

EVALUACION DE SISTEMAS DE MEDICION DE FLUJO - CUMPLIMIENTO NORMATIVO Y ESTIMACION DE INCERTIDUMBRE

Israel Martínez Silva - imartin@ciateq.mx
Marco Antonio Vázquez Montes – marvaz@ciateq.mx
Diego Nelson Moncada Benavides - nmoncada@ciateq.mx
Centro de Tecnología Avanzada CIATEQ, A. C. www.ciateq.mx
Querétaro, Qro. - México

“LO QUE NO SE PUEDE MEDIR, NO SE PUEDE MEJORAR”

1. INTRODUCCIÓN

La medición de flujo en escenarios de transferencia de custodia implica que la exactitud y precisión sean variables a controlar debido a los costos generados por una errónea medición. La evaluación de los sistemas de medición es el primer paso con el objeto de reducir esos errores.

Los sistemas de medición están compuestos, entre otros, por los elementos medidores de flujo, dispositivos medidores de presión y temperatura, muestreadores y analizadores de densidad y/o composición del fluido medido, accesorios de tubería como acondicionadores de flujo, válvulas, etc. Estos elementos se encuentran generalmente reunidos en un patín de medición el cual está instalado en campo.

Sin embargo, el sistema de medición lo complementan los dispositivos de cálculo de flujo (computador de flujo) y de adquisición de datos que se encuentran generalmente en un lugar cercano o cuarto de control que mantiene una atmósfera adecuada para los dispositivos electrónicos.

Para la gran mayoría de los elementos descritos anteriormente existe normatividad API, AGA, GPSA, etc., que recomienda su uso e instalación con el objeto de que su desempeño sea óptimo. Es por esto que la evaluación de un sistema de medición no se limita exclusivamente al medidor de flujo.

Se presenta a continuación un caso práctico en donde se evalúa contra normatividad un sistema de medición y describe al final la incertidumbre estimada del sistema con base en los resultados de las evaluaciones hechas.

2. DESCRIPCION DEL SISTEMA

El patín de medición está compuesto por dos cabezales, uno de entrada y otro de salida ambos de 30” NPS, los trenes de medición son cuatro en total de 12” NPS. Adicionalmente se tiene una línea de bypass que une ambos cabezales. Cada tren de medición cuenta con válvulas de bloqueo en cada extremo, acondicionador de flujo del tipo 19 tubos, dispositivo portaplaca y válvula de control de 8”.

En lo referente a la instrumentación instalada, cada tren de medición cuenta con dos elementos de temperatura aguas abajo del dispositivo portaplaca, uno de ellos

conectado a un transmisor de temperatura, el cual a su vez con un transmisor de flujo (presión diferencial) y un transmisor de presión estática en un arreglo de transmisor multivariable se comunican con el computador de flujo. De uno de los trenes se desprende una toma para el analizador de azufre total, de otro tren se realiza el muestreo para el analizador de H_2S y de un tercer tren la toma hacia el cromatógrafo. Finalmente, del dispositivo portaplaca se desprenden dos tomas hacia un registrador de presión y flujo. La válvula de control instalada regula la presión de cada tren mediante una señal tomada del mismo tren aguas debajo de su posición.

El gas, que es tomado de un gasoducto, pasa por filtración y separación, para luego ser regulado y medido en los trenes de 12" NPS. Las condiciones de operación son las siguientes:

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio
Presión, psi	950	400	675
Temperatura, °C	25	6	15
Flujo, MMPCD	200	25	75

Tabla 1. Condiciones de Operación

Los flujos reportados son calculados a condiciones base ($t = 20^{\circ}C$; $p = 1.0 \text{ kg/cm}^2$)

3. ANALISIS DE FASE

El gas que se esta midiendo tiene la siguiente composición: $N_2 = 0.169$; $CO_2 = 1.210$; $C1+ = 93.875$; $C2+ = 3.441$; $C3+ = 1.305$, a partir de la cual y de las condiciones de operación se obtuvo que el fluido es Gas natural compuesto principalmente de metano y etano ($> 97\%$ mol ambos). Las propiedades físicas determinadas tienden a ser más parecidas a las del metano por ser el componente presente en mayor abundancia. De acuerdo al reporte cromatografico entregado se observa que este gas tiene las características de gas seco. El factor de compresibilidad para las condiciones estándar es próximo a la unidad y por tanto, el comportamiento es muy próximo al ideal. En cuanto al factor de compresibilidad para las condiciones de operación consideradas, se observa que este se aleja del valor 1 por lo cual su comportamiento es de gas real. Las condiciones de operación y la composición del gas permiten obtener una incertidumbre asociada a la ecuación de estado del 0.1% para el cálculo de los factores de compresibilidad y de las densidades.

