

**Medición de transferencia de custodia de gas natural en gasoductos**

**Sistemas de análisis de calidad de gas natural**

**Comité técnico medición CNOGas**

## 1. INTRODUCCIÓN

En el capítulo 6 del Reglamento Único de Transporte (RUT), publicado por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) en 1999, se encuentran contenidos los aspectos técnicos y regulatorios que deben ser aplicados para el control de la calidad de gas natural en puntos de transferencia de custodia, tanto entre productor-transportador, como transportador-transportador; los parámetros de calidad de gas contemplados en la regulación son los siguientes: poder calorífico, punto de rocío de hidrocarburo, contenido de humedad, contenido de inertes (CO<sub>2</sub> y Nitrógeno), contenido de azufre (H<sub>2</sub>S y azufre total), contenido de oxígeno.

De manera general, el capítulo 6 del RUT establece para cada parámetro de calidad de gas los límites entre los cuales se considera una condición normal que no afecta la operatividad o integridad del sistema de transporte, así como la salud de las personas. La responsabilidad de monitorear dichos parámetros y eventualmente rechazar el gas recibido si no cumple alguno de los límites definidos es del transportador, considerando adicionalmente que dicho rechazo puede tener consecuencias para los agentes. Por otro lado, en cuanto a las consideraciones técnicas para la medición de los diferentes parámetros de calidad de gas solo se contempla en algunos casos puntuales el método aplicable, como por ejemplo para la medición de punto de rocío de hidrocarburo; sin embargo, no son considerados aspectos particulares de los sistemas de análisis de gas como lo son: condiciones de instalación de los equipos, gases de referencia y la exactitud que debe presentar el sistema.

En consideración a lo anterior, en el año 2017 el Consejo Nacional de Operaciones de Gas Natural (CNO-Gas) a través de su Comité Técnico de Medición, el cual está integrado por especialistas de medición de las empresas miembro, dio inicio a un programa para la evaluación del impacto de diferentes parámetros operativos, de instalación y configuración en el desempeño metrológico de los sistemas de análisis en línea. El objetivo principal del programa fue la validación de las prácticas actuales de la industria con el fin de establecer los requerimientos técnicos que deben cumplir los sistemas a través de la aplicación de un “Protocolo Operativo de Prueba” desarrollado por el Comité Técnico de Medición, validando a partir de los resultados de campo obtenidos el error máximo permisible aplicable a los sistemas con la finalidad de garantizar para las partes la confiabilidad de las mediciones obtenidas.

El presente documento está basado en el “Protocolo Operativo de Prueba” desarrollado para la evaluación de desempeño de analizadores en línea, así como en los resultados obtenidos de su aplicación en campo. El documento descrito a continuación presenta una metodología aplicable en la inspección y verificación de sistemas de análisis de calidad de gas natural, con la finalidad de determinar su desempeño e idoneidad para ser usado en aplicaciones de transferencia de custodia de gas natural.

## 2. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

- 2.1 El presente protocolo establece los **requisitos**, **directrices** y los **procedimientos** que son aplicables en la evaluación del desempeño de sistemas de análisis de calidad de gas, que permita garantizar la confiabilidad de las mediciones obtenidas por estos sistemas a través de la verificación del cumplimiento del error máximo permisible aplicable.
- 2.2 El alcance del presente protocolo se circunscribe a sistemas de análisis para determinar la calidad de gas natural en las siguientes variables: punto de rocío de hidrocarburos, contenido de humedad, ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), azufre total, oxígeno (O<sub>2</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), nitrógeno (N<sub>2</sub>), índice de Wobbe y poder calorífico, los cuales pueden estar instalados en sistemas de transferencia de custodia de gas natural en:
- a) Líneas de transporte: puntos de entrada, puntos de salida y estaciones de transferencia de custodia entre transportadores.
  - b) Estaciones de medición de usuarios no regulados<sup>1</sup> conectados a redes de distribución.
- 2.3 Para la aplicación del presente protocolo se considera parte del sistema de análisis de gas natural los siguientes elementos:
- a) Analizadores.
  - b) Métodos de referencia para verificación (Materiales de referencia certificados o métodos normalizados).
  - c) Sistema de muestreo y líneas de conducción tanto de la muestra como del material de referencia certificado.
  - d) Sistema de acondicionamiento de muestra: regulación, calentamiento y filtración, según aplique para el método de análisis.
- 2.4 Este protocolo no aplica para la evaluación de los siguientes parámetros de calidad de gas: contenido de líquidos, temperatura de entrega (máxima y mínima), contenido máximo de polvos y material en suspensión, ya que para el control de estas variables no es aplicable el uso de sistemas de análisis de calidad de gas.
- 2.5 Este protocolo no es aplicable a sistemas de análisis de calidad de gas natural licuado y de gases combustibles diferentes al gas natural.

## 3. REFERENCIAS NORMATIVAS

Los siguientes documentos normativos referenciados son indispensables para la aplicación de este documento. Para referencias fechadas, se aplica únicamente la edición citada. Para referencias no fechadas, se aplica la última edición del documento normativo referenciado (incluida cualquier

---

<sup>1</sup> De acuerdo con lo establecido en la reglamentación vigente, la que la modifique o reemplace.

corrección).

NTC 6167. Medición de transferencia de custodia de gas natural en gasoductos.

ASTM D1826. Standard Test Method for Calorific (Heating) Value of Gases in Natural Gas Range by Continuous Recording Calorimeter.

ASTM D3588. Standard Practice For Calculating Heat Value, Compressibility Factor, And Relative Density Of Gaseous Fuels.

ASTM D1945. Standard Test Method For Analysis Of Natural Gas By Gas Chromatography.

AGA REPORT No. 10. Speed of Sound in Natural Gas and Other Related Hydrocarbon Gases.

ASTM D5454. Standard Test Method For Water Vapor Content Of Gaseous Fuels Using Electronic Moisture Analyzers.

ASTM D7904. Standard Test Method for Determination of Water Vapor (Moisture Concentration) in Natural Gas by Tunable Diode Laser Spectroscopy (TDLAS).

ASTM D1142, Standard Test Method for Water Vapor Content of Gaseous Fuels by Measurement of Dew-Point Temperature.

ASTM D4084, Standard Test Method for Analysis of Hydrogen Sulfide in Gaseous Fuels (Lead Acetate Reaction Rate Method).

ASTM D7165, Standard Practice for Gas Chromatograph Based On-line/At-line Analysis for Sulfur Content of Gaseous Fuels

ASTM WK52082. New Test Method for Determination of Hydrogen Sulfide (H<sub>2</sub>S) in Natural Gas by Tunable Diode Laser Spectroscopy (TDLAS).

ASTM D7166, Standard Practice for Total Sulfur Analyzer Based On-line/At-line for Sulfur Content of Gaseous Fuels.

ASTM D2622. Standard Test Method For Sulfur In Petroleum Products By Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry.

ASTM D4468, Standard Test Method for Total Sulfur in Gaseous Fuels by Hydrogenolysis and Rateometric Colorimetry.

ASTM D7607. Standard Test Method for Analysis of Oxygen in Gaseous Fuels (Electrochemical Sensor Method).

API MPMS 14.1, Manual of Petroleum Measurement Standards, Chapter 14 – Natural gas Fluids Measurement, Section 1-Collecting and Handling of Natural Gas Samples for Custody Transfer.

ISO 10715, Natural gas. Sampling guidelines.

ASTM D3764, Standard Practice for Validation of the Performance of Process Stream Analyzer Systems.

ISO 10723, Natural gas - performance evaluation for analytical systems.

ISO 6141, Gas analysis - Contents of certificates for calibration gas mixtures.

ISO 6142, Gas analysis - Preparation of calibration gas mixtures - Part 1: Gravimetric method for Class I mixtures.

OIMLD-10, Guidelines for the determination of calibration intervals of measuring instruments.

NIST Special Publication 811 "Guide for the Use of the International System of Units (SI)"

GTC 51. Guía para la estimación de incertidumbre.

BIPM JCGM106:2012. Evaluation of measurement data-the role of measurement Uncertainty in conformity assessment

#### 4. TERMINOLOGÍA

**Sistema para análisis en línea de calidad de gas.** Conjunto de elementos que son requeridos para obtener, registrar y transmitir la indicación de un parámetro de calidad de gas de una corriente de gas natural, incluye sistema de muestreo, unidad de acondicionamiento de muestra, analizador e n línea y material de referencia certificado para la verificación periódica del analizador.

**Sistema de muestreo (API 14.1 numeral 4.13).** Sistema encargado para entregar una muestra representativa de gas natural desde una tubería hasta un dispositivo analítico.

#### Unidad de acondicionamiento de muestra.

**Analizador en línea.** Instrumentos necesarios para medir de forma automática y continua el parámetro de calidad del gas requerido a partir de una muestra tomada de su corriente.

Comentado [HHBL1]: Pendiente confirmación fuente

**Material de referencia.** Material suficientemente homogéneo y estable con respecto a propiedades especificadas, establecido como apto para su uso previsto en una medición o en un examen de propiedades nominales.

**Material de referencia certificado.** Material de referencia acompañado por la documentación emitida por un organismo autorizado, que proporciona uno o varios valores de propiedades especificadas, con incertidumbres y trazabilidades asociadas, empleando procedimientos válidos.

