos	Sueldo base
Tecnico I	1	3.200.000
Conductor	1	1.300.000
Profesional I	2	4.600.000
Totales		9.100.000

- **Restos de los Costos Indirectos de Fabricación:** Los costos operativos del proyecto, se muestran como constantes (más el IPC), no obstante, en la práctica, pueden o no corresponder a la realidad, considerando que el Laboratorio por ser nuevo, no presentará gastos importantes de mantenimiento, así como la publicidad o la promoción que se hará del mismo, será realmente mínima, teniendo en cuenta que el interés inicial de TGI, solo corresponde a satisfacer su propia demanda del servicio.

Costos Operativos: Corresponde a la disponibilidad del uso de equipos especializados del Laboratorio del CDT de Gas. El uso de estos equipos, será fuerte durante la etapa de desarrollo y construcción del Laboratorio Móvil. Una vez construido, su uso será mínimo y corresponderá al análisis eventual que pueda llegar a requerirse.

Dentro de la proyección de los costos, el año 0 es fuerte y los años siguientes, se contempla un valor mínimo de uso.

Imprevistos Operativos: El proyecto contempla unos imprevistos en la etapa de Construcción del Laboratorio Móvil, sin embargo, y teniendo en cuenta que el servicio que prestará el Laboratorio puede llegar a presentar inconvenientes; la proyección de los costos contemplan un valor mínimo de \$100,000 por mes (imprevistos menores), más un valor estimado de tres de

cada uno los procesos mensuales que se realizarán en el Laboratorio Móvil, en el evento en que el mismo no pueda desplazarse, bien sea por fallas mecánicas del vehículo o por condiciones meteorológicas que impidan que el vehículo llegue a la ubicación del equipo, por un valor de \$33,756,000 en el primer año. Este costo, se proyecta con IPC del 3% anual.

Material de Difusión y Promoción de Resultados: Corresponde a los costos asociados a la promulgación del inicio del proyecto y una vez construido, la publicidad será mínima, teniendo en cuenta que inicialmente será un proveedor para TGI, es decir, cubrirá las necesidades de la empresa.

Tabla 14. Costos estimados

Concepto	Años										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A. Materiales Directos											
Materiales e Insumos	100.000.000	20.000.000	20.600.000	21.218.000	21.854.540	22.510.176	23.185.481	23.881.046	24.597.477	25.335.402	26.095.464
Total Materiales Directos	100.000.000	20.000.000	20.600.000	21.218.000	21.854.540	22.510.176	23.185.481	23.881.046	24.597.477	25.335.402	26.095.464
B. Mano de Obra Directa											
Técnicos	0	4.874.560	5.020.797	5.171.421	5.326.563	5.486.360	5.650.951	5.820.480	5.995.094	6.174.947	6.360.195
Conductor	0	1.980.290	2.039.699	2.100.890	2.163.916	2.228.834	2.295.699	2.364.570	2.435.507	2.508.572	2.583.829
Profesional I (2Cargos)	0	7.007.180	7.217.395	7.433.917	7.656.935	7.886.643	8.123.242	8.366.939	8.617.948	8.876.486	9.142.781
Total Mano de Obra Directa	0	13.862.030	14.277.891	14.706.228	15.147.414	15.601.837	16.069.892	16.551.989	17.048.548	17.560.005	18.086.805
<u>Resto de CIF</u>											
Costos Operativos	35.000.000	2.000.000	2.060.000	2.121.800	2.185.454	2.251.018	2.318.548	2.388.105	2.459.748	2.533.540	2.609.546
Imprevistos Operativos ***	100.000.000	35.248.000	36.305.440	37.394.603	38.516.441	39.671.935	40.862.093	42.087.955	43.350.594	44.651.112	45.990.645
Material de Difusión y Promoción de Resultados	12.000.000	100.000	103.000	106.090	109.273	112.551	115.927	119.405	122.987	126.677	130.477
Total Resto CIF	147.000.000	37.348.000	38.468.440	39.622.493	40.811.168	42.035.503	43.296.568	44.595.465	45.933.329	47.311.329	48.730.669
Total Costos	247.000.000	71.210.030	73.346.331	75.546.721	77.813.122	80.147.516	82.551.942	85.028.500	87.579.355	90.206.735	92.912.938