El exponente isentrópico se considera constante para el rango de temperaturas manejadas en este análisis. La gravedad específica ideal del gas es de 0.6242 (relación de peso molecular con el del aire). El valor de gravedad específica se encuentra entre los datos reportados por normatividad GPA-2145 para el metano y etano, y sirve como parámetro para identificar a esta corriente como un gas. El análisis efectuado se realizó en Base seca.

La contribución de componentes no hidrocarburos es de 1.5% por lo que la contribución a las propiedades que definen a esta corriente son mínimas. Los valores calculados a la velocidad mínima del número de Reynolds para el tubo de medición como para el orificio de la placa son: 2482500 y 3530235 respectivamente. Los valores calculados a

la velocidad máxima del número de Mach para el tubo de medición como para el orificio de la placa son: 0.03642 y 0.073645 respectivamente.

	Unidades de Ingeniería	Condiciones Estándar 1	Condiciones Estándar 2	Condiciones de Operación			Condición Crítica de Operación (Pmax, Tmin)
				Mínima	Normal	Máxima	
Presión manométrica	Kg/cm2 (g)	-----	-----	28.12	47.46	66.79	66.79
Presión manométrica	psig	-----	-----	400.00	675.00	950.00	950.00
Presión absoluta	Kg/cm2 (a)	1.033	1.00	29.156	48.490	67.825	67.825
Presión absoluta	psia	14.696	14.223	414.696	689.696	964.696	964.696
Temperatura	deg°C	15.56	20.00	6.00	15.00	25.00	6.00
Temperatura	deg°F	60.00	68.00	42.80	59.00	77.00	42.80
Densidad	Kg/m3	0.7304	0.6952	22.8824	37.6722	52.8769	59.0440
Densidad	lbm/ft3	0.0456	0.0434	1.4285	2.3518	3.3010	3.6860
Factor Compresibilidad		0.9978	0.998	0.9286	0.8996	0.875	0.837
Factor Isentrópico		1.296733	1.296733	1.296733	1.296733	1.296733	1.296733
Peso Molecular		17.25					
SOS	m/s	424.79	428.05	417.70	424.38	431.68	----
SOS	ft/s	1393.68	1404.35	1370.41	1392.32	1416.28	----
Viscosidad Dinámica	Kg/ms	1.08E-05	1.10E-05	1.14E-05	1.28E-05	1.36E-05	1.34E-05
Viscosidad Dinámica	cP	0.0108	0.0110	0.0114	0.0128	0.0136	0.0134
Fase		Gaseosa					

Tabla 2. Análisis de Fases.

Los valores de densidad y factor de compresibilidad obtenidos por el procedimiento AGA-8. Los valores de viscosidad obtenidos mediante Electronic Version of the API Technical Data Book. No hay problema de dos fases por que el factor de compresibilidad en todos los casos es cercano a la unidad.

4. CONFIGURACIÓN COMPUTADORES

La placa actúa en combinación con el tubo de medición en el cual es instalada, el transmisor de presión diferencial mide el efecto de la placa sobre el gas fluyendo y el computador de flujo correlaciona las mediciones y calcula las cantidades y razones de flujo. Los cálculos deben ser configurados de tal forma que tomen en cuenta los otros componentes instalados.

De acuerdo con la información recopilada y los datos observados en campo, se determina que el computador de flujo asociado con el sistema de medición realiza los cálculos de volumen y energía tal como se indica en AGA Reporte 3 de 1992.

Las funciones para el computador de flujo de la estación de medición son manejadas en combinación con tarjetas de interfases de comunicación y algunas de las características de los transmisores multivariados.

El computador de flujo tiene un teclado con un indicador local LCD, para el acceso de monitoreo y configuración de computador de flujo. La configuración del computador de flujo es por medio de una computadora personal (PC) con un software propietario del fabricante del computador.