#### Método normalizado.

**Condiciones de medición.** Condiciones del gas a las cuales la cantidad es medida en el punto de medición (temperatura y presión del gas medido).

Comentado [JFVC2]: Pendiente referencia

**Condiciones base.** Condiciones específicas a las cuales son convertidas las cantidades de gas medidas.

Comentado [JFVC3]: Pendiente referencia

#### Error.

**Error intrínseco.** Error determinado bajo condiciones de referencia.

**Error intrínseco inicial.** Error intrínseco determinado de manera previa a todos los ensayos de desempeño.

**Error de medición (absoluto) (VIM 3.10).** Resultado de una medición menos un valor verdadero de la magnitud por medir.

NOTA Puesto que no se puede determinar un valor verdadero, en la práctica se utiliza un valor convencionalmente verdadero.

**Error de repetibilidad (adaptada del VIM 3.6).** Para propósitos de esta Recomendación, es la diferencia entre el mayor y el menor de los resultados de mediciones sucesivas de una misma cantidad llevadas a cabo bajo las mismas condiciones.

**Error máximo permisible (EMP) (adaptado del VIM 5.21).** Valores extremos de un error permitidos por esta Recomendación.

**Error relativo (VIM 3.12).** Error de medición dividido por un valor verdadero de la magnitud por medir.

**Incertidumbre de medición (VIM 3.9).** Parámetro, asociado con el resultado de una medición, que caracteriza a la dispersión de los valores que en forma razonable se le podrían atribuir a la magnitud por medir.

**Intervalos de medición especificados.** Conjunto de valores de magnitudes por medir o cantidades características del gas para las cuales se espera que el error caiga dentro de los límites especificados en este Manual. En general los límites superior e inferior del intervalo de medición especificado son llamados valor máximo y valor mínimo, respectivamente (por ejemplo: caudal máximo 2 000 m<sup>3</sup>/h, caudal mínimo 50 m<sup>3</sup>/h).

NOTA 1 Esta definición aplica al sistema de medición y también a los elementos que componen el sistema de medición.

NOTA 2 Las magnitudes por medir principales o cantidades características para el módulo de medición son el caudal, la presión o la temperatura del gas.

NOTA 3 Un dispositivo de conversión tiene un intervalo de medición específico para cada cantidad que el procesa.

**Verificación.** Aportación de evidencia objetiva de que un elemento satisface los requisitos especificados.

EJEMPLO 1 La confirmación de que un material de referencia declarado homogéneo lo es para el valor y el procedimiento de medida correspondientes, para muestras de masa de valor hasta 10 mg.

EJEMPLO 2 La confirmación de que se satisfacen las propiedades de funcionamiento declaradas o los requisitos legales de un sistema de medida.

EJEMPLO 3 La confirmación de que puede alcanzarse una incertidumbre objetivo.

NOTA 1. Cuando sea necesario, es conveniente tener en cuenta la incertidumbre de medida.

NOTA 2. El elemento puede ser, por ejemplo, un proceso, un procedimiento de medida, un material, un compuesto o un sistema de medida.

NOTA 3. Los requisitos especificados pueden ser, por ejemplo, las especificaciones del fabricante.

NOTA 4. En metrología legal, la verificación, tal como la define el VIML[53], y en general en la evaluación de la conformidad, puede conllevar el examen, marcado o emisión de un certificado de verificación de un sistema de medida.

NOTA 5. No debe confundirse la verificación con la calibración. No toda verificación es una validación.

NOTA 6. En química, la verificación de la identidad de una entidad, o de una actividad, requiere una descripción de la estructura o las propiedades de dicha entidad o actividad.

**Calibración.** Operación que bajo condiciones especificadas establece, en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medida asociadas obtenidas a partir de los patrones de medida, y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas y, en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medida a partir de una indicación.

NOTA 1. Una calibración puede expresarse mediante una declaración, una función de calibración, un diagrama de calibración, una curva de calibración o una tabla de calibración. En algunos casos, puede consistir en una corrección aditiva o multiplicativa de la indicación con su incertidumbre correspondiente.

NOTA 2. Conviene no confundir la calibración con el ajuste de un sistema de medida, a menudo llamado incorrectamente “autocalibración”, ni con una verificación de la calibración.

NOTA 3. Frecuentemente se interpreta que únicamente la primera etapa de esta definición corresponde a la calibración.

**Calibración de cero.** Ajuste de la electrónica del analizador asociada a la señal de salida del sensor para un material de referencia (blanco analítico) que contenga una cantidad insignificante de compuestos sulfurados.

**Calibración de span.** Ajuste de la electrónica del analizador asociada a la señal de salida del sensor para un determinado gas patrón (material de referencia certificado) del compuesto sulfurado de interés.

**Temperatura de punto de rocío de hidrocarburo.** Temperatura a una presión determinada, a la que se inicia la condensación de hidrocarburos.

Nota 1. En termodinámica química el “verdadero” punto de rocío de los hidrocarburos es la temperatura (a una presión establecida) a la que la fugacidad es idéntica en las fases gaseosa y líquida. Ya que la medición del punto de rocío implica la reducción de la temperatura del sistema, esto equivale a la temperatura a la que se produce la primera aparición de la fase líquida. En este punto, la cantidad de la fase líquida es infinitesimalmente pequeña.

Como ningún instrumento u observador es capaz de detectar esta cantidad infinitesimalmente pequeña, el valor medido por un instrumento con espejo enfriado (punto de rocío de hidrocarburo medible) difiere del “verdadero” punto de rocío de los hidrocarburos. Según la composición del gas y las sensibilidad del sistema de detección del

punto de rocío de los hidrocarburos (instrumento automático de espejo enfriado o del observador) el punto de rocío de hidrocarburos medido puede ser considerablemente más bajo que el “verdadero” punto de rocío de los hidrocarburos.

**Temperatura cricendentérmica.** Caso especial de punto de rocío de hidrocarburos en una corriente de gas natural, cuya estimación se obtiene mediante la utilización de métodos muy detallados.

**Ecuación de estado.** Es una ecuación que relaciona, para un sistema en equilibrio termodinámico, las variables de estado que lo describen. Tiene la forma **general**:

$$f(p, V, T) = 0$$

**Componentes azufrados.** Los compuestos sulfurados aquellos que tienen átomos de azufre en su estructura.

**Azufre Total.** Suma de las concentraciones de todos los compuestos sulfurados volátiles contenidos en una muestra.

**Contenido de humedad.** Contenido de vapor de agua en la corriente de gas natural medido a las condiciones de operación.

**Contenido de inertes.** Componentes del gas, no hidrocarburo, que no contribuyen al contenido energético de la mezcla.

**Poder calorífico bruto (superior).** Cantidad de calor que sería liberado por la combustión completa con oxígeno de una cantidad específica de gas, de manera que la presión a la cual se produce la reacción permanece constante, y todos los productos de combustión son llevados a la misma temperatura especificada de los reactantes; estando todos estos productos en estado gaseoso, excepto el agua formada por la combustión, la cual es condensada al estado líquido a la temperatura especificada. En todos los casos, para propósitos de l presente documento, cuando se haga mención al término “poder calorífico” sin ningún calificativo adicional, deberá entenderse que se trata del poder calorífico bruto (superior).

**Índice de woobe.** Es una medida del flujo de energía a través de un orificio y corresponde a la relación entre el poder calorífico de un gas por unidad de volumen y la raíz cuadrada de su densidad relativa con respecto al aire, bajo las mismas condiciones de referencia. El número de Wobbe puede especificarse como superior o inferior dependiendo del poder calorífico con el que se calcule. En todos los casos, para propósitos de l presente documento, cuando se haga mención al término “número de Wobbe” sin ningún calificativo adicional, deberá entenderse que se trata del número de Wobbe superior, el cual se basa en el poder calorífico bruto (superior).

**Comentado [HHBL4]:** Cita de internet

## 5. REQUISITOS DE CONFIGURACIÓN Y DESEMPEÑO EN SISTEMAS DE ANÁLISIS

En la tabla 1 se encuentran relacionados los requerimientos de instalación de sistemas de análisis para los diferentes parámetros de acuerdo con el tipo de sistema de transferencia de custodia.

Tabla 1. Requerimientos de sistemas de análisis por tipo de sistema

Parámetro de calidad de gas	Puntos de entrada y sistemas de transferencia de custodia entre transportadores	En los sistemas que aplique de acuerdo con NTC 6167
Poder calorífico	X	X
Contenido de humedad	X	-
Punto de rocío de hidrocarburo	X	-
H2S	X	-
Azufre total	X	-
Oxígeno	X	-
CO2	X	-
Nitrógeno	X	-
Índice de wobbe	X	-

Debido a temas operativos, cualquier sistema de transferencia de custodia, independiente de su clasificación, podría contar con sistemas de análisis para uno o varios de los parámetros de calidad de gas.

Cuando se hace referencia a un sistema de análisis se debe tener en cuenta que este debe estar conformado por los siguientes elementos:

- Sistema de muestreo
- Sistema de acondicionamiento de muestra
- Sistema de conducción de muestra
- Analizador de calidad de gas en línea
- Método de referencia para confirmación metrológica en sitio.

