

Desarrollo de LABORATORIO MÓVIL para Aseguramiento Metrológico de Calidad y Cantidad de Gas Natural tipo Transferencia Custodia en Colombia

Henry Abril (habril@cdtdegas.com)
Luis Eduardo García (lgarcia@cdtdegas.com)

Corporación CDT de GAS
km 2 Vía Refugio PTG, Piedecuesta - Colombia

Juan Manuel Ortiz (juanmanuel.ortiz@tgi.com.co)
John Fredy Velosa (john.velosa@tgi.com.co)

Transportadora de Gas Internacional S.A. ESP
Cra 34 No. 41-51 Bucaramanga - Colombia

Artículo disponible en Inglés
www.cdtdegas.com



Resumen:

El Aseguramiento metrológico integral de los sistemas de transferencia de custodia de gas natural representa un gran reto logístico y tecnológico. Como alternativa de solución se desarrolló un nuevo laboratorio móvil que integra las facilidades operativas y las capacidades metrológicas para el aseguramiento de la calidad y cantidad del gas natural In-situ. En el presente artículo se describe el desarrollo del laboratorio móvil, denominado M3Tlab, desde sus requerimientos hasta las pruebas de desempeño funcionales y metrológicas que permitieron su validación.

1. INTRODUCCIÓN.

Cada día se incrementa la relevancia de proveer trazabilidad a las mediciones de calidad y cantidad de GN en campo. Sin embargo, esta labor resulta costosa, 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.

Como una alternativa viable para proveer trazabilidad a las mediciones de Calidad y Cantidad de Gas Natural en Campo, se planteó y ejecutó, por parte de la Transportadora de Gas Internacional y el Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas, con el apoyo de Colciencias, el desarrollo de un Laboratorio Móvil, que integra las facilidades para operar como laboratorio estacionario de metrología, y con CMC acorde con los requerimientos de los procesos de medición de GN.

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 GN, 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 SM (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 140 [1]

Como resultado se obtuvo 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+, HCDP 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 17025.

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

El Laboratorio Móvil de Metrología, fue denominado M3Tlab, debido a sus atributos fundamentales: Metrología, Movilidad, Mantenimiento y Trazabilidad (MMMT). El juego de concepto nos lleva a la simple igualdad: MMM = M3, y así llegamos a M3T (o MET por Metrología) y lab como abreviatura de Laboratorio. Por coincidencia al leer M3 se evidencia el metro cúbico (m³), magnitud clave en la medición de volumen de gas.

2. ABREVIATURAS

CMC	Calibration and measurement Capabilities
COE	Cab over engine
CREG	Comisión de Regulación de Energía y Gas
EMP	Error Máximo Permissible
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 [2]
SAT	Site acceptance test
SM	Sistema de medición
Ur	Incertidumbre requerida [3, p. 11.1.2]
VALM	Vehículo acondicionado como Laboratorio Móvil

3. ALCANCES

Con el objeto de proveer las CMC necesarias para el aseguramiento metrológico de los SM, el laboratorio M3Tlab, fue desarrollado tomando como base las características funcionales y metrológicas de los SM e instrumentos objetivos, así como los lineamientos de las recomendación OIML R 140 [1] para sistemas con precisión Clase B. Para ellos fue necesario realizar una serie de estados del arte ([4][5][6]) que permitieron, estudiar, comparar y seleccionar, con base en información secundaria, las alternativas tecnológicas para obtener las CMC objetivo, en M3Tlab. Los alcances previstos, son descritos a continuación.

3.1. VOLUMEN DE GAS NATURAL

En el desarrollo del patrón de volumen se tomaron en consideración los medidores objetivo (ver Tabla 1), 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.

Tipo	Intervalo Medición	Características Medidor	EMP [2][3]
Rotativo y Turbina	2 m³/h a 650 m³/h	DN: 50 mm a 100 mm Conexiones: PN 20 a PN Salidas: Odómetro, Contacto seco y Alta frecuencia	1%

Tabla 1. Medidores de Volumen de Gas Objetivo

Propiedad	Método de Medición	Intervalo de Medición
Composición de GN	Cromatografía C10	Cromatografía extendida hasta C10+. (Ver Figura 1)
Poder calorífico	Cromatografía C10 + regla de mezcla	33.53 MJ/m³ a 44.71 MJ/m³
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/m³ a 590 mg/m³

Tabla 2. Mensurandos de Interés y límites de especificación en el Modulo de Calidad de Gas

3.2. CALIDAD DE 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 1. De esta manera se pueden determinar mediante reglas de mezclas y EOS, 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 2.

