

TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES

para determinación de poder calorífico en gas natural. Técnicas estandarizadas para su validación metrológica

Parte I

Diana Marcela Castillo (dcastillo@cdtdegas.com)
Corporación CDT de GAS

John Velosa (john.velosa@tgi.com.co)
TGI SA ESP

Resumen:

Contar con mediciones confiables del poder calorífico del gas natural es cada día más indispensable en razón a la necesidad de mantener un estricto control del balance en redes de gas. Desarrollos innovadores con tecnologías alternativas, diferentes a los cromatógrafos, han estado saliendo al mercado. Con el fin de compararlas contra las tecnologías convencionales y lograr reducir los costos de inversión, TGI S.A ESP junto con el CDT de GAS han venido estudiando la temática, identificando alternativas viables. En una etapa inicial, se desarrolló un estudio del estado del arte; actualmente finalizó la primera validación metrológica por medio de la aplicación de pruebas en laboratorio. Los detalles se muestran el presente documento.

INTRODUCCIÓN

En las transacciones de gas natural existe la necesidad de conocer tanto el volumen de gas como el poder calorífico del mismo para así obtener su contenido de energía. Si el sistema de medición cuenta con un cromatógrafo en línea, es posible que -además del volumen el computador de flujo contabilice la energía asociada al gas que ha pasado a través del medidor. Sin embargo, para ciertas estaciones donde el análisis costo/beneficio de adquirir e instalar un cromatógrafo en línea no es satisfactorio, es común el uso de una media del poder calorífico con base en registros históricos obtenidos a partir de cromatografías asociadas a puntos cercanos que disponen de un analizador en línea. Aplicar estas técnicas tiene un riesgo asociado consistente en la posibilidad de incurrir en errores debido tanto al efecto de variabilidad en la composición del gas para el período en que se evaluó la media, así como en la representatividad del dato.

En la actualidad los analizadores para la determinación de las propiedades del gas han alcanzado una etapa de desarrollo donde la incertidumbre en las mediciones y la susceptibilidad a la falla son muy bajas. Sin embargo, el capital inicial invertido y los costos de operación y mantenimiento (tanto rutinarios como correctivos) para estas tecnologías son aún considerables. Por lo anterior, a pesar de que la cromatografía de gases es la tecnología convencional por excelencia para la determinación del poder calorífico, a nivel internacional se han intensificado los esfuerzos por encontrar técnicas alternativas y confiables que permitan la determinación de parámetros de calidad de uso común en la industria del gas natural.

El presente artículo aborda la búsqueda y selección de una tecnología alternativa para la determinación de poder calorífico, considerando entre otros aspectos, los siguientes: 1) operación en línea, 2) costo de adquisición, operación y mantenimiento relativamente bajo con respecto a cromatógrafos en línea, y 3) Resultados metrológicamente confiables para aplicaciones de transferencia de custodia.

El documento se basa exclusivamente en los resultados de pruebas en laboratorio llevadas a cabo para desarrollar la primera etapa de evaluación metrológica mediante técnicas estandarizadas de validación del desempeño metrológico de analizadores.

En una segunda parte que será publicada en una próxima edición de la revista MET&FLU se describirán los detalles y resultados obtenidos de la validación total del analizador considerando pruebas de campo.

1. ESTADO DEL ARTE Y SELECCIÓN

Considerando el impacto económico y técnico que tiene la determinación exacta de propiedades del gas natural, como: poder calorífico, índice de Wobbe, densidad y factor de compresibilidad, la práctica común para la determinación en tiempo real de dichas propiedades consiste en la utilización de cromatógrafos o calorímetros, los cuales presentan alta exactitud y cuentan con baja susceptibilidad de falla.

En la actualidad, las investigaciones en metrología química hechas por países con fuerte dependencia energética del gas natural se han centrado en desarrollar métodos alternativos de medición de propiedades del gas natural, que ofrezcan características metrológicas similares a las de los cromatógrafos pero a un bajo costo de adquisición y operación. Dichos métodos de medición son denominados métodos correlativos.