Tabla 15. Gastos operativos estimados

Concepto	Años										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gastos											
Adecuación de Laboratorios y Planta Piloto	50.000.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bibliografía	16.264.000	100.000	103.000	106.090	109.273	112.551	115.927	119.405	122.987	126.677	130.477
Capacitación	90.000.000	2.000.000	2.060.000	2.121.800	2.185.454	2.251.018	2.318.548	2.388.105	2.459.748	2.533.540	2.609.546
Honorarios (Consultoría Especializada)	23.200.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Viajes	33.160.000	8.000.000	8.240.000	8.487.200	8.741.816	9.004.070	9.274.193	9.552.418	9.838.991	10.134.161	10.438.185
Pasantías	10.000.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Materiales y Suministros	0	1.000.000	1.030.000	1.060.900	1.092.727	1.125.509	1.159.274	1.194.052	1.229.874	1.266.770	1.304.773
Llantas	0	3.086.000	3.178.580	3.273.937	3.372.156	3.473.320	3.577.520	3.684.845	3.795.391	3.909.252	4.026.530
Combustibles	0	20.000.000	20.600.000	21.218.000	21.854.540	22.510.176	23.185.481	23.881.046	24.597.477	25.335.402	26.095.464
Mantenimiento Vehículo	0	1.000.000	1.030.000	1.060.900	1.092.727	1.125.509	1.159.274	1.194.052	1.229.874	1.266.770	1.304.773
Impuesto Vehículo	0	2.000.000	2.060.000	2.121.800	2.185.454	2.251.018	2.318.548	2.388.105	2.459.748	2.533.540	2.609.546
Servicio Público Telefonía Celular	0	1.200.000	1.236.000	1.273.080	1.311.272	1.350.611	1.391.129	1.432.863	1.475.849	1.520.124	1.565.728
Papelería	0	300.000	309.000	318.270	327.818	337.653	347.782	358.216	368.962	380.031	391.432
Comunicaciones y Transporte (Vigilancia Satelital)	0	1.800.000	1.854.000	1.909.620	1.966.909	2.025.916	2.086.693	2.149.294	2.213.773	2.280.186	2.348.592
Seguros	0	23.520.300	24.225.909	24.952.686	25.701.267	26.472.305	27.266.474	28.084.468	28.927.002	29.794.812	30.688.657
Caja Menor	0	6.000.000	6.180.000	6.365.400	6.556.362	6.753.053	6.955.644	7.164.314	7.379.243	7.600.620	7.828.639
Total Gastos Generales	222.624.000	70.006.300	72.106.489	74.269.684	76.497.774	78.792.707	81.156.489	83.591.183	86.098.919	88.681.886	91.342.343
Total Gastos Variables	222.624.000	11.400.000	11.742.000	12.094.260	12.457.088	12.830.800	13.215.724	13.612.196	14.020.562	14.441.179	14.874.414
Total Gastos Fijos	0	58.606.300	60.364.489	62.175.424	64.040.686	65.961.907	67.940.764	69.978.987	72.078.357	74.240.707	76.467.929
Depreciación		119.491.600	119.491.600	119.491.600	110.211.600	110.211.600	59.171.600	59.171.600	59.171.600	59.171.600	59.171.600
Amortización		108.800.000	108.800.000	108.800.000	108.800.000	108.800.000	108.800.000	108.800.000	108.800.000	108.800.000	108.800.000
Total Depreciación + Amortización	0	228.291.600	228.291.600	228.291.600	219.011.600	219.011.600	167.971.600	167.971.600	167.971.600	167.971.600	167.971.600

Tabla 16. Inversión fija del proyecto

Concepto	Valor
Maquinaria y Equipo	591.716.000
1. Multimetro patron Lab. CDT	4.960.000
2. Multiclibrador de señales eléctricas Lab. CDT	1.280.000
3. Generador Humedad y dew point Lab. CDT	5.440.000
4. RTD Patrón Lab. CDT	960.000
5. Bloqueo Seco Lab. CDT	4.640.000
6. Peso muerto (clase 0.1%, 10 - 2000 psig)	800.000
7. Peso muerto (clase 0.015%, 0.15 - 30 psig)	4.480.000
8. Sistema de navegación GPS Lab. Móvil	1.276.000
9. Sistema de Rastreo y control satelital Lab. Móvil	2.320.000
10. Soplador + variador de velocidad + resistencia de cambio Lab. Móvil	13.920.000
11. Bombas para generación de presión	9.280.000
12. Sistema de muestreo portátil con regulación. Lab Móvil	5.800.000
13. Cilindros de Muestreo. Lab Móvil	17.400.000
14. Elementos de Control Automático (válvulas proporcionales). Lab Móvil	24.360.000
15. Medidores de Volúmen Lab Móvil	35.960.000
16. Supertermómetro + RTD Lab. Móvil	8.120.000
17. Bloqueo Seco Lab. Móvil	12.760.000
18. Peso Muerto Lab. Móvil	5.800.000
19. Patrón de Presión (celdas 15, 100, 500 y 3000 psi) Lab Móvil	16.240.000
20. Multicalibrador de señales eléctricas Lab. Móvil	9.280.000
21. Probador de Continuidad Lab Móvil	3.828.000
22. UPS Lab Móvil	5.800.000
23. Cromatografo de Gases Lab. Móvil	149.640.000
24. Sistema de Adquisición de datos y control Lab. Móvil	17.400.000
25. Instrumentación Lab. Móvil	34.800.000
26. Medidor de Resistencia de Tierra Lab. Móvil	4.292.000
27. Multimetro Lab. Móvil	1.972.000
28. Osciloscopio Lab. Móvil	6.380.000
29. Detector de Gases - Combustible Lab. Móvil	3.828.000
30. Sales de Referencia de Humedad Lab. Móvil	8.700.000
31. Medidor de Humedad Portátil Lab. Móvil	29.000.000
32. Multimetro Patrón Lab. CDT	31.000.000
33. Multicalibrador de señales eléctricas Lab. CDT	8.000.000
34. Generador de humedad y dew point Lab. CDT	34.000.000
35. RTD Patrón Lab. CDT	6.000.000
36. Bloqueo Seco Lab. CDT	29.000.000
37. Peso muerto (clase 0.1%, 10 - 2000 psig) Lab. CDT	5.000.000
38. Peso muerto (clase 0.015%, 0.15 - 30 psig) Lab. CDT	28.000.000
Vehículo (Acondicionado para Laboratorio Móvil)	255.200.000
13. Vehículo acondicionado como laboratorio móvil	255.200.000
Software	24.860.000
Software PC del Lab. Móvil	15.000.000
Software manejo base de datos	5.800.000
OPTO 22	4.060.000
Total Inversión Fija	871.776.000