El computador calcula el flujo de acuerdo con AGA 3, y los valores de densidad de gas y de poder calorífico de acuerdo con AGA 8, usando una composición de datos del cromatógrafo y de mediciones instantáneas de temperatura y presión. Los flujos totales son acumulados por día operativo de 24 horas.

La combinación de AGA3 (para la determinación del flujo) y AGA8 (para la determinación de la densidad y poder calorífico) es apropiado para este propósito. De acuerdo con la información recopilada en campo, el computador de flujo instalado, tiene configurado el AGA Reporte 3 de 1992 y el AGA 8, para efectuar cálculos de volumen y energía.

Al verificar la información para el equipo instalado se puede observar que los cálculos son iguales a los descritos en el estándar AGA Reporte 3 de 1992.

5. CUMPLIMIENTO NORMATIVIDAD

A continuación se indican las tablas resumen de cumplimiento normativo las cuales tiene estructura similar, independiente de la norma que se este evaluando. En la primera columna se indica un numero consecutivo; en la segunda columna se muestra la norma sobre la cual se esta evaluando; en la tercera columna se indica el número de la sección de la norma que se esta verificando; posteriormente bajo la columna titulada requerimiento se hace una breve descripción del numeral tratado; en la columna de evaluación se indica cumple, no cumple o N/A según corresponda. Las ultimas dos columnas “criterio de evaluación” y “observaciones” describen los criterios utilizados para indicar un cumplimiento o no, y si existiesen observaciones adicionales.

Las normas evaluadas son:

- AGA Reporte 5 Medición de la Energía de Gas Combustible.
- API MPMS 7 Determinación de Temperatura. Sección 2 (1995): Determinación Dinámica de Temperatura.
- API MPMS 21 – Medición de Flujo usando Sistemas Electrónicos de Medición
- Sección 1 – Medición Electrónica de Gas.
- API MPMS 13.2 Métodos de Evaluación de Medidores acorde a Datos Estadísticos.
- GPA ESTANDAR 2261-99 REV. 1 Análisis para Gas Natural y Mezclas Gaseosas Similares por Cromatografía de Gas.
- API MPMS 14.1 Recolección y Manejo de Muestras de Gas Natural para Transferencia de Custodia.
- API 14.2 Factores de Compresibilidad del Gas Natural y otros Gases Hidrocarburos Relacionados.
- API 14.3 Medición por Placa de Orificio del Gas Natural y otros Gases Hidrocarburos Relacionados.

Tabla 3. AGA Reporte 5 Medición de la Energía de Gas Combustible

No.	Referencia	Sección	Requerimientos	Evaluación	CRITERIO DE EVALUACIÓN	OBSERVACIONES Y/O RECOMENDACIONES
			GENERAL			
1	AGA 5	I - 2	Para la conversión de volumen a energía se debe consultar la Sección II de esta norma, donde los factores enunciados para dicha conversión están basados en condiciones de $p = 14.73 \text{ psi}$ y $t = 60^\circ \text{F}$. Si las mediciones de volumen se realizan a otras condiciones se requiere hacer la conversión del volumen medido a las condiciones estándar antes mencionadas para utilizar las tablas de la Sección II de esta norma. Esta conversión se hace mediante la ecuación (4) [Sección I-2 Pág..5 AGA-5]. El uso de las ecuaciones de conversión de volumen-energía deben considerar la presencia de compuestos no-hidrocarburos (factor E_v) y utilizar las ecuaciones (5),(6) y (7) según la composición del gas[Sección I-2 Pág..5 y 6 AGA-5].	NO CUMPLE	Basados en las pantallas de " Parámetros de cálculo "(grabado 21/06/00) y " Reporte de cálculo de gas " (grabado 30/09/01), confirman ambos que las condiciones base no son las estipuladas por esta norma, sino las establecidas por EL CLIENTE. A pesar de que la diferencia es mínima, la diferencia en volumen de unas condiciones a otras es algo considerable .EL CLIENTE realiza su medición a condiciones de operación y convierte a condiciones EL CLIENTE ($t = 20^\circ \text{C}$ y $P = 1.0 \text{ Kg./cm}^2$) a las cuales factura a sus clientes, contraviniendo las condiciones establecidas por esta norma.	Por lo anterior se recomienda realizar la facturación a las condiciones establecidas en esta norma según la Sección I-2.
			PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO CONVERSIÓN VOLUMEN - ENERGÍA			
2	AGA 5	II	Esta Sección establece las ecuaciones necesarias para la conversión de flujo volumétrico a energía mediante el uso de la ecuación : $U_e = U_v * E_v * F_{uv} * F_{ue}$, la cuál depende de la composición del gas y donde se establece que el flujo volumétrico debe ser a condiciones de $t = 60^\circ \text{F}$ y $p = 14.73 \text{ psi}$, de no ser este flujo a dichas condiciones se hará la conversión mediante la ecuación : $U_v = F_p * F_t * (F_{pv})^2 * \text{volumen medido}$ que involucra los factores para corrección por presión, temperatura y compresibilidad. La primera ecuación considera en su factor E_v la composición volumétrica del gas. En las tablas II-C(1) a II-M [Sección II Págs..15 a 25 AGA-5] se presentan diversos valores para los factores involucrados en la ecuación de conversión volumen - energía.	NO CUMPLE	Basados en las pantallas de " Parámetros de cálculo "(grabado 21/06/00) y " Reporte de cálculo de gas " (grabado 30/09/01), confirman ambos que las condiciones base no son las estipuladas por esta norma, sino las establecidas por EL CLIENTE. A pesar de que la diferencia es mínima, la diferencia en volumen de unas condiciones a otras es algo considerable. EL CLIENTE realiza su medición a condiciones de operación y convierte a condiciones EL CLIENTE ($t = 20^\circ \text{C}$ y $P = 1.0 \text{ Kg./cm}^2$) a las cuales factura a sus clientes, contraviniendo las condiciones establecidas por esta norma.	Por lo anterior se recomienda realizar la facturación a las condiciones establecidas en esta norma según la Sección I-2. En el documento " Comprobante entrega - recepción de gas natural " (del cuál no se tiene impresión o copia) se confirmaría lo que se estipula en " Parámetros de cálculo " y " Reporte de cálculo de gas ", por lo que también se requiere para completar formalmente la evaluación.