Los sistemas de análisis deben contar con características técnicas, de instalación y desempeño que garanticen que el uso de los mismos es adecuado para la aplicación en medición de transferencia de custodia. La conformidad de un sistema de análisis de calidad de gas para aplicaciones de transferencia de custodia se evalúa a partir de tres factores: el alcance de medición del analizador, el error máximo permisible obtenido en las verificaciones en campo y el tiempo de análisis configurado en el sistema.

En la Tabla 2 se encuentran relacionados las condiciones de desempeño aplicables para cada uno de los parámetros de calidad de gas se encuentran dentro del alcance del presente documento.

Tabla 2. Desempeño de sistemas de análisis de calidad de gas

Parámetro de calidad de gas	Alcance (1)	EMP	Tiempo de análisis
Poder calorífico	950 – 1150		
Contenido de humedad	0 – 6 lb/MMSCFD		
Punto de rocío de hidrocarburo	-## - 45°F	6°F	
H2S	4... ppm		
Azufre total (2)	16...		
Oxígeno	0 – 0.1%		
CO2 (3)	0 – 2.0%		
Nitrógeno (3)	0 – 5.0%		
Índice de wobbe (3)			

1. El alcance máximo de medición del analizador no debería ser superior al 50% del valor máximo que se espera medir en el sistema, en cualquier caso, el sistema de análisis debe ser capaz dar cumplimiento a los EMP establecidos para el alcance relacionado en la tabla.
2. Analizadores de suma de componentes azufrados no corresponde a analizadores de azufre total.
3. Aplica cuando estos componentes no son determinados con otro analizador, como un cromatógrafo empleado para la determinación del poder calorífico.

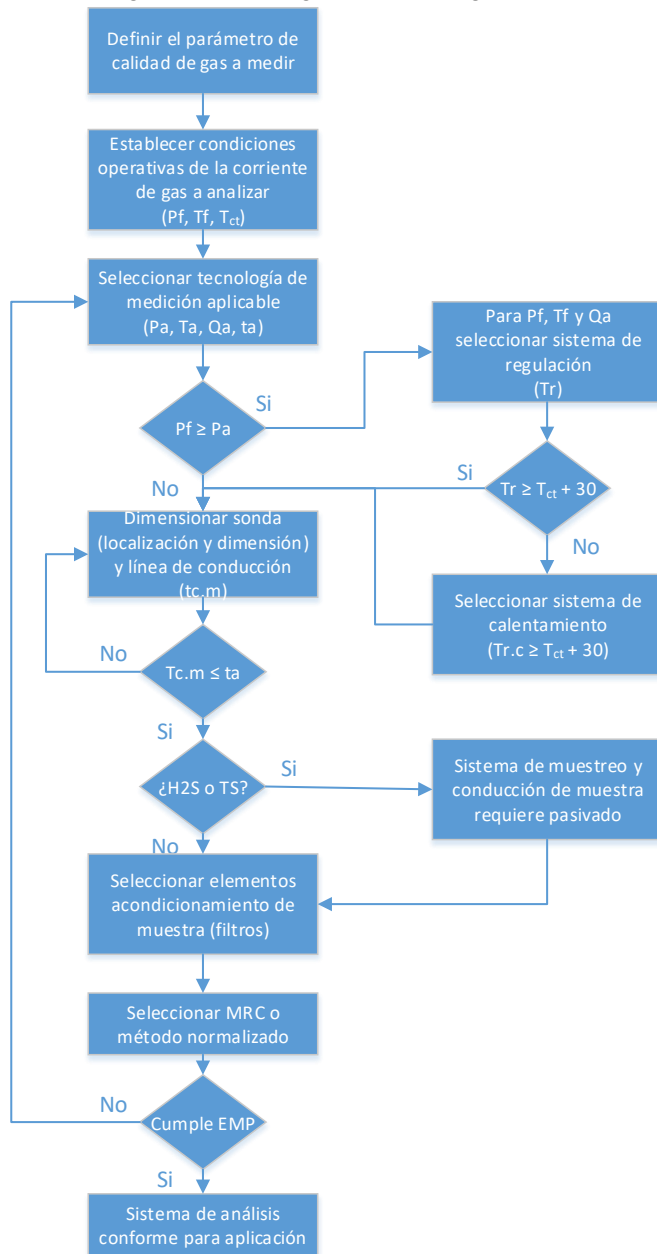
## 6. CONFIGURACIÓN SISTEMAS ANÁLISIS DE CALIDAD DE GAS

Como la configuración de un sistema de análisis en línea para un parámetro de calidad de gas dado depende de factores como: la tecnología de medición seleccionada, las condiciones operativas de la corriente de gas a analizar y de la calidad del gas a monitorear, se presentan a continuación las directrices generales que se deben tener en cuenta en la configuración de los elementos relevantes que conforman un sistema de análisis de calidad de gas y que pueden afectar el desempeño del mismo.

### 6.1 Directrices generales de configuración

En la siguiente figura se encuentra un diagrama con la metodología que se debe seguir para la configuración o validación de los elementos relevantes que conforman un sistema de análisis de calidad de gas, metodología aplicable independiente del parámetro de calidad de gas a medir.

Figura 1. Directrices generales de configuración



Donde,

- Pf: presión de la corriente de gas a analizar
- Tf: temperatura de la corriente de gas a analizar
- Tct: temperatura cricondenterm de la corriente de gas a analizar
- Pa: presión máxima admisible en el analizador
- Ta: temperatura máxima de análisis
- Qa: flujo de muestra requerido por el analizador
- ta: tiempo de análisis configurado
- Tr: temperatura de muestra de gas después de regulación
- Tr.c: temperatura de muestra de gas después de regulación y calentamiento
- tc.m: tiempo de conducción de muestra

## 6.2 Tecnologías de análisis

Todos los procesos de análisis de calidad de gas en transferencia de custodia deben tener asociado un método normalizado de acuerdo con el parámetro a analizar. A continuación se relacionan las tecnologías de análisis que deben ser empleadas en los sistemas de transferencia de custodia para la medición de los diferentes parámetros de calidad de gas:

Tabla 3. Tecnologías de análisis

Parámetro	Tecnología	Estándar de referencia
Poder calorífico	Calorímetro	ASTM D1826
	Inferencial (cromatografía)	ASTM D3588 ASTM D1945
	Métodos correlativos	AGA 10
Contenido de humedad	Analizadores electrónicos (piezoeléctricos, capacitancia, electrolítico)	ASTM D5454
	Espectroscopía laser de absorción	ASTM D7904
	Espejo enfriado	ASTM D1142
Punto de rocío de hidrocarburo	Espejo enfriado	ASTM D1142

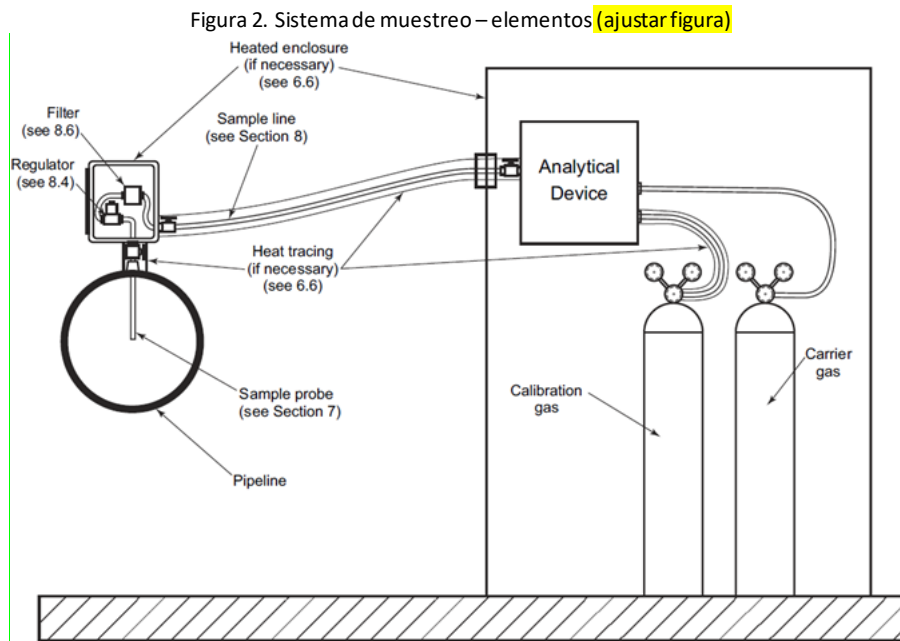
<b>H2S</b>	Cinta de acetato de plomo	ASTM D4084
	Cromatografía con FPD	ASTM D7165
	Laser de diodo sintonizable	ASTM WK52082
<b>Azufre total</b>	Análisis en línea	ASTM D7166
	Espectrometría de fluorescencia de rayos X	ASTM D2622
	Hidrogenólisis y colorimetría rateométrica	ASTM D4468
<b>Oxígeno</b>	Sensor electroquímico	ASTM D7607
	Cromatografía	ASTM D1945
<b>CO2</b>	Cromatografía	ASTM D1945
<b>Nitrógeno</b>	Cromatografía	ASTM D1945
<b>Índice de wobbe</b>	Cromatografía	ASTM D1945

Para el análisis de un parámetro de calidad de gas en particular, el proceso de selección de la tecnología de medición adecuada debe considerar, entre otros, los siguientes aspectos:

- La condición de operación de la corriente de gas (presión y temperatura) que ingresa al analizador se debe encontrar dentro de los parámetros establecidos por el fabricante.
- La temperatura ambiente debe encontrarse dentro de los rangos de operación reportados por el fabricante, este aspecto es especialmente importante para los analizadores que emplean dispositivos de enfriamiento en su operación.
- El rango de tiempo de análisis definido para la tecnología debe ser inferior a 15 minutos, lo anterior con la finalidad de garantizar que la muestra es representativa de la corriente que se está analizando.
- La tecnología de análisis debería limitar el uso de venteos al ambiente durante la operación normal del analizador.
- El sistema de análisis debe garantizar el uso seguro de equipos, materiales o sustancias de acuerdo con las recomendaciones específicas de cada fabricante.
- El sistema de análisis debería garantizar suministro eléctrico de respaldo que garantice la operación de los elementos ante fallas en el suministro eléctrico principal.