1.1 Principio teórico de operación de los métodos correlativos

Los métodos correlativos para la determinación de propiedades del gas natural consisten en cuantificar con exactitud algunas de las propiedades del gas natural (típicamente tres de las siguientes: velocidad del sonido, conductividad térmica, absorción infrarroja y permisividad dieléctrica), a partir de las cuales se infiere la composición aproximada de los componentes que constituyen la mezcla de gas natural (hidrocarburos, nitrógeno y dióxido de carbono) o en algunos casos la estimación de las propiedades de interés. En el caso en que se estime una composición para la mezcla de gas, posteriormente pueden emplearse métodos estándar, como los establecidos por ISO, ASTM y AGA, para la determinación de propiedades del gas natural. La exactitud de las propiedades obtenidas depende principalmente del conjunto de propiedades seleccionado, el cual representa los datos de entrada medidos y empleados para una posterior correlación, desde luego también dependerá de la exactitud con la cual se miden dichas propiedades.

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

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

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

En una segunda parte que será publicada en una próxima edición de la revista MET&FLU se describirán los detalles y resultados obtenidos de la validación total del analizador considerando pruebas de campo.

La inferencia de la composición del gas natural a partir de la correlación entre datos experimentales y las propiedades del gas natural se realiza en dos etapas:

Etapas 1:

Esta etapa tiene en cuenta únicamente la contribución de los alcanos presentes en la mezcla de gas (metano hasta butano), asumiendo que el contenido de nitrógeno y dióxido de carbono en el gas natural es cero. Bajo esta consideración existe una relación lineal entre el número de carbonos y el valor del poder calorífico (Figura 1). Por otra parte existe una relación no-lineal pero continua entre algunas propiedades físicas como la velocidad del sonido y la conductividad térmica y el número de carbonos en las moléculas de los hidrocarburos presentes en la mezcla de gas (Figura 2). El comportamiento regular de algunas propiedades físico-químicas y su relación funcional con el número de carbonos presentes, es la razón por la cual las mezclas de hidrocarburos gaseosos (como el gas natural) ofrecen una buena correlación que puede ser aprovechada en términos prácticos.

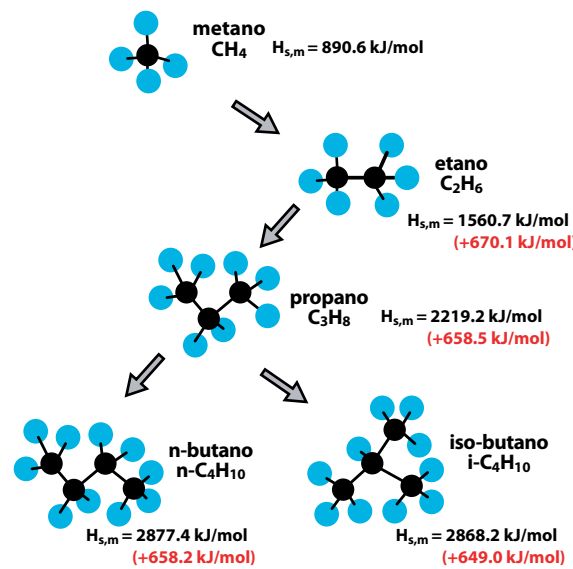


Fig 1. Relevancia del tamaño molecular en las propiedades del gas natural [7]

Etapas 2:

Consiste en incluir en el análisis los elementos excluidos durante la primera etapa (nitrógeno y dióxido de carbono), los cuales no son medidos directamente sino obtenidos mediante algoritmos de correlación que consideran la relación entre las propiedades de entrada medidas y las propiedades obtenidas en la primera etapa.

1.2 Aplicación industrial de métodos correlativos

La implementación a nivel industrial de los métodos correlativos ha enfrentado desde sus etapas iniciales diferentes retos, entre los cuales están: la complejidad de cálculo para la aplicación del método (los algoritmos incluyen etapas iterativas), la disponibilidad de tecnologías con exactitud adecuada para la medición de las propiedades de entrada seleccionadas y que sean compatibles para una aplicación con gas natural a condiciones de línea.

En la Tabla 1 se muestran los principales desarrollos en materia de medición de propiedades de gas natural con métodos correlativos. Se relacionan seis equipos que emplean principios de correlación para la determinación de propiedades del gas natural especificando las propiedades de entrada requeridas para su aplicación.

Los equipos 1, 2 y 3 de la Tabla 1 corresponden a equipos comercialmente disponibles para uso industrial; el equipo 4 es un prototipo que está siendo evaluado en campo por parte de su desarrollador, mientras que los equipos 5 y 6 se encuentran todavía en fase experimental de laboratorio.