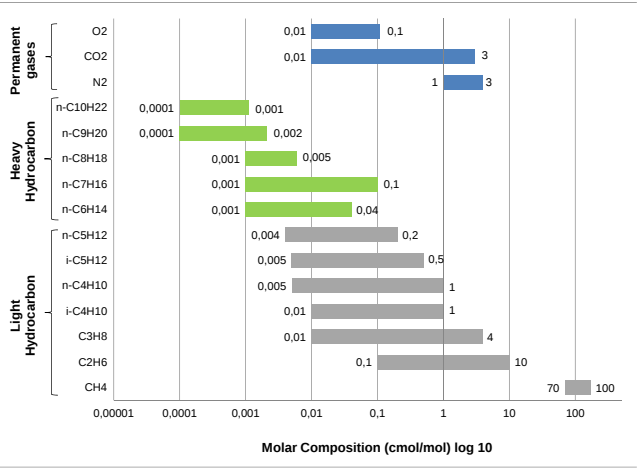


Figura 1. Componentes e Intervalo de concentración para análisis de GN

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.

3.3. 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 3 se describen los alcances respectivos.

Magnitud	Intervalo de Medición	EMP [5]
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

Tabla 3. Magnitudes de Interés y límites de especificación en el Modulo de Magnitudes Asociadas

3.4. MANTENIMIENTO M3TLAB

Como complemento a las CMC previstas para M3Tlab, se consideró 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

3.5. RETOS

Los alcances descritos anteriormente, constituyen una amplia variedad de capacidades operativas y metrológicas, que incluyen magnitudes físicas y analíticas, cuyo desarrollo e implementación en laboratorios permanentes de metrología se encuentran ampliamente documentados. Sin embargo, hasta la ejecución del presente proyecto, la integración de tan diversas magnitudes en un laboratorio móvil para metrología de calidad y cantidad de GN, no había sido abordada o documentada en trabajos previos.

Esta situación motivó el desarrollo de análisis y estudios particulares que permitieran diseñar un vehículo, para adaptarlo como laboratorio móvil, con la capacidad para almacenar y transportar de manera segura los instrumentos y equipos de medición, reduciendo la afectación sobre su desempeño metrológico que pudiera generarse debido a impactos y vibraciones durante el traslado del vehículo por las carreteras colombianas.

Por otra parte, existía la necesidad de minimizar las dimensiones requeridas para el nuevo laboratorio, sin detrimento de su capacidad operativa, lo cual impuso el reto de desarrollar una distribución de planta orientada al proceso de aseguramiento de los SM in-situ. De tal manera que se pudiera adaptar un vehículo de las menores dimensiones posibles, con el cual obtener una alta movilidad y fácil acceso a los puntos geográficos donde se encuentran los SM.

En el diseño y adecuación del vehículo también se consideraron las facilidades que permitieran generar -en campo- condiciones similares a las existentes en un laboratorio estacionario, para garantizar la reproducibilidad de los métodos de ensayo y calibración. Por este motivo se previó que el vehículo debería 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, instrumentación, adquisición y procesamiento 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 GRM 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 (escaleras, plataformas de carga, etc.).
- Potencia y espacio del vehículo, suficientes para transportar el personal, elementos y equipos necesarios para la realización de los ensayos y las calibraciones.
- Espacios ergonómicos y seguros para los técnicos y metrólogos que laborarán en el vehículo.

4. RESULTADOS ALCANZADOS

Luego de 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.

4.1. VEHÍCULO ACONDICIONADO COMO LABORATORIO MÓVIL

4.1.1. Suspensión y sistemas anti-vibración

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 [7], con cabina tipo COE, 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 [8], [9], [10], que se incrementan con la velocidad del rodaje, la rigidez de la suspensión y el mal estado de la carretera [11]. 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 2), de acuerdo con la distribución de masas prevista, mediante los cuales se redujo hasta valores seguros, el vector de aceleración (triaxial) generado por los impactos durante el rodaje.

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 G¹ 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 3 y Figura 4).



Figura 2. Sistemas anti-vibratorios implementados en el VALM para la reducción de impactos