Tabla 17. Inversión pre operativa del proyecto

Concepto	Valor
Capacitación	90.000.000
<i>Calidad del Gas</i>	<i>80.000.000</i>
<i>Maestría</i>	<i>10.000.000</i>
Personal científico	877.200.000
Servicios tecnológicos	120.800.000
<i>Banco Calibración de Medidores</i>	<i>69.600.000</i>
<i>Banco de Calidad de Gas</i>	<i>51.200.000</i>
Patentes	0
Gastos de Registro y Notariales	0
Total Inversión Preoperativa	1.088.000.000

Tabla 18. Inversión capital de trabajo proyecto

Concepto	Año 1												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Entradas de efectivo													
<i>Recaudo Ventas</i>	0	28.323.333	28.323.333	28.323.333	28.323.333	28.323.333	28.323.333	28.323.333	28.323.333	28.323.333	28.323.333	28.323.333	28.323.333
<i>Beneficio Fiscal</i>	485.044.560	485.044.560											
Total Entradas	485.044.560	513.367.893	28.323.333										
Salidas de efectivo													
<i>Pago Nómina</i>	0	9.100.000	9.100.000	9.100.000	9.100.000	9.100.000	9.100.000	9.100.000	9.100.000	9.100.000	9.100.000	9.100.000	9.100.000
<i>Prestaciones Sociales</i>	0	136.500	0	0	0	0	379.015	136.500	0	0	0	0	379.015
<i>Aportes Patronales</i>	0	0	819.000	819.000	819.000	819.000	819.000	819.000	819.000	819.000	819.000	819.000	819.000
<i>Seguridad Social</i>	0	0	1.683.500	1.683.500	1.683.500	1.683.500	1.683.500	1.683.500	1.683.500	1.683.500	1.683.500	1.683.500	1.683.500
<i>Papelería</i>	0	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000
<i>Combustible</i>	0	2.500.000	2.500.000	2.500.000	2.500.000	2.500.000	2.500.000	2.500.000	2.500.000	2.500.000	2.500.000	2.500.000	2.500.000
<i>Materiales y Suministros</i>	0	83.333	83.333	83.333	83.333	83.333	83.333	83.333	83.333	83.333	83.333	83.333	83.333
<i>Servicios de Telefonía Celular</i>	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
<i>Viáticos</i>	0	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000
<i>satelital)</i>	0	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000
<i>Caja menor</i>	0	500.000	500.000	500.000	500.000	500.000	500.000	500.000	500.000	500.000	500.000	500.000	500.000
<i>Seguros</i>	0	833.333	833.333	833.333	833.333	833.333	833.333	833.333	833.333	833.333	833.333	833.333	833.333
Total salidas/Mes	0	14.328.167	16.794.167	16.794.167	16.794.167	16.794.167	17.173.182	16.930.667	16.794.167	16.794.167	16.794.167	16.794.167	17.173.182
Diferencia/Mes		499.039.727	11.529.167	11.529.167	11.529.167	11.529.167	11.150.152	11.392.667	11.529.167	11.529.167	11.529.167	11.529.167	11.150.152
Diferencia/ acumulada		499.039.727	510.568.893	522.098.060	533.627.227	545.156.393	556.306.545	567.699.212	579.228.378	590.757.545	602.286.712	613.815.878	624.966.030

Tabla 19. Inversión Total

Concepto	Valor	Beneficio Fiscal >	Mayor Caja
Inversión Fija	871.776.000	653.832.000	215.764.560
Inversión Preoperativa	1.088.000.000	816.000.000	269.280.000
Inversión Capital de Trabajo	0		
Total Inversión	1.959.776.000	Beneficio total	485.044.560

Tabla 20. Criterios para la definición del plazo para la evaluación del proyecto (n)

Criterios para la Definición del Plazo para la Evaluación del Proyecto (n)

Considerando que no existe endeudamiento bancario, y que la inversión fija del proyecto es la más alta y en su mayoría corresponde a maquinaria y equipos, los cuales se renovaran al final de su vida útil (estimada en máximo 10 años), el plazo que se le dará a la evaluación del proyecto será de 10 años

Resumen Inversión	Años	Total Inversión
Maquinaria y Equipo	10	591.716.000
Muebles y Enseres	5	0
Vehículos	5	255.200.000
Equipo de Computo	3	27.840.000

Tabla 21. Tasa de descuento del proyecto

Tasa de Descuento del Proyecto	
Inversión Total	2.584.742.030
Financiación Bancaria	0
Financiación del Inversionista	2.584.742.030
i bancaria (DTF)	5,5%
Prima de Riesgo	5%
Rentabilidad Esperada	10,50%
WACC	10,50%

Tabla 22. Valor de desecho del proyecto (método contable)

Concepto	Costo de adquisición	Vida útil	Depreciación Anual	Depreciación Acumulada	Valor en libros
Maquinaria y Equipo	591.716.000	10	59.171.600	591.716.000	0
Vehículo (Acondicionado para Laboratorio Móvil)	255.200.000	5	51.040.000	255.200.000	0
Software	0	3			
Total Inversión Fija	846.916.000		110.211.600	846.916.000	0

Tabla 23. Valor de desecho del proyecto (método comercial)