### 6.3 Sistema de muestreo

Los sistemas de muestreo están conformados por una combinación de los siguientes elementos: toma muestra, válvulas, líneas de conducción de muestra, unidad de acondicionamiento, reguladores, filtros, manómetros, etc. (Figura 2).



De manera general, todo sistema de muestreo debe cumplir con los requisitos establecidos en API MPMS 14.1 "Natural Gas Fluids Measurement, Section 1: Collecting and Handling of Natural Gas Samples for Custody Transfer" y/o ISO 10715 "Natural gas - Sampling guidelines".

El sistema de muestreo debe considerar los siguientes objetivos para mantener una muestra adecuada y de alta calidad:

- Debe tomar una muestra representativa de la corriente de gas a analizar.
- Debe reducir y/o controlar la presión de la muestra para garantizar las condiciones de operación en el analizador.

- Debe evitar la presencia de líquidos y/o partículas sólidas suspendidas en la corriente del gas, previniendo su ingreso al analizador.
- Debe garantizar que no se presenta cambio de fase en la muestra representativa del gas a analizar desde el punto de extracción hasta el analizador.
- 

En la tabla 4 se encuentran las directrices en cuanto a la configuración que debe tener un sistema de muestreo, especificando la obligatoriedad de instalar algunos elementos y las aplicaciones en las que se deben considerar condiciones particulares para la instalación de los mismos. En los numerales referenciados en la tabla 4, 6.3.1 al 6.3.5, se dará alcance a las directrices de cada elemento indicando.

Tabla 4. Sistema de muestreo - directrices.

Elemento	Requerido	Directrices
Sonda de muestreo	Si	6.3.1
Regulación	De acuerdo con la aplicación	6.3.2
Calentamiento	De acuerdo con la aplicación	6.3.3
Línea de conducción de muestra	Si	6.3.4

### 6.3.1 Sonda de muestreo

La selección y el diseño de la sonda de muestreo debe realizarse siguiendo los lineamientos establecidos en API MPMS 14.1. En la tabla 5 se encuentran relacionados los requisitos principales que se deben considerar en la selección de la sonda para un sistema de muestreo.

Tabla 5. Sonda de muestreo

Parámetro	Parámetro
Longitud máxima	<p>La longitud máxima de una sonda de muestreo está relacionada con el diámetro externo de la misma, para su verificación se deben tener en cuenta la ecuación suministrada en API MPMS 14.1 para tal fin.</p> <p>De manera general, se deberían tener en cuenta las siguientes recomendaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La longitud de la sonda de muestreo no debería ser en ningún caso inferior a 2" para evitar contaminación de la muestra desde la pared de la tubería.</li> <li>• La longitud de la sonda de muestreo no debería ser superior a 10" para evitar rotura de la misma por fatiga del material.</li> </ul>
Ubicación dentro de la tubería	La longitud seleccionada para la sonda de muestreo debe garantizar una muestra representativa de la corriente de gas a

Parámetro	Parámetro
	analizar, permitiendo su ubicación en el tercio central de la tubería.
Localización	<p>Para corrientes de gas cuya temperatura de operación se encuentra cerca a la temperatura cricondenterma, la sonda de muestreo debería estar ubicada como mínimo 5D aguas abajo de la singularidad más cercana.</p> <p>Para efectos de aplicación de la recomendación se debe considerar una diferencia de 30°F (16,7°C) como valor cercano entre la temperatura de operación y la temperatura cricondenterma.</p> <p>Entre las singularidades a considerar se encuentran las siguientes: codos, tes, válvulas y restricciones en el área de flujo. Las válvulas de bola completamente abiertas no se consideran como una singularidad para la aplicación de la recomendación.</p> <p>La sonda de muestreo debe ubicarse en la parte superior de la tubería.</p> <p>Las sondas de muestreo deben ubicarse en tramos de tubería en donde se presente continuamente flujo de gas.</p>
Tipo de sonda	Se debería propender por el uso de sondas con filtro y/o membranas integradas para reducir la posibilidad de ingreso de partículas a la sonda, garantizando que no se altera la corriente de gas por condensación de alguno de sus componentes.

### 6.3.2 Regulación

Como se estableció en la figura 1, para determinar si un sistema de análisis de calidad de gas requiere un sistema de regulación se debe validar lo siguiente:

- Determinar las condiciones operativas de la corriente de gas a analizar: Presión y temperatura del gas a condiciones de flujo, temperatura cricondentérmica.
- Establecer las condiciones operativas aplicables para la tecnología de análisis seleccionada para la determinación de un parámetro de calidad de gas en particular: rangos de presión, temperatura y caudal requeridos para el análisis, así como tiempos máximos y mínimos de análisis establecidos por el fabricante.
- Si la presión del gas a condiciones de flujo se encuentra por encima del rango de presión de operación de la tecnología de análisis seleccionada se debe instalar un sistema de regulación que cumpla con lo establecido en API MPMS 14.1 para este tipo de elementos.

En la tabla 6 se encuentran relacionados los requisitos principales que se deben considerar en la selección de un sistema de regulación.

**Tabla 6. Regulación**

Parámetro	Parámetro
Ubicación	<p>Cuando se requiere regular la presión de la muestra de gas para el análisis se pueden emplear dos alternativas:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Instalación de sonda toma muestra con regulación integrada.</li> <li>2. Instalación de regulador de presión en la línea de conducción de muestra.</li> </ol>
Nivel de regulación analizadores	<p>En los analizadores que requieren regular la presión de la muestra se debe garantizar que la presión con la que ingresa la muestra al analizador se encuentra dentro de los rangos de presión definidos por el fabricante.</p>
Nivel de regulación en analizadores de punto de rocío de hidrocarburo	<p>La presión con la cual se regula la muestra de gas que llega al analizador debe ser tal que permita la medición de temperatura de punto de rocío cercana al punto cricondentérmico del gas, con una diferencia teórica que no puede ser mayor a 1°F (1,8°C). La figura 3 muestra como ejemplo un esquema de la selección del margen de presión que podría utilizarse (entre 500 y 810 psia) para que la diferencia teórica entre el punto de rocío de hidrocarburo a la presión seleccionada y el punto cricondentérmico sea inferior a 1°F (1,8°C).</p>
Condensación	<p>El sistema de regulación debe garantizar que no se produce condensación retrógrada en ninguna etapa del proceso, garantizando una muestra representativa de la corriente de gas a analizar (ver figura 4). En algunos sistemas se emplean reguladores de varias etapas para mitigar este riesgo.</p>
Temperatura de la muestra	<p>El sistema de regulación, independiente de la ubicación, debe garantizar que la muestra de gas se encuentra 30°F (16,7°C) por encima de la temperatura cricondentérmica de la corriente del gas a analizar.</p> <p>Si se determina que en un sistema de regulación no es posible dar cumplimiento a la condición de temperatura descrita anteriormente, se debe emplear un sistema de calentamiento de la muestra de acuerdo con lo establecido en el numeral 6.3.3</p>

Figura 3. Diagrama de fase – selección de presión regulada (ajustar gráfica)