Tabla 4. API MPMS 7 Determinación de Temperatura. Sección 2 (1995): Determinación Dinámica de Temperatura

No.	Referencia	Sección	Requerimientos	Evaluación	CRITERIO DE EVALUACIÓN	OBSERVACIONES Y/O RECOMENDACIONES
			<i>GENERAL</i>			
1	API 7.2		Los procedimientos y requerimientos descritos en el estándar deben ser aplicados bajo condiciones dinámicas (condiciones de flujo) para obtener mediciones exactas de temperatura.			
			<i>FACILIDADES PARA PRUEBAS</i>			
2	API 7.2	5.5	Un termopozo de prueba debe ser instalado en cada tren de medición y en el probador para verificar el desempeño de la medición de temperatura contra un termómetro que tenga trazabilidad a un patrón nacional.	NO CUMPLE	No hay termopozos de prueba instalados	Instalar termopozos de prueba de acuerdo a las recomendaciones de la AGA 3 parte 2 sección 2.6.5 de abril del 2000
3	API 7.2	5.5	El termopozo de prueba debe estar instalado de tal forma que permita al termómetro de referencia llegar a la misma profundidad que llega el termómetro que está permanente instalado.	NO CUMPLE	No hay termopozos de prueba instalados	Instalar termopozos de acuerdo a (y verificar que los instalados cumplan con) la norma AGA 3 parte 2 sección 2.6.5 de abril del 2000
4	API 7.2	7.1	Los termopozos de prueba están tapados cuando no se usan y libres de material extraño	NO CUMPLE	No hay termopozos de prueba instalados	Posterior a la instalación, debe tomarse en cuenta esta recomendación.
			<i>SELECCION DEL TERMOPOZO</i>			
5	API 7.2	6	Los termopozos instalados resisten la vibración inducida por el flujo	NO CUMPLE	No se tienen documentadas las características de los termopozos	Verificar que los termopozos instalados cumplen con este apartado.
6	API 7.2	6.1	Los termopozos cumplen con el código de diseño para las presiones y temperaturas de operación del sistema	NO CUMPLE	No se tienen documentadas las características de los termopozos	Verificar que los termopozos instalados cumplen con este apartado.
7	API 7.2	6.2	El termopozo permite la inmersión del sensor al tercio central del diámetro de la tubería o a 12 pulgadas de la pared de la tubería, sin que esto afecte a la velocidad del flujo	NO CUMPLE	No se tiene documentada la extensión de los termopozos instalados	Verificar la longitud de los termopozos instalados y asegurarse que están de acuerdo a esta sección de la norma.
8	API 7.2	6.3	El material del termopozo es compatible con el líquido en contacto y con un grado de resistencia a la corrosión en toda la superficie (generalmente es acero inoxidable tipo 304 o 316)	CUMPLE	Los termopozos instalados son de acero inoxidable según se verificó durante los levantamientos.	
9	API 7.2	6.4 8.4	El termopozo tiene un material conductor de calor en caso de que el sensor de temperatura no esté en contacto con la pared del mismo	NO CUMPLE	No se tiene documentada la información de la longitud del sensor ni del termopozo	Documentar las longitudes del sensor y termopozo para evaluar si se cumple este apartado
10	API 7.2	8	El sensor de temperatura debe cumplir con los requerimientos de: Intervalo de operación definido para la aplicación, Escala de temperatura, Tiempo de respuesta adecuado a las variaciones de temperatura, Exactitud requerida por la aplicación, Discriminación de acuerdo a la aplicación 0.5 °F (0.25 °C) para prueba y calibración del medidor y 0.1°F (0.05 °C) para la calibración del probador de medición; Repetibilidad, Condiciones de temperatura ambiente y presión atmosférica donde se instaló.	CUMPLE	De acuerdo a la especificación del fabricante y a las condiciones del proceso, el elemento está indicado para esta aplicación.	
			<i>PROCEDIMIENTOS DE VERIFICACIÓN Y CALIBRACIÓN</i>			