Método Comercial	
	1.299.557.257
Inflación a 31 de Diciembre 2011	3,73%
Inflación más 3 Puntos	6,73%
Concepto	Valor
Maquinaria y Equipo	59.171.600
Vehículo (Acondicionado para Laboratorio Móvil)	51.040.000
Laboratorio Móvil	1.624.446.572
Valor Estimado en Venta	1.624.446.572
Valor en Libros	0
Utilidad en Venta	1.624.446.572
Impuesto a Pagar (20% Ganancias Ocasiones)	324.889.314
Valor de Desecho (Inversión Fija)	1.299.557.257

Tabla 24. CAPEX

Equipos	Valor
1. PC portatil Lab. CDT	640.000
2.PCs Escritorio Lab. CDT	1.280.000
3. PCs escritorio Lab. CDT	960.000
4. Multímetro patron Lab. CDT	4.960.000
5. Multiclibrador de señales eléctricas Lab. CDT	1.280.000
6. Generador Humedad y dew point Lab. CDT	5.440.000
7. RTD Patrón Lab. CDT	960.000
8. Bloqueo Seco Lab. CDT	4.640.000
9. Peso muerto (clase 0.1%, 10 - 2000 psig)	800.000
10. Peso muerto (clase 0.015%, 0.15 - 30 psig)	4.480.000
11. Sistema de navegación GPS Lab. Móvil	1.276.000
12. Sistema de Rastreo y control satelital Lab. Móvil	2.320.000
13. Vehículo acondicionado como laboratorio móvil	255.200.000
14. Soplador + variador de velocidad + resistencia de cambio Lab. Móvil	13.920.000
15. Bombas para generación de presión	9.280.000
16. Sistema de muestreo portátil con regulación. Lab Móvil	5.800.000
17. Cilindros de Muestreo. Lab Móvil	17.400.000
18. Elementos de Control Automático (válvulas proporcionales). Lab Móvil	24.360.000
19. UPS Lab Móvil	5.800.000
20. PCs portátiles Lab. Móvil	6.960.000
21. Medidores de Volúmen Lab Móvil	35.960.000
22. Supertermómetro + RTD Lab. Móvil	8.120.000
23. Bloqueo Seco Lab. Móvil	12.760.000
24. Peso Muerto Lab. Móvil	5.800.000
25. Patrón de Presión (celdas 15, 100, 500 y 3000 psi) Lab Móvil	16.240.000
26. Multicalibrador de señales eléctricas Lab. Móvil	9.280.000
27. Probador de Continuidad Lab Móvil	3.828.000
28. Cromatografo de Gases Lab. Móvil	149.640.000
29. Sistema de Adquisición de datos y control Lab. Móvil	17.400.000
30. Instrumentación Lab. Móvil	34.800.000
31. Medidor de Resistencia de Tierra Lab. Móvil	4.292.000
32. Multímetro Lab. Móvil	1.972.000
33. Osciloscopio Lab. Móvil	6.380.000
34. Detector de Gases - Combustible Lab. Móvil	3.828.000
35. Sales de Referencia de Humedad Lab. Móvil	8.700.000
36. Medidor de Humedad Portátil Lab. Móvil	29.000.000
37. PC portátil altas prestaciones Lab. CDT	4.000.000
38. PCs de Escritorio Lab. CDT	8.000.000
39. PCs de escritorio Lab. CDT	6.000.000
40. Multímetro Patrón Lab. CDT	31.000.000
41. Multicalibrador de señales eléctricas Lab. CDT	8.000.000
42. Generador de humedad y dew point Lab. CDT	34.000.000
43. RTD Patrón Lab. CDT	6.000.000
44. Bloqueo Seco Lab. CDT	29.000.000
45. Peso muerto (clase 0.1%, 10 - 2000 psig) Lab. CDT	5.000.000
46. Peso muerto (clase 0.015%, 0.15 - 30 psig) Lab. CDT	28.000.000
Total Equipos (CAPEX)	874.756.000

Tabla 25. Resumen de la inversión

Resumen Inversión	Años	Total Inversión	Depreciación Anual
Maquinaria y Equipo	10	591.716.000	59.171.600
Muebles y Enseres	5	0	
Vehículos	5	255.200.000	51.040.000
Equipo de Computo	3	27.840.000	9.280.000

Tabla 26. Depreciación de maquinaria y equipos

DEPRECIACIÓN MAQUINARIA Y EQUIPO		
Periodo	Depreciación Acumulada	Vr Libros
1	59.171.600	532.544.400
2	118.343.200	473.372.800
3	177.514.800	414.201.200
4	236.686.400	355.029.600
5	295.858.000	295.858.000
6	355.029.600	236.686.400
7	414.201.200	177.514.800
8	473.372.800	118.343.200
9	532.544.400	59.171.600
10	591.716.000	0

Tabla 27. Depreciación del vehículo

DEPRECIACIÓN VEHÍCULO		
Periodo	Depreciación Acumulada	Vr Libros
1	51.040.000	204.160.000
2	102.080.000	153.120.000
3	153.120.000	102.080.000
4	204.160.000	51.040.000
5	255.200.000	0

Tabla 28. Depreciación de equipos de computo

DEPRECIACIÓN EQUIPO DE COMPUTO		
Periodo	Depreciación Acumulada	Vr Libros
1	9.280.000	18.560.000
2	18.560.000	9.280.000
3	27.840.000	0

Tabla 29. Depreciación acumulada y valor en libros

TOTAL DEPRECIACIÓN		
Periodo	Depreciación Acumulada	Vr Libros
1	119.491.600	755.264.400
2	238.983.200	635.772.800
3	358.474.800	516.281.200
4	468.686.400	406.069.600
5	578.898.000	295.858.000
6	638.069.600	236.686.400
7	697.241.200	177.514.800
8	756.412.800	118.343.200
9	815.584.400	59.171.600
10	874.756.000	0