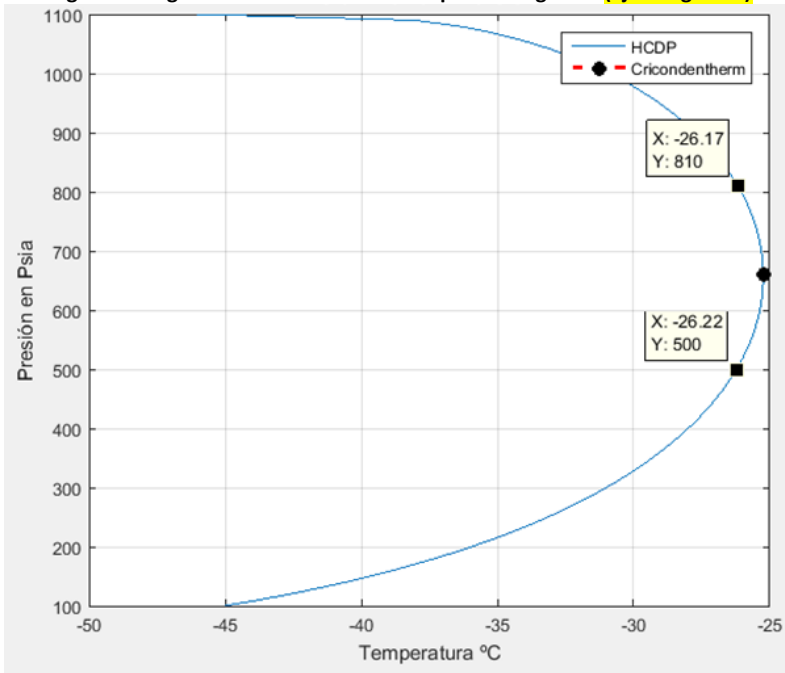
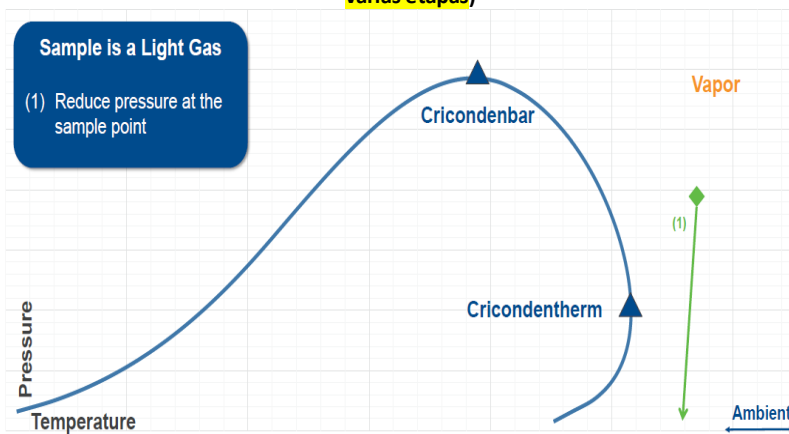


Figura 4. Regulación muestra de gas (ajustar gráfica para incluir regulación con una etapa y con varias etapas)



### 6.3.3 Calentamiento de muestra

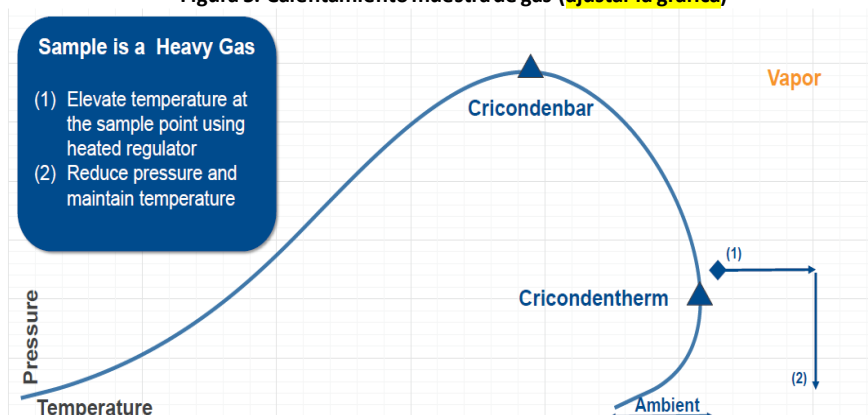
Cuando en una muestra de gas existe la posibilidad de condensación retrograda en algún punto del sistema de análisis, desde la toma de muestra hasta el ingreso de la misma al analizador, se requiere la instalación de un sistema de calentamiento que permita garantizar una temperatura suficientemente alta que evite la condensación (ver figura 5).

En la tabla 7 se encuentran relacionados los requisitos principales que se deben considerar en la selección de un sistema de calentamiento.

**Tabla 7. Calentamiento**

Parámetro	Parámetro
Temperatura de muestra	El sistema de calentamiento se debe instalar para garantizar que el nivel mínimo de temperatura en la muestra de gas dentro del sistema de análisis debe mantener una diferencia positiva de 16.7°C (aproximadamente 30°F) con respecto a la temperatura cricondéntérmica, aplicable a durante su paso por todo el sistema de análisis, desde la toma muestra hasta el ingreso de la misma al analizador.
Sistemas de análisis sin regulación	Cuando un sistema de análisis no cuenta con regulación, pero si puede presentar una temperatura de muestra inferior a 16.7°C (aproximadamente 30°F) con respecto a la temperatura cricondéntérmica, se debe instalar un sistema de calentamiento para la línea de conducción de muestra (sistemas "heat tracing").
Sistemas de análisis con toma muestra regulada	Para los sistemas de análisis en los que la regulación se realiza en la sonda toma muestra y que independiente del número de etapas del regulador se presenta el riesgo de incumplir el primer parámetro de la presente tabla relacionado con la temperatura de muestra, se debe instalar un sistema de regulación con calentamiento integrado a dicho regulador, es decir, que el calentamiento no se realiza en el sistema posterior a la reducción de presión, ya que esta condición tiene el potencial de generar la condensación retrograda en la muestra de gas tomada.
Sistemas de análisis con regulador de presión en "loop" de muestreo	Para los sistemas de análisis en los que la regulación se realiza mediante un elemento ubicado en el "loop" de muestreo, es decir, que la regulación se encuentra alejada del punto de toma de muestra, que se cuenta con una línea de conducción de muestra entre estos dos elementos y que adicionalmente se presenta el riesgo de incumplir el primer parámetro de la presente tabla relacionado con la temperatura de muestra, se debe evaluar la necesidad de instalar una combinación de los sistemas de calentamiento descritos anteriormente: tanto para la línea de conducción de muestra ("heat tracing"), como calentamiento integrado en el regulador.

Figura 5. Calentamiento muestra de gas (ajustar la gráfica)



### 6.3.4 Línea de conducción de muestra

El diseño de la línea de conducción de muestra, lo cual incluye trazado, dimensiones, accesorios, materiales, etc., puede afectar la calidad de la muestra que llega al analizador y por lo tanto debe ser verificado en cada sistema de análisis con la finalidad de garantizar que la muestra analizada es representativa de la corriente del gas que se está muestreando.

En la tabla 8 se encuentran relacionados los requisitos principales que se deben considerar en el diseño de las líneas de conducción de muestra.

Tabla 8. Línea de conducción de muestra

Parámetro	Parámetro
Trazado	Las líneas de muestreo se deberían diseñar con una inclinación positiva, desde el punto de muestra hasta el punto de análisis, con la finalidad de minimizar la acumulación de líquidos o partículas.
Accesorios	Si el trazado de la línea de conducción de muestra presenta cotas inferiores a la ubicación del analizador y/o el sistema de muestreo, se debería contemplar la instalación de una válvula de drenaje ubicada en la cota más baja del trazado, a través de la cual se podrá verificar la limpieza de la línea de conducción de muestra.
Dimensiones	La línea de muestreo debe ser diseñada para asegurar que la muestra que llega al analizador es representativa de la corriente de gas a analizar, es decir, que la muestra no presenta retrasos considerables entre el momento de muestreo y el momento de análisis, así como tampoco presenta variaciones de calidad por condensación o caídas de presión.

Parámetro	Parámetro
	<p>Los parámetros a considerar en el adecuado dimensionamiento de la línea de muestreo son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diámetro del tubing.</li> <li>• Longitud de la línea de conducción de muestra.</li> <li>• Caudal de análisis.</li> <li>• Caudal de bypass (si aplica).</li> <li>• Presión de la línea.</li> </ul> <p>La combinación adecuada de estos parámetros debe garantizar que el gas contenido dentro de la línea sea remplazado entre cada análisis, es decir, que el gas contenido se debe renovar máximo cada 15 minutos dentro de la línea de muestreo.</p>
Materiales	<p>En las líneas de conducción de muestra se debería emplear tubing de acero inoxidable 304 o 316. Se puede emplear tubing de otros materiales cuando la muestra de gas puede ocasionar un efecto adverso en el tubing de acero.</p> <p>Para líneas de muestreo asociadas a sistemas de análisis de H<sub>2</sub>S y azufre total se debe emplear tubing con tratamientos especiales o materiales especiales que prevengan la afectación de la muestra con el material empleado.</p>

#### 6.4 Métodos de referencia para verificación

Una vez definida la tecnología de análisis y los elementos que garanticen la conducción de una muestra representativa del gas natural, desde la línea de proceso hasta el analizador, es necesario asegurar que el sistema es adecuado para su uso en aplicaciones de transferencia de custodia, lo cual se logra mediante la evaluación del desempeño metrológico.

Para la evaluación del desempeño metrológico de los sistemas de análisis se deben emplear materiales de referencia certificados con las características adecuadas para tal fin. En casos particulares, tales como la medición de contenido de humedad, es posible la aplicación de un método normalizado como el descrito en el estándar ASTM D1142 para el proceso de evaluación de desempeño metrológico; lo anterior teniendo en cuenta que la incertidumbre asociada al método sea adecuada para dar cumplimiento a la evaluación de error máximo permisible definido en la Tabla 2.

En la Tabla 9 se relacionan las características generales que deben tener los materiales de referencia certificados para ser empleados en la evaluación del desempeño metrológico de sistemas de análisis de calidad de gas, entre estas características se encuentran la composición y la exactitud.