11	API 7.2	11	Debe llevarse a cabo, de manera frecuente y periódica, la verificación de los sensores de temperatura instalados en el sistema de medición (verificación en línea). Los termómetros utilizados en los sistemas de prueba deben ser verificados antes de ser utilizados. La verificación debe realizarse contra un sensor de temperatura que tenga trazabilidad a un patrón nacional. La máxima desviación que debe existir entre los dos sensores de temperatura es la que se estipula en la Tabla 2 del estándar API MPMS 7.2	CUMPLE	Se lleva a cabo la calibración periódica de los elementos de temperatura, y la trazabilidad de los instrumentos patrón está disponible	
12	API 7.2	11.2	La calibración de los sensores de temperatura debe ser llevada a cabo en un mínimo de tres intervalos uniformes de temperatura. Los resultados de la calibración no deben exceder las desviaciones que se especifican en la Tabla 2 del estándar API MPMS 7.2 La calibración debe ser llevada a cabo contra un sensor de temperatura que tenga trazabilidad a un patrón nacional.	NO CUMPLE	Los registros de verificación y calibración muestran que se usan dos valores del rango, y no tres como lo marca esta sección	Realizar calibraciones en al menos tres valores del rango para que se cumpla con este apartado de la norma.

Tabla 5. API MPMS 21 – Medición de Flujo usando Sistemas Electrónicos de Medición
Sección 1 – Medición Electrónica de Gas

No.	Referencia	Sección	Requerimientos	Evaluación	CRITERIO DE EVALUACIÓN	OBSERVACIONES Y/O RECOMENDACIONES
1	API 21.1	1.2.1.4	Dispositivos primarios, secundarios y terciarios mantienen una exactitud aceptable en forma independiente	CUMPLE	Para el dispositivo primario de temperatura (RTD) el nivel de exactitud según el fabricante es de .1% aceptable. Para el transmisor multivariable, el efecto sobre la exactitud por presión diferencial y manométrica es de .1% aceptable, con el supuesto que a la placa de orificio como elemento primario la respalda la verificación mecánica. El efecto por temperatura es de .1% aceptable. El computador como dispositivo terciario no conlleva ningún error ni exactitud asociada ya que la comunicación con los transmisores multivariables es digital.	Se recomienda que cada uno de los dispositivos asociados a la estación de medición mantengan un nivel de exactitud mayor al mínimo permitido por cada uno de ellos, para mantener el nivel de incertidumbre total de la estación en un nivel bajo. Para el caso de RTD's es necesario especificar al proveedor la exactitud adecuada ya que se fabrican con diferentes niveles de esta.
			MANEJO DE DATOS			
2	API 21.1	1.4.2.1	La frecuencia mínima de muestreo de cualquier variable dinámica proveniente de la estación de medición debe ser de una vez cada segundo; para frecuencias más altas, se emplean técnicas de promedio.	CUMPLE	Según datos del fabricante para las tarjetas BBTI que comunican al computador con los transmisores multivariables se polean los 8 transmisores de cada tarjeta en 1 segundo, sin importar cuantas tarjetas BBTI existan. Debido a que el computador de flujo consta de un procesador 286 o 386, y al realizar los cálculos del algoritmo de manera cíclica y libre de la adquisición de datos de los transmisores, el tiempo en que se calcula la constante de placa y el factor de	La frecuencia de muestreo es muy importante para no perder la información de las variaciones en el flujo. Cuando la integración de volumen se lleva a cabo en intervalos de tiempo pequeños, se obtiene una mejor exactitud en la medición de razón de flujo. Siempre y cuando sea posible, se recomienda que la "constante de la placa y la relación IV sean calculadas a la misma frecuencia, es decir como mínimo una vez cada segundo.