Tabla 30. Flujo de caja con proyecto

Concepto	FLUJO DE CAJA DEL INVERSIONISTA										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos											
1 Ingresos por servicios	485.044.560	358.440.000	369.193.200	380.268.996	391.677.066	403.427.378	415.530.199	427.996.105	440.835.988	454.061.068	467.682.900
2 Venta de Activo											1.624.446.572
3 Total Ingresos	485.044.560	358.440.000	369.193.200	380.268.996	391.677.066	403.427.378	415.530.199	427.996.105	440.835.988	454.061.068	2.092.129.472
Egresos											
4 Costos y Gastos Variables	434.624.000	66.748.000	68.750.440	70.812.953	72.937.342	75.125.462	77.379.226	79.700.603	82.091.621	84.554.369	87.091.000
5 Costos y Gastos Fijos	35.000.000	74.468.330	76.702.380	79.003.451	81.373.555	83.814.761	86.329.204	88.919.080	91.586.653	94.334.252	97.164.280
6 Depreciacion y Amortizacion	0	228.291.600	228.291.600	228.291.600	219.011.600	219.011.600	167.971.600	167.971.600	167.971.600	167.971.600	167.971.600
7 Valor en Libros Activos Vendidos											0
8 Total Egresos (4)+(5)+(6)+(7)	469.624.000	369.507.930	373.744.420	378.108.004	373.322.497	377.951.824	331.680.030	336.591.283	341.649.874	346.860.222	352.226.881
9 Utilidad Operativa (U.A.I.I.) (3)-(8)	15.420.560	-11.067.930	-4.551.220	2.160.992	18.354.569	25.475.554	83.850.169	91.404.822	99.186.115	107.200.846	1.739.902.591
10 (-) Pago de Intereses Prestamo bancario	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11 Utilidad Antes de Impuestos (U.A.I.) (9)-(10)	15.420.560	-11.067.930	-4.551.220	2.160.992	18.354.569	25.475.554	83.850.169	91.404.822	99.186.115	107.200.846	1.739.902.591
12 (-) Impuesto Renta		-3.652.417	-1.501.903	713.127	6.057.008	8.406.933	27.670.556	30.163.591	32.731.418	35.376.279	574.167.855
13 Utilidad Neta (11)-(12)	15.420.560	-7.415.513	-3.049.317	1.447.864	12.297.561	17.068.621	56.179.613	61.241.231	66.454.697	71.824.567	1.165.734.736
Ajustes Contables											
14 (+) Depreciaciones y Amortizacion (6)	0	228.291.600	228.291.600	228.291.600	219.011.600	219.011.600	167.971.600	167.971.600	167.971.600	167.971.600	167.971.600
15 (+) Valor en Libros Activos Vendidos (7)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16 (-) Inversiones											
17 Maquinaria y equipo	-591.716.000										
18 Vehículos	-255.200.000										
19 Capital de Trabajo	0										
20 Software	-24.860.000										
21 Gastos Preoperativos	-1.088.000.000										
22 Total Inversiones (17)+(18)+...+(21)	-1.959.776.000										
23 (+) Ingresos por Recursos de Creditos											
24 (+) Recuperacion de Capital de Trabajo	0										
25 (+) Valor de Desecho por Ventas de Activos											1.299.557.257
26 (-) abono a capital prestamo											
Flujo Neto de Caja											
(13)+(14)+(15)+(22)+(23)+(24)+(35)-(26)	-1.944.355.440	220.876.087	225.242.283	229.739.464	231.309.161	236.080.221	224.151.213	229.212.831	234.426.297	239.796.167	2.633.263.594
VALOR PRESENTE NETO	63.127.222										
TIR	13,05%										

Valor presente neto = 63,127,222

Tasa interna de retorno= 13,05%

5.2 Evaluación Financiera sin Proyecto

Así las cosas, las proyecciones financieras de TGI, sin llevar a cabo el proyecto de Desarrollo e Implementación del Laboratorio Móvil, serían las siguientes:

Tabla 31. Ventas estimadas sin Proyecto

VENTAS ESTIMADAS

Concepto	Años										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Total Vtas Sin I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 32. Costos estimados sin Proyecto

Concepto	Años										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A. Mantenimientos											
Mantenimientos	0	358.440.000	369.193.200	380.268.996	391.677.066	403.427.378	415.530.199	427.996.105	440.835.988	454.061.068	467.682.900
Total Materiales Directos	0	358.440.000	369.193.200	380.268.996	391.677.066	403.427.378	415.530.199	427.996.105	440.835.988	454.061.068	467.682.900
B. Mano de Obra Directa											
Asesor Medición	0	3.625.454	3.734.218	3.846.244	3.961.631	4.080.480	4.202.895	4.328.982	4.458.851	4.592.617	4.730.395
Asesor Especialista Medición	0	3.975.813	4.095.087	4.217.940	4.344.478	4.474.813	4.609.057	4.747.329	4.889.749	5.036.441	5.187.534
Vacante	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Mano de Obra Directa	0	7.601.267	7.829.305	8.064.184	8.306.110	8.555.293	8.811.952	9.076.310	9.348.600	9.629.058	9.917.929
Resto de CIF											
Costos Embalaje y Transporte Sist	0	5.000.000	5.150.000	5.304.500	5.463.635	5.627.544	5.796.370	5.970.261	6.149.369	6.333.850	6.523.866
Viáticos y Gastos Viaje Personal T	0	1.500.000	1.545.000	1.591.350	1.639.091	1.688.263	1.738.911	1.791.078	1.844.811	1.900.155	1.957.160
Material de Difusión y Promoción de Resultados	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Resto CIF	0	6.500.000	6.695.000	6.895.850	7.102.726	7.315.807	7.535.281	7.761.340	7.994.180	8.234.006	8.481.026
Total Costos	0	372.541.267	383.717.505	395.229.030	407.085.901	419.298.478	431.877.432	444.833.755	458.178.768	471.924.131	486.081.855
Total Costos Variables	0	364.940.000	375.888.200	387.164.846	398.779.791	410.743.185	423.065.481	435.757.445	448.830.168	462.295.074	476.163.926
Total Costos Fijos	0	7.601.267	7.829.305	8.064.184	8.306.110	8.555.293	8.811.952	9.076.310	9.348.600	9.629.058	9.917.929