En la Tabla 2 se presentan las características de desempeño de los equipos disponibles para uso industrial en la actualidad.

1.3 Método seleccionado

TGI S.A. ESP en asocio con el CDT de GAS está llevando a cabo un proyecto piloto para la determinación de poder calorífico mediante tecnologías no convencionales en sectores del gasoducto que reciben mezclas de gas proveniente de diferentes fuentes, dicho proyecto contempla tanto la selección y adquisición de un equipo analizador basado en métodos correlativos como la validación del mismo para determinar si su desempeño metrológico es adecuado para aplicaciones de transferencia de custodia.

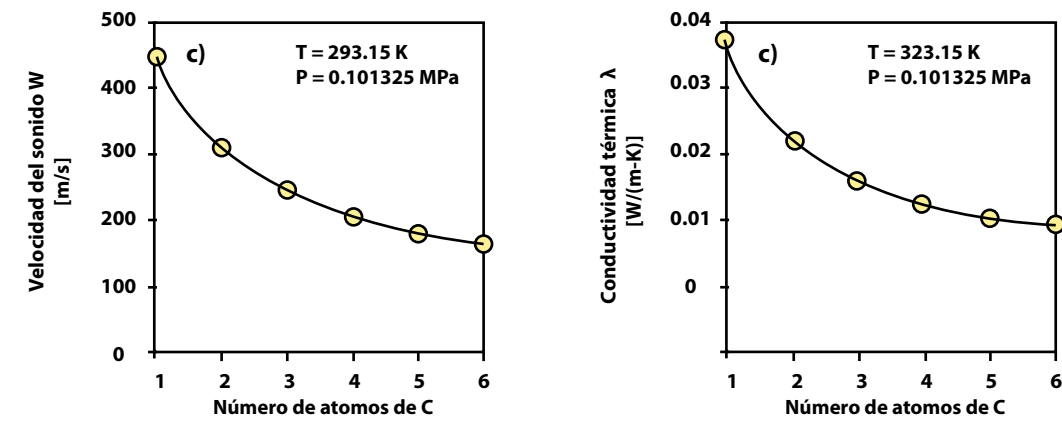


Figura 2. Propiedades físicas del gas en función del número de átomos de carbono [7]

No	DESARROLLADOR	PROPIEDADES DE ENTRADA
1	EMC500 de RMG	Capacidad calorífica isobárica. Conductividad térmica Viscosidad dinámica Fracción molar de CO ₂
2	Gas PT2 de GL Noble Denton	Velocidad del sonido. Conductividad térmica a diferentes temperaturas.
3	Gas-lab Q1 de Ruhrgas AG / FlowComp	Conductividad térmica. Absorción infrarroja de hidrocarburos. Absorción infrarroja de CO ₂
4	Gasunie / Instromet	Velocidad del sonido a alta y baja presión. Fracción molar de CO ₂
5	Ruhrgas AG / Gasunie	Permeabilidad dieléctrica Velocidad del sonido Fracción molar de CO ₂
6	FlowComp	Absorción infrarroja de hidrocarburos y CO ₂

Tabla 1. Aplicación industrial de métodos correlativos

	EMC 500	Gas PT2	Gas-lab Q1
Presión de operación máxima (psi / bar)	44 / 3,03	4,3 / 0,29	70 / 4,83
Temperatura de Operación (°C)	-20 a 50	0 a 50	5 a 40
Certificaciones	Atex Explos. Prof	Atex Flame Prof	Atex Explos. Prof
Tiempo de respuesta	60	15	20 a 60
Exactitud relativa al poder calorífico (%)	±0,5	±0,4	±0,4

Tabla 2. Características principales analizadores disponibles para uso industrial

Luego de un análisis de las tecnologías comercialmente disponibles, el grupo de trabajo seleccionó el equipo Gas PT2 de GL Noble Denton como tecnología alternativa a los cromatógrafos en línea para la determinación de propiedades del gas natural.

El Gas PT2 es un sistema de medida que determina entre otras propiedades el valor del poder calorífico, la densidad del gas natural, el factor de compresibilidad y el índice de Wobbe en tiempo real. Este equipo basa su funcionamiento en el método que correlaciona la conductividad térmica, la velocidad del sonido y el dióxido de carbono e infiere a partir de estas propiedades la **mezcla efectiva de gas** (composiciones de metano, propano, nitrógeno y dióxido de carbono). El sistema utiliza la norma ISO 6976 para determinar parámetros de la calidad del gas.