Tabla 9. Características de los materiales de referencia certificados de acuerdo con el parámetro a medir.

Parámetro	Composición	Exactitud
Poder calorífico (inferencial)	El material de referencia certificado (gas de calibración) debe contar con todos los componentes que el cromatógrafo analizará en la corriente de gas.	Metano: Máximo $\pm 0,2$ % relativo Etano, propano, butanos, dióxido de carbono, nitrógeno: Máximo $\pm 1$ % relativo.  Todos los demás componentes: Máximo $\pm 2$ % relativo
Contenido de humedad	Agua: 70 ppmv Metano: balance Presión de llenado máximo: XXX psig	$\pm 1\%$
Punto de rocío de hidrocarburo	El material de referencia certificado (gas de calibración) debe contar con todos los componentes que el cromatógrafo analizará en la corriente de gas.	Metano: Máximo $\pm 0,2$ % relativo Etano, propano, butanos, dióxido de carbono, nitrógeno: Máximo $\pm 1$ % relativo.  Todos los demás componentes: Máximo $\pm 2$ % relativo
H2S y Azufre total	H2S: 5 ppm Metil mercaptano: 11 ppm Metano: balance	H2S: $\pm 2\%$ Metil mercaptano: $\pm 1\%$
Oxígeno	Oxígeno: 1000 ppm Nitrógeno: Balance	$\pm 1\%$

Aspectos generales:

- La presión máxima de llenado de los cilindros que contienen los materiales de referencia certificados debe ser tal que durante su transporte, almacenamiento y uso no se presente condensación.
- La temperatura cricondentérmica de los materiales de referencia debe permitir una adecuada medición en los analizadores sin comprometer la integridad del gas por condensación.

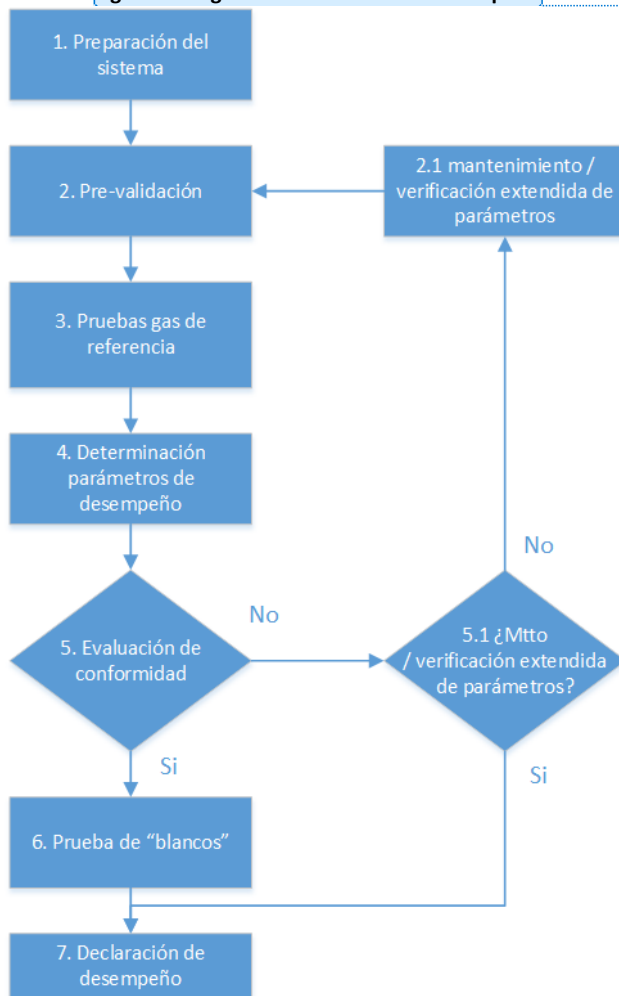
Para la operación adecuada de los analizadores, así como para el desarrollo de las pruebas de blancos, se deben emplear gases auxiliares (helio, nitrógeno e hidrógeno según aplique) con calidad UHP (Grado 5.0).

## 7. EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO

La evaluación de desempeño de un sistema de análisis de calidad de gas se divide en tres etapas:

- Etapa 1. Desarrollo de pruebas. Numerales 1 a 3 en figura 6.
- Etapa 2. Determinación de parámetros de desempeño. Numeral 4 en la figura 6
- Etapa 3. Declaración de desempeño. Comprende los numerales 5 al 7 en la figura 6.

Figura 6. Diagrama – Evaluación de desempeño



**Comentado [JFVC5]:** Ajustar el numeral 5 por verificación metrológica.

Y el 7 por declaración de conformidad

A continuación se detalla cada una de las etapas que comprenden la evaluación de desempeño de un sistema de análisis de calidad de gas.

### **7.1 Etapa 1. Desarrollo de pruebas**

La etapa correspondiente al desarrollo de las pruebas en campo para evaluación de desempeño de un sistema de análisis comprende lo siguiente: preparación del sistema, prevalidación y pruebas con gas de referencia; en los casos en que la evaluación de conformidad no es satisfactoria, como parte del desarrollo de pruebas se requiere incluir en esta etapa el mantenimiento general del sistema, así como la verificación extendida de parámetros (Ver numerales 1,2, 2.1 y 3 de la figura 6).

Mediante el desarrollo de esta etapa se busca establecer si el analizador, la instalación, configuración y condiciones operativas, se encuentran conformes de acuerdo con los estándares técnicos aplicables en cada aspecto. Con el cumplimiento de estos requerimientos se busca mantener bajo control los diferentes parámetros que podrían influir en la calidad de los resultados obtenidos.

#### **7.1.1 Preparación del sistema**

Un sistema de análisis incorpora una selección y configuración de elementos complementarios aparte del analizador, por tal motivo, se debe tener en cuenta que para la obtención confiable de una propiedad física o química representativa debe involucrar la totalidad de los elementos que conforman el sistema, entre los cuales se encuentran: sistema de muestreo, línea de conducción de la muestra, acondicionador de muestra, instrumentación, hardware, software e indicación.

En consideración a lo anterior, para la correcta evaluación de desempeño de un sistema de análisis se debe garantizar que este opere bajo condiciones específicas que incluyen el cumplimiento de los siguientes aspectos:

- Códigos eléctricos y de seguridad.
- Recomendaciones del fabricante.
- Condiciones operativas especificadas por el fabricante.
- Algoritmos de cálculo.
- Programas de mantenimiento y verificación.

Como parte de la preparación del sistema se deben verificar y registrar aspectos operativos del sistema de análisis, tales como:

- Lecturas de parámetros generales de operación aplicables, presiones, temperaturas, flujos, etc.
- Estado de limpieza de los elementos que conforman el sistema de acondicionamiento de muestra: filtros, reguladores, etc.
- Estado de alarmas reportado por el analizador respectivo.

#### **7.1.2 Pre-validación**

Cuando un analizador es instalado inicialmente o después de haberse realizado un mantenimiento mayor, se debe realizar una prueba de diagnóstico para demostrar que el analizador cumple las

especificaciones del fabricante o las condiciones de desempeño históricas. Esta prueba de diagnóstico puede requerir el ajuste del analizador para proporcionar un nivel de respuesta predeterminado de acuerdo con el material de referencia empleado. El ajuste puede realizarse mediante Hardware, Software, o la combinación de los dos.

Para las pruebas de diagnóstico se pueden emplear dos tipos diferentes de alternativas:

- **Prueba de blanco analítico.** Aplicable en analizadores de H<sub>2</sub>S, azufre total, oxígeno, contenido de humedad y punto de rocío de hidrocarburo. Para este tipo de diagnóstico se debe emplear nitrógeno grado 5.0. No se debe emplear gas con calidad diferente debido a que esto puede alterar considerablemente el resultado de las mediciones.
- **Diagnóstico con gas de referencia.** Aplicable en el caso de los cromatógrafos, busca la determinación de parámetros de desempeño que evidencien una operación normal de los equipos; entre estos parámetros se encuentran los siguientes: a) la suma de todos los componentes sin normalizar debe ser igual a 100% +/-1%; b) la desviación en los factores de respuesta no debe ser superior a 1% y c) la desviación en los tiempos de retención no debe ser superior a 1 segundo.

Para cualquiera de los dos tipos de pruebas de diagnóstico se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Garantizar condiciones operativas de la muestra adecuadas.
- Permitir la estabilización en la operación del analizador de acuerdo con las condiciones dadas por el tipo de diagnóstico a efectuar.
- Una vez alcanzado el periodo de estabilización se debe verificar la repetibilidad de las lecturas obtenidas, considerando para esta evaluación mínimo tres lecturas del parámetro medido.
- Si la repetibilidad en las pruebas de diagnóstico no es satisfactoria se debe proceder con el mantenimiento del analizador considerando las recomendaciones del fabricante, en cuyo caso se da por finalizada la evaluación de desempeño del sistema de análisis.
- Si la repetibilidad en las pruebas de diagnóstico es satisfactoria, se da continuidad al proceso de evaluación de desempeño.
- Los resultados correspondientes a las pruebas de diagnóstico en la etapa de prevalidación deben ser registrados adecuadamente, indicando si fue necesario realizar alguna etapa de ajuste con gas de referencia o mantenimiento de los elementos sensores.