Tabla 33. Flujo de caja sin Proyecto

FLUJO DE CAJA DEL INVERSIONISTA											
Concepto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos											
1 Ingresos por servicios	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 Venta de Activo											
3 Total Ingresos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Egresos											
4 Costos y Gastos Variables	0	364.940.000	375.888.200	387.164.846	398.779.791	410.743.185	423.065.481	435.757.445	448.830.168	462.295.074	476.163.926
5 Costos y Gastos Fijos	0	7.601.267	7.829.305	8.064.184	8.306.110	8.555.293	8.811.952	9.076.310	9.348.600	9.629.058	9.917.929
6 Depreciacion y Amortizacion	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 Valor en Libros Activos Vendidos											0
8 Total Egresos (4)+(5)+(6)+(7)	0	372.541.267	383.717.505	395.229.030	407.085.901	419.298.478	431.877.432	444.833.755	458.178.768	471.924.131	486.081.855
9 Utilidad Operativa (U.A.I.I.) (3)-(8)	0	-372.541.267	-383.717.505	-395.229.030	-407.085.901	-419.298.478	-431.877.432	-444.833.755	-458.178.768	-471.924.131	-486.081.855
10 (-) Pago de Intereses Prestamo bancario	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11 Utilidad Antes de Impuestos (U.A.I.) (9)-(10)	0	-372.541.267	-383.717.505	-395.229.030	-407.085.901	-419.298.478	-431.877.432	-444.833.755	-458.178.768	-471.924.131	-486.081.855
12 (-) Impuesto Renta		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13 Utilidad Neta (11)-(12)	0	-372.541.267	-383.717.505	-395.229.030	-407.085.901	-419.298.478	-431.877.432	-444.833.755	-458.178.768	-471.924.131	-486.081.855
Ajustes Contables											
14 (+) Depreciaciones y Amortizacion (6)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15 (+) Valor en Libros Activos Vendidos (7)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16 (-) Inversiones											
17 Maquinaria y equipo	0										
18 Vehículos	0										
19 Capital de Trabajo	0										
20 Software	0										
21 Gastos Preoperativos	0										
22 Total Inversiones (17)+(18)+...+(21)	0										
23 (+) Ingresos por Recursos de Creditos											
24 (+) Recuperacion de Capital de Trabajo	0										
25 (+) Valor de Desecho por Ventas de Activos											0
26 (-) abono a capital prestamo											
Flujo Neto de Caja	0	-372.541.267	-383.717.505	-395.229.030	-407.085.901	-419.298.478	-431.877.432	-444.833.755	-458.178.768	-471.924.131	-486.081.855
(13)+(14)+(15)+(22)+(23)+(24)+(35)-(26)	0	-372.541.267	-383.717.505	-395.229.030	-407.085.901	-419.298.478	-431.877.432	-444.833.755	-458.178.768	-471.924.131	-486.081.855

El Flujo de Caja Acumulado de la empresa con y sin inversión se observa en la **Figura 22**. Tal como se muestra, hay una disminución en el flujo de caja de TGI.