El analizador GasPT2 se compone de una unidad que contiene los sensores y un módulo de conexión para área clasificada. La unidad principal del analizador (Figura 3) tiene integrados el procesador principal, los sensores de presión, temperatura, velocidad del sonido y conductividad térmica, realiza las mediciones sobre la muestra de gas, calcula la mezcla efectiva y los parámetros de calidad de gas. El módulo de conexión para área clasificada (Figura 4) proporciona el voltaje y aislamiento galvánico entre los equipos de área segura (no peligrosa) y la unidad de sensor.



Figura 3. Analizador Gas PT2 [8]



Figura 4. Módulo de conexión [8]

encia de custodia pero sus resultados requieren un proceso de validación previo que permitan asegurar su implementación.

Para dicha validación se empleará el estándar ASTM D3764[2], el cual describe el procedimiento de validación requerido para evaluar el desempeño metrológico de sistemas analizadores de flujos de proceso, mediante la comparación entre los resultados obtenidos por el analizador en prueba y los resultados de un método empleado como referencia para la medición de una misma propiedad, que en este caso particular corresponde al poder calorífico.

Considerando que la validación se realiza con base en el desempeño, al final del proceso de validación, el desempeño se cuantifica en términos de precisión y error sistemático para un rango de condiciones dado.

De acuerdo con el estándar ASTM D3764[2] la **validación total** de un sistema analizador de proceso, incluyendo el sistema de muestreo correspondiente, puede ser realizada mediante la combinación de dos procedimientos: procedimiento con material de referencia y procedimiento de muestreo en línea.

• **Procedimiento con material de referencia:** este procedimiento se implementa con la finalidad de evaluar el desempeño del analizador frente a gases con características que no se encuentren disponibles en el proceso.

• **Procedimiento de muestreo en línea:** La finalidad de este procedimiento es la evaluación del sistema completo, incluyendo sistema de muestreo, empleando muestras de gas tomadas directamente del flujo del proceso.

Para cada uno de estos procedimientos se puede ejecutar uno de dos tipos de validación: **validación general y validación de nivel específico**. La validación general se fundamenta en principios estadísticos que validan la operación del analizador en un intervalo más amplio que la validación de nivel específico, por tal motivo para dicha validación se requieren al menos 10 materiales de referencia que cubran completamente el alcance del analizador bajo evaluación. No siempre es posible ejecutar la evaluación general si no se cuenta con disponibilidad de materiales de referencia diferentes, en tales casos, se ejecutan validaciones de nivel específico sobre un rango limitado de operación.

2.1 Descripción del proceso de validación
El proceso de validación para cada uno de los procedimientos, se ejecuta teniendo en cuenta tres fases:

a) **FASE 1 - Control estadístico:**
La metodología propuesta por el estándar ASTM D3764-09 [2] se basa en métodos estadísticos para evaluar el grado de conformidad entre los resultados, por lo cual todos las mediciones, tanto del analizador como del método de referencia, deben estar dentro de control estadístico, lo cual se asegura mediante métodos descritos en ASTM D6299 [4] que se encuentran resumidos en la Tabla 3.

La evaluación de dicho control estadístico se realiza sobre las desviaciones calculadas entre el analizador y el método de referencia, para una muestra representativa, definida por el estándar en mínimo 15 datos.

b) **FASE 2 - Validación de resultados - Método ASTM:**
Una vez se confirme que todo el conjunto de datos se encuentra en control estadístico se

1.4 Ventajas del método seleccionado

El método seleccionado, bajo el cual opera el Gas PT2, cuenta con las siguientes ventajas en relación a los otros analizadores disponibles:

1. Mayor exactitud.
2. Tiempo de respuesta bajo.
3. Diseño ligero y flexible que facilita su instalación en campo.
4. Cuenta con un sistema para acondicionamiento de muestra.
5. Costo de adquisición y mantenimiento relativamente bajo.