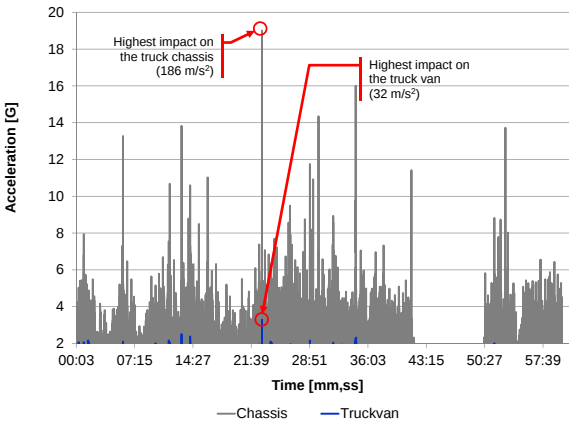


Figura 3. Impactos registrados durante las pruebas SAT de traslado por carretera

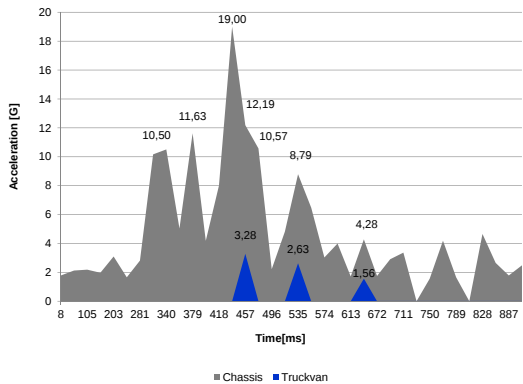


Figura 4. Comparativo de la reducción de impactos

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 anti-vibradores en el anclaje al VALM.

4.1.2. 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 Figura 5, 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.

4.1.3. 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 4.

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 Tamb
Sistema de Aire comprimido de baja Presión	Compresor monoetapa con filtro de 5 μm	6.5 m ³ /h @ 0.82 Mpa
Sistema de Aire comprimido de Alta Presión	Compresor de doble etapa con filtro de 0.5 μm y membrana de secado para obtener dewpoint de -15°C a Patm	0.6 dm ³ /h @ 20.7 Mpa

Tabla 4. Equipos integrados como facilidades en el VALM

4.2. DESEMPEÑO Y ESTABILIDAD METROLÓGICA

Los alcances operativos y metrológicos descritos en el numeral 3, fueron implementados en su totalidad, durante la etapa de integración y posteriormente se desarrollaron una serie de pruebas FAT y SAT, 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 5) en el tiempo y bajo diversas condiciones ambientales.

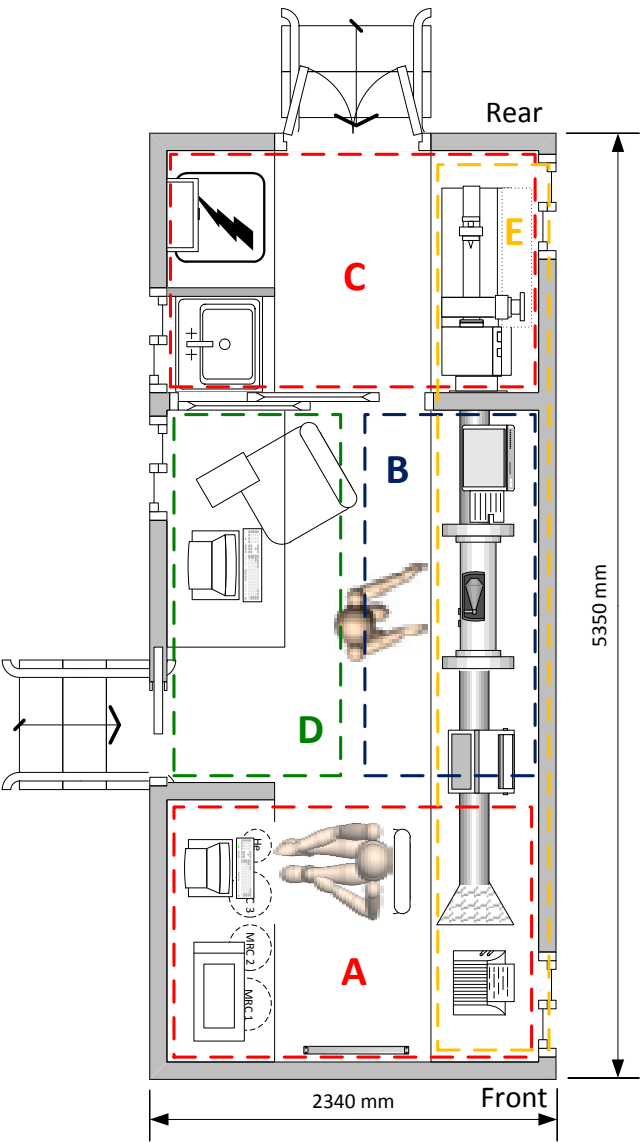


Figura 5. Esquema de planta del laboratorio móvil. A-Calidad de gas. B- Magnitudes secundarias. C-Mantenimiento. D-Multifuncional. E- Volumen de gas

¹ Aceleración de la gravedad. Para los experimentos descritos corresponde a la gravedad local de la ciudad de Piedecuesta (Colombia) 9.7778 m/s² [12]

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 4.2.1
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 4.2.2
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

Tabla 5. Estrategia para monitoreo de Desempeño Metrológico

De las estrategias planteadas en la Tabla 5, se describen a continuación las más representativas, desarrolladas para el módulo de volumen y de calidad de gas.

4.2.1. 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 ONAC, según lineamientos de la norma ISO/IEC 17025 [13]. 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 Cod LAB en la Tabla 6), 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 6.