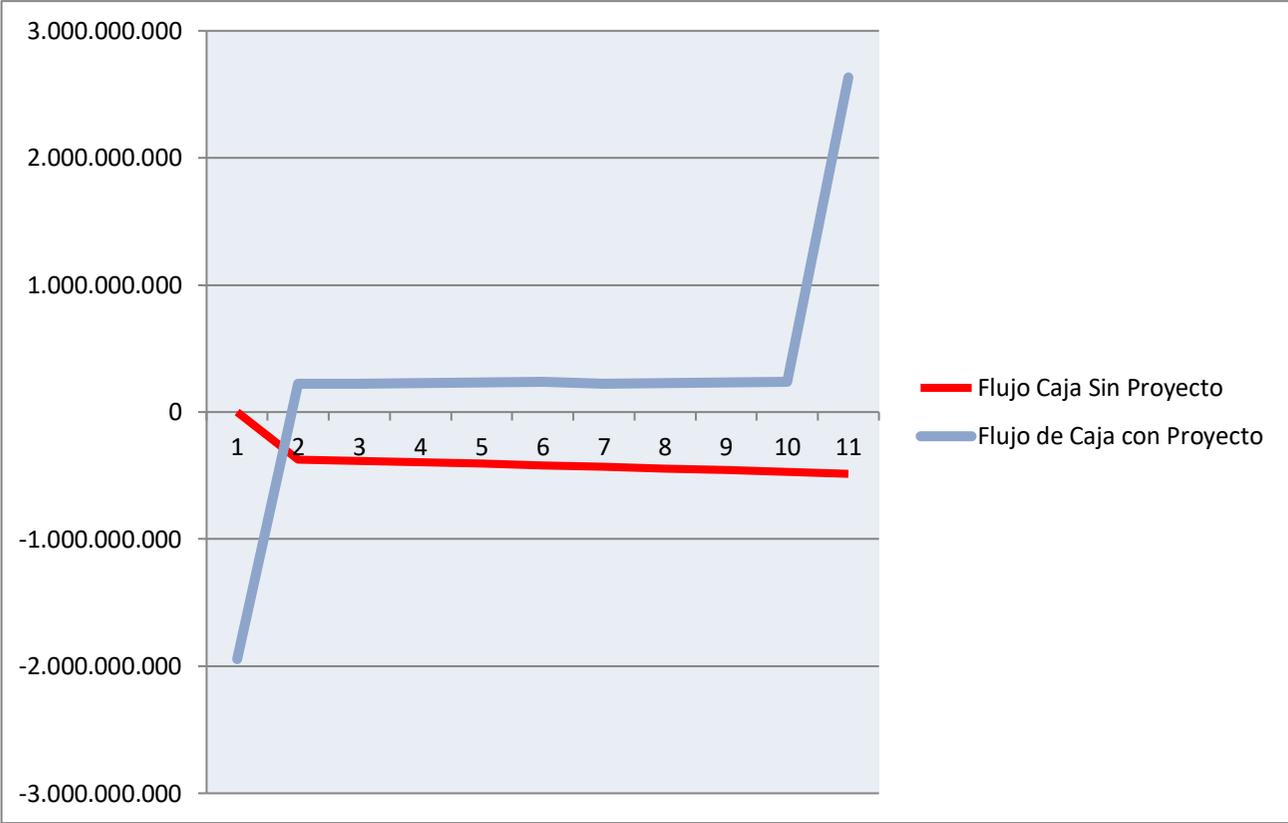


Figura 22. Flujo de caja sin proyecto vs Flujo de caja con proyecto

6 CONCLUSIONES

Como conclusión de la evaluación financiera del proyecto, se tiene, que este es altamente viable desde el punto de vista financiero, con una rentabilidad del 13,05% y una recuperación del 100% de la inversión al final de los 10 años.

No obstante, el mayor beneficio del proyecto, lo constituye:

- Lo innovador, lo cual le permite a TGI tener un conocimiento más profundo y permanente de sus sistemas de medición.
- Reducción en las paradas de sus sistemas, lo cual se traduce en mayores ingresos por Transporte de Gas.
- La no dependencia de terceros para la programación de los trabajos de medición.
- La oportunidad en la realización de los trabajos.
- La apertura de nuevos ingresos producto del servicio que a futuro puede prestar a empresas del sector de hidrocarburos

Desde el punto de vista económico, este proyecto tendría unos beneficios para el país, si se considera:

- Sería la primera herramienta de este tipo, generando de esta forma un modelo tecnológico a seguir para la industria del gas en el mundo. Incluso se puede pensar en patentar la herramienta para construir nuevos laboratorios y comercializarlos a nivel nacional y de exportación.
- Apertura de nuevos mercados para la empresa y para los proveedores de los instrumentos y partes que se requieren dentro de la construcción del laboratorio, así como de los profesionales que conocen su funcionamiento. Dentro de este punto es importante considerar que aunque el principal objeto del desarrollo y aplicación de M3Tlab radica en el aseguramiento metrológico de los sistemas de medición de GN a pequeñas poblaciones y empresas con vulnerabilidad metrológica. Se tiene previsto su aprovechamiento para el desarrollo de estudios sobre el desempeño de calibraciones y ensayos In-situ, la formación de personal técnico (metrólogos) y la difusión de los beneficios de la metrología en la industria, dadas las facilidades de traslado, emplazamiento y operación bajo amplias condiciones ambientales.

En el corto plazo se desarrollara una etapa pre-operativa en la cual se continuara la evaluación y el mejoramiento de los parámetros de desempeño metrológico de M3Tlab y se obtendrá la experiencia que permita iniciar procesos de comparación interlaboratorio para soportar las CMC declaradas y posteriormente solicitar la acreditación según los lineamiento de la norma ISO/IEC 17025.

En lo que respecta a las conclusiones desde el punto de vista técnico, se tiene que:

- Se confirmó mediante las pruebas FAT y SAT, el desempeño previsto para las facilidades y equipos que fueron desarrollados o adquiridos y posteriormente integrados para brindar a M3Tlab la capacidad de operar in-situ con capacidades similares a las que poseen los laboratorios de metrología estacionarios.
- Se demostró la eficacia de la suspensión acondicionada y los sistemas antivibratorios instalados para reducir: 1) el impacto durante el traslado del VALM y 2) las vibraciones causadas por las facilidades (generador eléctrico, aire acondicionado y compresores).
- Los resultados obtenidos sobre el desempeño metrológico de los procedimientos, y equipos de calibración y medición integrados en M3Tlab, que fueron evaluados durante las pruebas FAT y SAT, permitieron confirmar el cumplimiento de los requisitos metrológicos previstos como alcance del Laboratorio Móvil
- Las pruebas de desempeño descritas en la Monografía corresponden a las más representativas, inicialmente ejecutadas para validar el desarrollo obtenido. Sin embargo, un gran número de pruebas de diversa índole funcional y metrológica fueron ejecutadas con resultados exitosos, pero debido a su extensión, serán descritas en detalle y de manera individual en otras oportunidades.
- Es importante señalar que para finales del año 2013 se va a dar inicio a la operación y puesta en marcha del laboratorio móvil, al estar en su fase inicial, se pondrán a prueba cada uno de los procesos de medición y como es lógico, a medida que se vayan desarrollando las diferentes actividades en el M3LAB surgirán nuevas oportunidades de mejoras a nivel técnico, teniendo en cuenta los riesgos que se pueden identificar y presentar en campo con este proyecto en el momento en que este ejecutándose, en consecuencia el laboratorio móvil es un proyecto que se estará desarrollando y mejorando continuamente.