3	API 21.1	1.4.2.2	El cálculo del Valor Integrado (IV) (IV es la raíz del producto de la presión diferencial y presión estática) debe ser llevado a cabo al menos una vez por segundo. Se recomienda que la frecuencia de muestreo y la frecuencia de integración del IV sean iguales.	CUMPLE	integración es despreciable con respecto a un segundo como referencia. La adquisición de datos discretos es de 2.5 ms para 16 puntos, lo cual no afecta el tiempo de escaneo.	
4	API 21.1	1.4.2.4	La frecuencia mínima de cálculo para obtener la "constante de la placa de orificio" es de una vez por hora. (La "constante de la placa" se obtiene al combinar todas aquellas variables diferentes a la presión estática y diferencial).	CUMPLE		
5	API 21.1	1.4.2.3	El dispositivo terciario debe tener programado un punto de corte de cálculo cuando la razón de flujo sea menor a un límite definido para la placa de orificio.	NO CUMPLE	La configuración no esta disponible aún. No está en operación.	El dispositivo terciario es aquel equipo electrónico que tiene por función elaborar los cálculos de flujo y la totalización de volumen. (En este caso es el computador de flujo). Es recomendable que exista dentro de la configuración un valor de corte de cálculo que se refiera a un valor mínimo de presión diferencial, para asegurar la no medición en valores inciertos de flujo.
6	API 21.1	1.5.1.1.1 1.5.2.1.1	Debe tenerse disponible al menos un promedio de temperatura, presión y presión diferencial por hora. En caso de que la densidad relativa, la composición y la densidad se estén obteniendo en línea, entonces también debe contarse con un valor promedio cada hora. Deben reportarse cantidades totales al menos cada hora. Debe de registrarse la fecha y la hora de cada promedio y totales calculados. Debe reportarse los totales acumulados al final de cada periodo de tiempo determinado en el contrato.	NO CUMPLE	Aún no está en operación éste sistema, tómese la recomendación para cuando el sistema sea puesto en marcha.	El reportar u obtener promedios mínimo cada hora, es recomendable para tener datos históricos aún mas relevantes que ayuden a observar y analizar más fácilmente problemáticas y tendencias del proceso. Si no se tiene un reporte en copia dura cada hora, por lo menos se recomienda tener habilitada una base de datos para éste fin en el sistema de información. El computador de flujo debe contener valores promedios al punto de recopilación, promedios por hora, y promedios según el tiempo contractual que es de 24hrs. Estos promedios deben estar disponibles para todas las variables mencionadas además de los datos del análisis que son recibidos por el computador a través del cromatógrafo como son gravedad específica y composiciones. Ya que el computador esta enlazado al sistema de información, en éste último deben ser observados todas los valores promedios anteriores con fechas y totales acumulados según el tiempo contractual fijado, el cual es reportado en copia dura diariamente.
7	API 21.1	1.5.1.1.3 1.5.2.1.3	En caso de que se lleven a cabo cálculos en sitio, debe contarse con lecturas instantáneas (en sitio) de presión, presión diferencial, temperatura, razón de flujo, cantidades acumuladas y alarmas. Si la densidad relativa, la composición y/o la densidad se determinan en línea, también deben contar con lecturas instantáneas en sitio. En caso de que el cálculo se lleve a cabo fuera de sitio, estos datos deben estar disponibles en el computador de flujo.	CUMPLE	El cálculo se lleva a cabo en sitio por el computador de flujo ya que esta instalado en el cuarto de control dentro de la estación de medición donde se encuentran los tubos de medición. Es posible recolectar esta información requerida a través de una computadora portátil y el software adecuado o por medio de la pantalla y teclado instalado en línea. Como punto a favor, los transmisores multivariados contienen indicación en sitio.	Es recomendable que para tomar datos instantáneos y promedios requeridos en sitio, el computador de flujo conste de pantalla y teclado instalados en el mismo gabinete; si esto no es posible, se debe considerar tener el equipo necesario para recolectar esta información (valores instantáneos de las variables de flujo, cálculos promedios, instantáneos, configuración) y el personal capacitado para ello. Además es recomendable mantener en buen estado las pantallas indicadoras de los transmisores en campo.