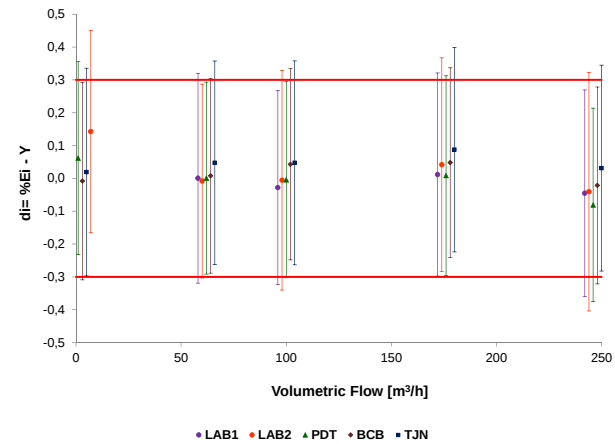
Para evaluar la estabilidad del Patrón de volumen se siguieron los lineamiento de COX [14], aplicables a comparaciones, obteniendo errores normalizados menores a 0.35 mediante lo cual se confirmó la reproducibilidad del Patrón de Volumen de M3Tlab, bajo las diversas condiciones de operación en laboratorio e *in-situ*.

Cod	Ciudad	Fecha* MM-DD	Altitud [msnm]	Patm [kPa]	Tamb [°C]	HR [%]
LAB	Piedecuesta	02-26	1 000	90.06	921.4	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

* Año: 2013

Tabla 6. Condiciones de Prueba para el Patrón de Volumen de Gas²

Para suministrar una referencia grafica sobre el desempeño obtenido con el patrón de volumen, se presenta en la Figura 6, la desviación d_i (eje y) de los errores (E_i) en las múltiples calibraciones, respecto a los errores en la calibración inicial (d_i=0 eje y).



Las líneas rojas horizontales corresponden a la incertidumbre de los errores iniciales, tomados como valores de referencia.

Figura 6. Desviación del error del medidor rotativo de transferencia

² Los Resultados han sido desplazados ligeramente del caudal de prueba para facilitar su visualización.

4.2.2. Pruebas de Desempeño metrológico para el Modulo 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 RGM, preparados por método gravimétrico, con concentraciones sobre el intervalo previsto (ver Figura 1), incertidumbre en masa ≤ 1% y PRH ≤ 0 °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 7.

Cod	Ciudad	Altitud [msnm]	Patm [kPa]	Tamb [°C]	HR [%]
PDT	Piedecuesta	1 000	90.52	23.0	60.0
BCB	Barrancabermeja	100	100.36	25.0	68.5

Tabla 7. Condiciones de Prueba para el 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 tres días consecutivos, apagando y reencendiendo el equipo cada día.

Tabla 8. Repetibilidad [%RSD] en las Áreas de respuesta del Microcromatógrafo

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 (Tabla 8) y Reproducibilidad (Tabla 9).

5. PROYECCIÓN

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 interlaboratorial para soportar las CMC declaradas y posteriormente solicitar la acreditación según los lineamiento de la norma ISO/IEC 17025 [13].

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

Tabla 9. Reproducibilidad [%RSD] en las Áreas de respuesta del Microcromatógrafo

6. CONCLUSIONES

- 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 el presente paper 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.

7. REFERENCIAS

- [1] OIML TC 8/SC 7 Gas metering, "OIML R 140 Measuring systems for gaseous fuel." OIML.
- [2] CREG, "Resolución CREG 071 de 1999 - Reglamento Único de Transporte." Diario Oficial, 1999.
- [3] OIML TC 8/SC Gas meters, "OIML R137 Gas meters Part 1: Metrological and technical requirements - Part 2: Metrological controls and performance tests." OIML.
- [4] 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.

[5] 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.

[6] 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.

[7] "HINO 300 Series | Trucks | Products | HINO GLOBAL." [Online]. Available: <http://www.hino-global.com/products/trucks/300.html>. [Accessed: 11-Jan-2013].

[8] 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.

[9] 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.

[10] V. Chonhenchob, S. P. Singh, J. J. Singh, S. Sittipod, D. Swasdee, and S. Pratheepthinhong, "Measurement and analysis of truck and rail vibration levels in Thailand," Packaging Technology and Science, p. n/a-n/a, 2010.

[11] 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.

[12] "Gravity Information System PTB." [Online]. Available: <http://www.ptb.de/cartoweb3/SISproject.php>. [Accessed: 12-Jan-2013].

[13] ISO/IEC, "ISO/IEC 17025 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración." ISO, 2005.

[14] M. Cox, "The evaluation of key comparison data," Metrologia, vol. 39, p. 589, 2002.

The 16th International Flow Measurement Conference Flomeko 2013

www.flomeko2013.fr

París
24 -26 Septembre
2013