#### 7.1.2.1 Mantenimiento y evaluación extendida de parámetros

Si el resultado de las pruebas de diagnóstico no es satisfactorio o si como resultado del proceso de evaluación de conformidad del sistema de análisis no es posible dar cumplimiento al requisito de error máximo permisible (EMP), se debe proceder a realizar el mantenimiento y limpieza de los diferentes elementos que conforman el sistema de análisis y que se encuentran en contacto con la muestra de gas natural. Entre los elementos a verificar se encuentran los siguientes:

- **Sistemas de filtración:** de requerirse se debe realizar cambio de los elementos filtrantes empleados para el acondicionamiento de la muestra.

- **Celdas de medición:** debido al contacto permanente de las celdas de medición con el gas natural, se puede presentar contaminación de las mismas; el proceso de limpieza de estas celdas debe ser realizado por personal calificado.
- **Sistema de regulación:** debido al potencial de condensación que se presenta en la etapa de regulación de las muestras de gas, se debe verificar que los elementos se encuentren libres de cualquier líquido, comprobando adicionalmente que el sistema de calentamiento de la muestra funciona adecuadamente.
- **Línea de conducción de muestra:** ante la posibilidad de presentar condensados en las diferentes líneas de conducción de muestra, se debe verificar el estado de limpieza de cada una de ellas.

Adicional al mantenimiento y limpieza de los elementos, se debe realizar una verificación extendida de los parámetros operativos del analizador, entre los cuales se encuentran los siguientes:

- **Suministro eléctrico:** Se debe confirmar que el analizador se encuentre operando dentro de los límites seguros definidos por el fabricante, considerando entre otros, no solo nivel de voltaje sino también calidad de la energía suministrada.
- **Calibración de span:** Cuando la tecnología del analizador lo permite y adicionalmente se cuenta con dos materiales de referencia certificados de composición diferente, se puede desarrollar una calibración de span con la finalidad de ajustar la linealidad en la respuesta del analizador. La calibración de span no sustituye la prueba con material de referencia indicado en el numeral 7.1.4, solo sirve de apoyo para mejorar el desempeño del analizador cuando no se obtiene un resultado satisfactorio en la pre-validación.

En general, se debe realizar la evaluación de los diferentes parámetros operativos del sistema de acuerdo con las recomendaciones del fabricante; tales como presión, temperatura y flujos de muestra. Lo anterior con la finalidad de descartar factores que puedan estar afectando el desempeño del analizador.

### 7.1.3 Prueba con material de referencia

Una vez la pre-validación del sistema de análisis finaliza con resultados satisfactorios, se procede con el desarrollo de la prueba del sistema de análisis empleando el material de referencia certificado. Para lo cual se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones.

- De acuerdo con el parámetro de calidad de gas a evaluar, el material de referencia a emplear debe cumplir con las condiciones establecidas en el numeral 6.4.
- Con la finalidad de mitigar cualquier efecto en el cambio de las propiedades o características del material de referencia, se debe asegurar que su instalación se encuentra lo más cerca posible al analizador, optimizando adicionalmente el uso del material de referencia empleado.
- Antes de dar inicio a las pruebas con material de referencia se deben validar y registrar apropiadamente las condiciones operativas de la muestra que ingresa al sistema de análisis, tales como: presión, temperatura y caudal de muestra. Estas condiciones operativas se deben encontrar dentro de los rangos establecidos por el fabricante para su uso.

- Particularmente con el ajuste del flujo de gas, se debería en todo momento buscar la operación con el mínimo caudal que permita una operación confiable del analizador, esto con la finalidad de optimizar la cantidad de material de referencia disponible.
- Permitir la estabilización en la operación del analizador de acuerdo con las condiciones dadas por el tipo de diagnóstico a efectuar. Este periodo de estabilización no debe ser superior a una (1) hora, de acuerdo con la configuración del sistema.

Teniendo en cuenta que las pruebas con material de referencia buscan determinar el desempeño metroológico del sistema de análisis, una vez cumplido el periodo de estabilización definido anteriormente, se requiere la toma de mínimo tres (3) lecturas de indicación del parámetro de calidad de gas objeto de evaluación; cada lectura debe corresponder a un ciclo de análisis independiente. Para los sistemas de análisis cuyo principio de funcionamiento permite la indicación continua, las lecturas se deberán tomar con un intervalo de tiempo no inferior a cinco (5) minutos.

## **7.2 Etapa 2. Determinación de parámetros de desempeño**

Esta etapa corresponde a la toma de datos de prueba, cálculo y estimación de parámetros de desempeño, correspondiente al numeral 4 de la figura 6. La aplicación del numeral mencionado permite obtener de manera sistemática y estructurada los resultados de medición del analizador que serán empleados posteriormente para la evaluación del desempeño.

Una vez recopilados los datos de la prueba, se debe realizar el proceso de tratamiento de dichos datos con la finalidad de determinar los errores promedio de medición y estimación de la incertidumbre asociada a dicho error.

### **7.2.1 Error de medición promedio**

Para la determinación del error promedio de medición se deben considerar los siguientes aspectos:

- El error de medición promedio se debe evaluar con los datos considerados como válidos tomados después del periodo de estabilización, para este cálculo se deben contar con mínimo tres (3) registros del analizador.
- El error se determina como la diferencia entre la indicación del analizador y el valor de referencia calculado y/o certificado para el material de referencia, teniendo en cuenta las mismas condiciones base y de proceso en los casos en que aplique.
- La unidad en la cual se expresa el error de medición promedio debe corresponder con la misma unidad establecida para el Error Máximo Permissible (EMP) en la tabla 2; lo cual puede ser tanto en términos absolutos como en términos relativos, según aplique.

### **7.2.2 Incertidumbre asociada al error de medición promedio**

En la estimación de la incertidumbre se deben seguir los lineamientos establecidos en la GTC 51 "Guía para la estimación de incertidumbre", teniendo en cuenta, entre otras, las fuentes de incertidumbre asociadas a: resultados de la prueba, características del analizador y características del material de referencia empleado. A continuación se describen las principales fuentes a tener en cuenta en la estimación de la incertidumbre asociada al error de medición promedio:

Tabla 10. Parámetros mínimos a considerar en la estimación de incertidumbre

Fuente de incertidumbre a considerar	Descripción
Resultados de la prueba	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Repetibilidad en la indicación del analizador (desviación estándar de las lecturas).</li> </ul>
Características del analizador	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Resolución en la indicación del analizador.</li> <li>● Exactitud de medida declarada por el fabricante del analizador.</li> <li>● Incertidumbre asociada al método de medición empleado. Algunas referencias a aplicar son:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Incertidumbre asociada al método de espejo enfriado (0,5°F de acuerdo con ASTM D1142).</li> </ul> </li> </ul>
Características del material de referencia	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Incertidumbre asociada al parámetro a evaluar declarada por el laboratorio en el certificado del material de referencia.</li> <li>● Cuando la determinación del parámetro se realiza de manera indirecta a partir de la composición, se debe considerar la incertidumbre asociada con la determinación del parámetro:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Incertidumbre asociada al método (RSK) empleado para la determinación del punto de rocío de referencia a partir de la cromatografía del gas (típicamente 1°F).</li> </ul> </li> </ul>

Como alternativa para la estimación de la incertidumbre se podrá emplear un enfoque aproximado considerando la combinación cuadrática de las diferentes fuentes de incertidumbre mencionadas anteriormente, en las mismas unidades.

### 7.3 Etapa 3. Declaración de desempeño

La etapa tres considera los numerales 5 al 7 de la figura 6 y comprende evaluación del desempeño del sistema mediante comparación con los criterios de verificación aceptados (error máximo permisible), considerando etapas intermedias de mantenimientos y verificación extendida de parámetros. Con el desarrollo de esta etapa se debe obtener una declaración de conformidad del sistema de análisis para la medición de calidad de gas natural en transferencia de custodia.

#### 7.3.1 Verificación metrológica

Esta etapa del proceso de evaluación de desempeño para los sistemas de análisis consiste en verificar si el error promedio de indicación del analizador se encuentra dentro del límite de error máximo permisible (EMP) aplicable para el control del parámetro de calidad de gas. A partir de la verificación del error máximo permisible se busca contar con una evidencia cuantitativa que permita declarar el desempeño metrológico del analizador, expresando de esta manera la idoneidad del sistema para ser empleado en aplicaciones de transferencia de custodia.

En el proceso de evaluación de conformidad se deben considerar los siguientes aspectos:

- El error de medición promedio, obtenido de acuerdo con lo indicado en el numeral 7.2.1, debe ser menor o igual al error máximo permisible (EMP) aplicable para el parámetro evaluado de acuerdo con los valores establecidos en la Tabla 2.
- La incertidumbre asociada al error de medición promedio, estimada de acuerdo con lo indicado en el numeral 7.2.2, debe ser inferior a un tercio (1/3) del error máximo permisible (EMP) aplicable al parámetro evaluado de acuerdo con los valores establecidos en la Tabla 2.

Cuando se cumplen los dos criterios definidos anteriormente, se establece que el resultado de la evaluación de conformidad del desempeño metrológico del sistema de análisis es satisfactorio, de no cumplirse alguno de los dos criterios, se define el resultado como no satisfactorio.