2. METODOLOGÍA PARA VALIDACIÓN

El dispositivo Gas PT2, al ser una tecnología alternativa, tiene un desempeño metrológico que es adecuado para la aplicación en transfe-

Paso	Actividad a desarrollar	Descripción
1	Filtro para resultados sospechosos	Los resultados son filtrados visualmente con el fin de encontrar datos inconsistentes con el conjunto. Los datos sospechosos deben ser investigados y de ser necesario descartados.
2	Filtro para patrones inusuales	Se grafican las desviaciones (Δ) para encontrar patrones no aleatorios en el conjunto de datos. Si éstos son encontrados debe investigarse y eliminarse la causa de la desviación y el conjunto debe ser descartado.
3	Prueba de hipótesis de Normalidad e independencia de los resultados	Se utiliza para comprobar que los resultados son razonablemente independientes y pueden ser modelados por una distribución normal. Para esto se utiliza una gráfica de probabilidad normal y el estadístico de Anderson-Darling.
4	Construcción de cartas de control	Se determinan los límites de control y se sobreponen en el gráfico obtenido en el segundo paso. Los datos que se encuentren fuera de estos límites deben ser investigados y eliminados del conjunto si es necesario.

Tabla 3. Pruebas de control estadístico

procede a realizar la validación metrológica siguiendo los lineamientos de ASTM D6299[4] y ASTM D6708[3]. En la Tabla 4 se muestra un resumen de los aspectos a evaluar durante la etapa de validación.

c) FASE 3 - Validación de resultados - Método ISO:

Cuando se están validando analizadores de gas natural, los datos de repetibilidad y reproducibilidad validados mediante los métodos de ASTM, pueden confirmarse utilizando las técnicas planteadas en la norma ISO 10723[5]. Adicionalmente, este estándar permite evaluar la linealidad de los resultados. En la Tabla 5 se encuentra el resumen de la metodología propuesta para esta validación.

3. RESULTADOS DE VALIDACIÓN CON MATERIAL DE REFERENCIA (ETAPA I)

A continuación se presentan los resultados de la aplicación de la metodología para validación descrita anteriormente sobre el analizador Gas PT2, considerando únicamente el desarrollo de las pruebas de laboratorio mediante el procedimiento con material de referencia; la validación total, que incluye las pruebas de campo con el procedimiento de línea de muestreo (Etapa 2), se presentarán en una segunda parte que será publicada en una próxima edición de la revista MET&FLU.

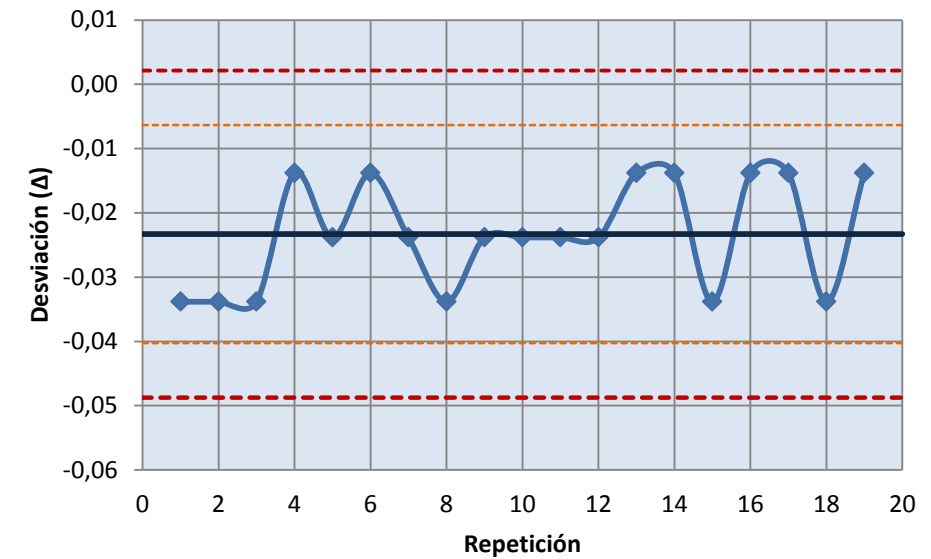


Figura 5. Carta de control

La validación de nivel específico fue desarrollada con los resultados de medición de poder calorífico, teniendo en cuenta que es la propiedad más relevante dentro de las propiedades medidas por el equipo.

El resumen de las pruebas desarrolladas en la validación es el siguiente:

- Evaluación con cuatro gases de referencia de composición diferente.
- Tres (3) pruebas con cada gas de referencia.
- Veinte (20) análisis para cada prueba.