7 BIBLIOGRAFÍA

- [1] TGI E.S.P S.A. Información básica de la Empresa.
Internet:
<http://www.tgi.com.co/index.php/es/nuestra-empresa/que-hacemos>
- [2] OIML TC 8/SC 7 Gas metering, “OIML R 140 Measuring systems for gaseous fuel.” OIML.
- [3] Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG
Internet: <http://www.creg.gov.co>
- [4] Ministerio de Minas y Energía. República de Colombia.
Internet: <http://www.minminas.gov.co>
- [5] SO/IEC, “ISO/IEC 17025 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración.” ISO, 2005.
- [6] Gas Technology Institute
Internet: <http://www.gastechnology.org>
- [7] Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas – CDT de Gas Colombia
Internet: <http://www.ctdegas.com>
- [8] Metrología de Fluidos como una herramienta para la productividad y competitividad de la industria. Henry Abril. CDT de GAS
- [9] O. Y. Salah and J. F. Moreno, “Facilidades para el Suministro Eléctrico de un Laboratorio Móvil de Metrología,” CDT de GAS, Piedecuesta, Colombia, SOA INFG-11-VAR-135-1842, Aug. 2012.
- [10] J. A. Angulo and J. F. Moreno, “Tecnologías Compactas y Móviles para Proveer Trazabilidad a Magnitudes Asociadas en la Medición de Transferencia de Custodia de Gas Natural,” CDT de GAS, Piedecuesta, Colombia, SOA INFG-11-VAR-134-1842, Aug. 2012.
- [11] S. M. Hernández and F. O. Herrera, “Tecnologías Compactas y Móviles para la Medición de los Parámetros de Calidad del Gas Natural,” CDT de GAS, Piedecuesta, Colombia, SOA INFG-11-VAR-131-1842, Aug. 2012.
- [12] “HINO 300 Series | Trucks | Products | HINO GLOBAL.” [Online]. Available: <http://www.hino-global.com/products/trucks/300.html>. [Accessed: 11-Jan-2013].
- [13] S. P. Singh, A. P. S. Sandhu, J. Singh, and E. Joneson, “Measurement and analysis of truck and rail shipping environment in India,” Packaging Technology and Science, vol. 20, no. 6, pp. 381–392, Nov. 2007.

- [14] G. O. Rissi, S. P. Singh, G. Burgess, and J. Singh, "Measurement and analysis of truck transport environment in Brazil," *Packaging Technology and Science*, vol. 21, no. 4, pp. 231–246, Jun. 2008.
- [15] V. Chonhenchob, S. P. Singh, J. J. Singh, S. Sittipod, D. Swasdee, and S. Pratheepthinthong, "Measurement and analysis of truck and rail vibration levels in Thailand," *Packaging Technology and Science*, p. n/a–n/a, 2010.
- [16] T. T. Fu and D. Cebon, "Analysis of a truck suspension database," *International Journal of Heavy Vehicle Systems*, vol. 9, no. 4, pp. 281–297, 2002.
- [17] "Gravity Information System PTB." [Online]. Available: <http://www.ptb.de/cartoweb3/SISproject.php>. [Accessed: 12-Jan-2013].
- [18] ISO/IEC, "ISO/IEC 17025 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración." ISO, 2005.
- [19] Netherland Measurement Institute
Internet: <http://www.nml.nl>
- [20] Ley 142 de 1994. Servicios públicos domiciliarios
- [21] Ley 401 de 1997. Normatividad del Gas Natural. Por la cual se crea la Empresa Colombiana de Gas, Ecogas, el Viceministerio de Hidrocarburos y se dictan otras disposiciones.
- [22] Resolución CREG 67 de 1995. Código de Distribución de Gas Combustible por Redes.
- [23] Resolución CREG 57 de 1996. Marco regulatorio para el servicio público de gas combustible por red y para sus actividades complementarias
- [24] Resolución CREG 71 de 1999. Reglamento Único de Transporte de Gas Natural
- [25] Estatuto Tributario
Internet: <http://estatutotributario.com/>

8 GLOSARIO

CMC	Calibration and measurement Capabilities
COE	Cab over engine
CREG	Comisión de Regulación de Energía y Gas
EMP	Error Máximo Permisible
EOS	Equation of State
FAT	Factory acceptance test
G	Gravedad.
GN	Gas natural
HCDP	Hydrocarbon Dew Point
ISO	International Organization for Standardization
MRG	Material de Referencia Gaseoso
PRH	Punto de rocío de Hidrocarburos
RGM	Reference Gas Mixture
RUT	Reglamento Único de Transporte
SAT	Site acceptance test
SM	Sistema de medición
SM	Sistema de Medición
Ur	Incertidumbre requerida
VALM	Vehículo acondicionado como Laboratorio Móvil