Una vez definida la evaluación de conformidad en el desempeño se procede de acuerdo con lo siguiente:

- **Resultado satisfactorio** en la evaluación de conformidad del desempeño metrológico: se procede a realizar la prueba de blanco en el analizador con la finalidad de purgar cualquier residuo de gas de referencia que pueda afectar las lecturas del gas de línea, la prueba de blanco es similar a la prueba de descrita en la etapa de prevalidación.
- **Resultado No satisfactorio** en la evaluación de conformidad del desempeño metrológico: cuando el desempeño metrológico del sistema de análisis no permite dar cumplimiento a los requisitos metrológicos es posible desarrollar, por una única vez, el mantenimiento y evaluación extendida de parámetros (ver numeral 7.1.2.1). de no contarse con los recursos para el desarrollo de la actividad o si esta ya ha sido efectuada anteriormente sin permitir alcanzar resultados satisfactorios, se continúa con el proceso de declaración de desempeño siguiendo el diagrama de la figura 6.

En cualquier caso, considerando que las pruebas se desarrollan sobre analizadores en línea que hacen parte de sistemas de transferencia de custodia, se debe garantizar que al finalizar el desarrollo de las actividades el sistema de análisis se encuentra operativo, con los parámetros recomendados por el fabricante y reportando señales a los agentes respectivos; registrando adecuadamente los parámetros operativos con los cuales se deja en funcionamiento el sistema.

### 7.3.2 Declaración de desempeño

La evaluación del desempeño de los sistemas de análisis se debe realizar al inicio de las operaciones de un punto de transferencia de custodia y siempre después de un mantenimiento mayor de los sistemas o una parada prolongada de los mismos.

De manera periódica, se debe realizar la evaluación de desempeño de los sistemas para análisis de calidad de gas en sistemas de transferencia de custodia siguiendo las frecuencias y actividades descritas en el numeral 8 “control metrológico”.

Para declarar que un sistema de análisis es conforme para la aplicación en puntos de transferencia de custodia de gas natural (según aplique), se deben tener en cuenta los siguientes dos aspectos:

- Resultados satisfactorios (cero no conformidades) en el proceso de inspección para validar el cumplimiento de los requisitos establecidos en los numeral 5 y 6.
- Resultado satisfactorio (cumplimiento de EMP e incertidumbre asociada) en el proceso de evaluación de desempeño metrológico de acuerdo con la evaluación de conformidad descrita en el numeral 7.3.1.

De no lograrse la conformidad en uno o en los dos aspectos mencionados anteriormente, el sistema de análisis se declara como No Conforme.

## **8. CONTROL METROLÓGICO**

El control metrológico de los sistemas de análisis de calidad de gas se obtiene mediante la adecuada trazabilidad de los materiales de referencia empleados en la verificación, el control de acceso a los sistemas de análisis y el desarrollo de las verificaciones, tanto inicial como periódica, para cada una de las magnitudes.

### **8.1 Trazabilidad**

Las mediciones obtenidas en los sistemas de análisis de calidad de gas deben garantizar la trazabilidad de los resultados obtenidos para cada uno de los parámetros de análisis.

La trazabilidad en las mediciones de un sistema de análisis se debe demostrar mediante el desarrollo de todos los procesos de verificación/calibración en campo, los cuales son contemplados en el presente numeral, empleando materiales de referencia certificados y trazables.

Para asegurar la adecuada trazabilidad de los materiales de referencia y de las mediciones obtenidas con los sistemas de análisis se debe tener en cuenta lo siguiente:

- El material de referencia debe cumplir con las condiciones de composición y exactitud definidas en la tabla 9.
- Los materiales de referencia certificados deben ser preparado empleando método gravimétrico, siguiendo métodos normalizados como el establecido en ISO 6142.
- Los certificados emitidos para demostrar la trazabilidad de los materiales de referencia deben ser emitidos de acuerdo con los lineamientos dados en ISO 6141.
- El material de referencia empleado en las diferentes pruebas debe contar con vigencia al momento de realizar las verificaciones.

### **8.2 Acceso a los sistemas de análisis**

Como una medida de control sobre los procesos mediante los cuales se proporciona trazabilidad a los sistemas de medición, así como el acceso y modificación de parámetros significativos que afectan los resultados de medición, los sistemas de análisis de calidad de gas deben contar con sus respectivos sellos de seguridad y marcado de acuerdo con las siguientes indicaciones:

#### **8.2.1 Sello de seguridad**

Se deben emplear y controlar sellos (físicos o electrónicos) en los elementos que conforman un sistema de análisis de calidad de gas y que son susceptibles de manipulación o alteración sin el debido registro que permita auditar dicho cambio.

#### **8.2.2 Marcado**

Todos los elementos de un sistema de análisis de calidad de gas sobre los cuales se realizan procesos de verificación de la exactitud deben contar con marcado local que evidencia el estado metrológico del elemento, dicho marcado debe contener como mínimo la siguiente información:

- Identificación del elemento, según aplique para los equipos disponibles en el sistema de análisis de calidad de gas.
- Fecha de la última calibración/verificación del elemento, con especificación de mes y año como mínimo.
- Resultado de la verificación, en términos establecidos en el numeral 7.3.2 “Declaración de desempeño”.

### 8.3 Verificación inicial

La aprobación inicial de un sistema de análisis de calidad de gas para transferencia de custodia debe dejar constancia de la información técnica de los elementos instalados, así como de la conformidad y trazabilidad en las mediciones del mismo, la conformidad del sistema de medición se da mediante la evaluación documental en conjunto con la inspección física del sistema de medición, la cual debe ser ejecutada por el transportador para sistemas conectados a líneas de transporte, por el distribuidor para sistemas de salida conectados a redes de distribución o por un organismo de inspección competente.

Tabla 11. Parámetros y alcance a evaluar en la verificación inicial

Parámetro a evaluar	Descripción del alcance
<b>Inspección. Verificación de la conformidad del sistema de análisis</b>	Corresponde al desarrollo de los numerales 5 y 6, los cuales contemplan la evaluación global de la instalación y de la configuración de los módulos que lo conforman. Esta etapa considera lo siguiente: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificación de requisitos de configuración.</li> <li>• Validación de las directrices de configuración del sistema de análisis.</li> <li>• Verificación del cumplimiento de las normas técnicas aplicables: diseño de instalación, elementos mínimos requeridos, etc.</li> </ul>
<b>Desarrollo de pruebas metrológicas</b>	Desarrollo de los numerales 7.1.1 al 7.1.3, los cuales contemplan lo siguiente: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Preparación del sistema.</li> <li>• Prevalidación.</li> <li>• Mantenimiento y evaluación extendida de parámetros.</li> <li>• Pruebas con material de referencia.</li> </ul>
<b>Determinación de parámetros de desempeño</b>	Desarrollo de los numerales 7.2.1 al 7.2.2, los cuales contemplan lo siguiente: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinación de error de medición promedio.</li> <li>• Estimación de incertidumbre asociada al error de medición promedio.</li> </ul>
<b>Declaración de desempeño</b>	Desarrollo de los numerales 7.2.1 al 7.2.2, los cuales

	contemplan lo siguiente: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificación metrológica.</li> <li>• Declaración de conformidad.</li> </ul>
--	---

#### 8.4 Verificaciones posteriores

Se deben realizar verificaciones posteriores a los sistemas de análisis de calidad en transferencia de custodia con la finalidad de realizar control metrológico de los mismos. El alcance de las actividades desarrolladas en las verificaciones posteriores es el mismo de la verificación inicial, considerando las frecuencias de control que se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12. Frecuencia de las actividades de control metrológico (verificaciones posteriores)

Parámetro a evaluar	Frecuencia de control
<b>Verificación metrológica</b>	<p>Verificación metrológica del sistema de análisis de calidad de gas se debe realizar con una frecuencia de ejecución que puede oscilar entre 1 vez por mes y 1 vez cada 3 meses.</p> <p>En caso que el sistema de análisis esté siendo verificado con la máxima frecuencia estipulada en esta norma (1 vez por mes), y en dos (2) verificaciones consecutivas se detecten errores superiores a los EMP correspondientes, se debe aplicar lo establecido en la reglamentación para el transporte de gas natural, la que la modifique o reemplace. Salvo acuerdo entre las partes, ningún instrumento o equipo debe estar sometido a verificaciones con una frecuencia mayor a la máxima estipulada en esta norma (P. Ej. Quincenal, semanal, diaria, etc.).</p> <p>Estas actividades pueden ser ejecutadas en cualquier momento a solicitud de uno de los agentes.</p>
<b>Declaración de conformidad</b>	<p>Después de realizada la verificación inicial del sistema de análisis de calidad de gas, se debe realizar verificaciones de seguimiento de acuerdo con la siguiente frecuencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Primera inspección posterior: un (1) año después de la entrada en operación.</li> <li>• Inspecciones posteriores: cada cinco (5) años, contados a partir de la realización de la entrada en servicio.</li> </ul>

**Anexo # (Mauricio).**

Guía para dimensionamiento líneas de muestreo.

Función de:

Caudal

Diámetro del tubing

Longitud de la línea de conducción de muestra.