Con todos los datos obtenidos se realizaron las pruebas de control estadístico como requisito previo para la aplicación de los métodos de validación. Como resultado de las diferentes verificaciones realizadas dentro de lo correspondiente a la Fase 1 (filtro visual, filtro de patrones inusuales y cartas de control) no fue necesario prescindir de ningún resultado de medición, a partir de lo cual se puede concluir que la muestra de los datos obtenidos se encuentra bajo control estadístico y que pueden ser aplicadas las verificaciones posteriores (correspondientes a las Fases 2 y 3).

En la Figura 5 se observa un ejemplo de carta de control obtenido con los resultados de una de las pruebas efectuadas.

3.1 Repetibilidad (Método ASTM y Método ISO):

Inicialmente, se realizaron las pruebas de repetibilidad según los lineamientos de [4] y [5]. La Tabla 6 muestra los resultados obtenidos en los tres análisis realizados con este material de referencia.

Conclusión pruebas de repetibilidad - Método ASTM:

La Norma ASTM D6299[4], establece que la repetibilidad calculada debe ser comparada con el valor dado por el fabricante del equipo. Teniendo en cuenta la repetibilidad máxima reportada por el fabricante (0,040 MJ/m³) y los resultados obtenidos en laboratorio, es posible concluir que el analizador está conforme en lo que concierne a este parámetro, ya que en la mayoría de los análisis de cada material de referencia certificado se obtuvieron valores de repetibilidad menores, presentándose solo un análisis en el que la repetibilidad fue mayor al valor dado por el fabricante y en ningún caso se superó el valor límite.

MRGC	Nº DE ANÁLISIS	REPETIBILIDAD	REPETIBILIDAD RELATIVA (%)
1	1	0,040	0,100
	2	0,024	0,060
	3	0,029	0,074

Tabla 6. Resultados evaluación de Repetibilidad

Paso	Actividad a desarrollar	Descripción
Determinación de la desviación.	Se calcula la desviación utilizando la desviación estándar, donde x es cada uno de los resultados obtenidos y n es el número total de mediciones.	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2}{n-1}}$
Determinación de la repetibilidad	Una vez obtenida la desviación, es posible determinar la repetibilidad de los resultados, la cual se debe comparar con el valor emitido por el fabricante del analizador para confirmar la confiabilidad del sistema.	$r = 2.8 * \sigma$
Determinación de la reproducibilidad	Para la determinación de la reproducibilidad, se necesita más de un conjunto de datos, obtenidos en condiciones de medición diferentes. En este parámetro, se aplica el test chi cuadrado χ^2 . Donde R es el valor de reproducibilidad dado por el fabricante.	$\chi^2 = \frac{(n-1)r^2}{R^2}$

Tabla 4. Validación de resultados - Método ASTM

Parámetro	Test	Criterio
Repetibilidad	Test de Grubb	$r = \frac{ (x - \bar{x}) }{s}$
Reproducibilidad	Test de Cochran	$Reproductividad = \frac{\text{mayor varianza}}{\text{suma de Variaciones}}$
Linealidad	Test F	$F = \frac{b * S_{xy} (n-2)}{S_{yy} - b * S_{xy}}$

Tabla 5. Validación de resultados - Método ISO

MRGC	Nº DE ANÁLISIS	Estadístico	Grubb ($\alpha=0,01$)
1	1	1,87	2,81
	2	1,24	2,81
	3	2,23	2,81

Tabla 7. Resultados confirmación de Repetibilidad - Test de Grubb

La Tabla 7 muestra los resultados obtenidos con el test de Grubb para confirmación de la repetibilidad.

Conclusión pruebas de repetibilidad - Método ISO:

El test de Grubb consiste en la comparación entre el valor calculado del estadístico y el valor crítico de este test, el cual depende del número de repeticiones que se realicen en cada análisis. Según lo planteado en la norma ISO10723[5], la conformidad del parámetro se da si el valor del estadístico calculado es menor que el crítico. Al observar los resultados mostrados en la tabla 7 se puede afirmar que la repetibilidad es aceptable con respecto a esta prueba.

3.2 Reproducibilidad (Método ASTM):

Con estos tres análisis, se realizaron las respectivas pruebas de reproducibilidad, empleando tanto el método ASTM (ver Tabla 8) como el método ISO (ver Tabla 9).

MRGC	χ^2	χ^2 crítico
1	2,13	67,50

Tabla 8. Resultados evaluación de Reproducibilidad

MRGC	Estadístico	Cochran ($\alpha=0,01$)
1	0,52	0,61

Tabla 9. Resultados confirmación de Reproducibilidad -Test de Cochran

Conclusión pruebas de reproducibilidad - Método ASTM:

Según lo planteado en la ASTM D6299, la evaluación de la reproducibilidad se realiza por medio de la aplicación del test X^2 . Se considera que el parámetro aprueba el test si el valor calculado del estadístico X^2 es menor que el valor crítico, que es función del número de repeticiones de cada análisis. Por tanto, se puede concluir que la reproducibilidad de los resultados obtenidos

experimentalmente cumple con el requisito de la Norma.

Conclusión pruebas de reproducibilidad - Método ISO:

El test de Cochran, planteado en la ISO 10723 es utilizado como confirmación de la reproducibilidad de los resultados de un equipo. Al igual que en el test anterior la prueba es aceptada si el estadístico calculado es menor que el valor crítico, como se observa en la tabla 9 esta condición se cumple, confirmando que la reproducibilidad de los resultados obtenidos es satisfactoria.

3.3 Linealidad (Método ISO-10723):

Finalmente, siguiendo los lineamientos del estándar ISO 10723 y aplicando el test F empleando todas las repeticiones y análisis se obtuvo el resultado de linealidad (ver Tabla 10). El resultado de linealidad obtenido se confirmó obteniendo el factor de correlación.

Estadístico F	Valor crítico	R
354,964	10,128	0,994

Tabla 10. Resultados evaluación de Linealidad

Conclusión pruebas de linealidad:

Para la evaluación de la linealidad, el test F se aplicó a los resultados. En este caso la aprobación se da cuando el valor F calculado supera el valor F crítico. Según la tabla anterior, los resultados obtenidos cumplen con los requisitos normativos.

Una vez analizados los resultados mostrados anteriormente, se determinó que los parámetros de desempeño metrológico del analizador GasPT2 asociados a la medición de poder calorífico, evaluados mediante una prueba de nivel específico desarrollada con el procedimiento de materiales de referencia y ejecutada en laboratorio, fue satisfactoria y que el equipo cumple a cabalidad con las especificaciones técnicas emitidas por el fabricante.

4. CONCLUSIONES

1. Los métodos correlativos representan una alternativa económica y funcional a las técnicas tradicionales de cromatografía para la determinación de propiedades del gas natural.
2. Las técnicas empleadas para la validación pueden ser aplicables para la evaluación metrológica de cualquier tipo de analizador, incluso si este realiza la medición de más de una variable de proceso.
3. De acuerdo con los resultados de las pruebas de laboratorio, el GasPT2 superó la primera etapa de validación desarrollada mediante la aplicación del procedimiento con material de referencia en laboratorio.

REFERENCIAS

[1] ASTM D6300-08. Standard Practice for Determination of Precision and Bias Data for Use in Test Methods for Petroleum Products and Lubricants.

[2] ASTM D3764-09. Standard Practice for Validation of the Performance of Process Stream Analyzer Systems.

[3] ASTM D6708-08. Standard Practice for Statistical Assessment and Improve of Expected Agreement Between Two Test Methods that Purport to Measure the Same Property of a Material.

[4] ASTM D6299-10. Standard Practice for Applying Statistical Quality Assurance and Control Charting Techniques to Evaluate Analytical Measurement System Performance.

[5] ISO 10723. Natural gas - Performance evaluation for on-line analytical systems.

[6] Vergence Systems. GasPT2 User Manual Versión: 1.35. Marzo de 2012.

[7] New Technologies for gas quality determination. Peter Schley, Manfred Jaeschke, Klaus Altfeld. Ruhrgas AG, Essen, Germany.

[8] CUI Global GAS PT2 - Gas properties Transmitter. Brochure & Datasheet.

Los resultados satisfactorios obtenidos permiten proceder a proyectar y desarrollar la siguiente etapa de validación aplicando el procedimiento de muestreo; esta etapa se desarrollará en campo y los resultados se compartirán con nuestros lectores en la próxima edición de Met & Flu.