Con el objeto de determinar las características dimensionales de la placa de orificio y el tubo de medición para verificar el cumplimiento del reporte AGA 3.0 en su parte 2 se requirió tomar las dimensiones en campo. Las siguientes ilustraciones indican el procedimiento seguido. Cabe anotar que algunas figuras pueden o no corresponder con el patín de medición evaluado; se incluyen aquí para mostrar la metodología seguida.



Foto 1. Medición Diámetro Interno Placa de Orificio



Foto 2. Verificación Rugosidad Placa



Foto 3. Verificación Excentricidad

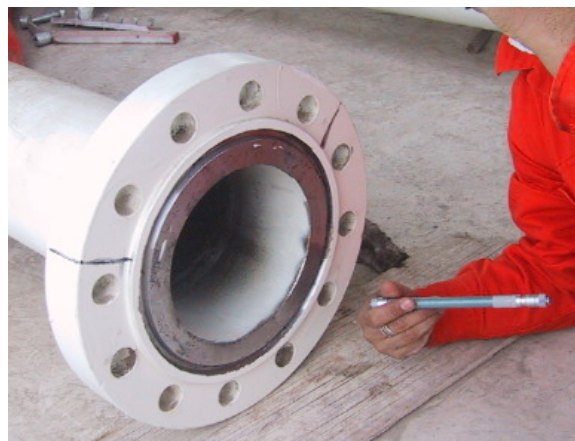


Foto 4. Medición Diámetro Interno Tubo de Medición



Foto 5. Verificación Rugosidad Tubo de Medición



Foto 6. Posición Diámetro Interno Tubo de Medición

Los datos recopilados de acuerdo a las fotografías tomadas y según el procedimiento descrito en el reporte AGA 3.0 P2 se reunieron en un formato, con el cual también se evalúan estos datos. A continuación se muestra el formato utilizado:

Tabla 11. Verificación Dimensional Placa y Tubo de Medición

VERIFICACIÓN CUMPLIMIENTO NORMA AGA 3.0 PARTE 2 3a. EDICION DE 1991																																																																																																															
Tubo de Medición No. <u>1921-05</u>		Placa de Orificio No. <u>PL 13</u>																																																																																																													
Diametro Medio, Dm (mm) <u>288.8996</u>		NPS TUBERIA <u>12</u> Sch <u>80</u>		D interno <u>11.374</u>																																																																																																											
PLACA DE ORIFICIO																																																																																																															
NUMERAL 2.4.1 - PLANICIDAD																																																																																																															
Este numeral se verificará contra la documentación del fabricante																																																																																																															
NUMERAL 2.4.1 - RUGOSIDAD																																																																																																															
R _a permitida <u>1.27</u> μ m																																																																																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>0°</th> <th>90°</th> <th>180°</th> <th>270°</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aguas Arriba</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Medicion 1</td> <td>0.10</td> <td>0.08</td> <td>0.1</td> <td>0.09</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Medicion 2</td> <td>0.10</td> <td>0.1</td> <td>0.09</td> <td>0.11</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Medicion 3</td> <td>0.07</td> <td>0.1</td> <td>0.1</td> <td>0.09</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>0.09</td> <td>0.09</td> <td>0.10</td> <td>0.10</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Incertidumbre</td> <td>± 0.028</td> <td>± 0.023</td> <td>± 0.020</td> <td>± 0.023</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Evaluación</td> <td>CUMPLE</td> <td>CUMPLE</td> <td>CUMPLE</td> <td>CUMPLE</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Aguas Abajo</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Medicion 1</td> <td>0.07</td> <td>0.07</td> <td>0.07</td> <td>0.07</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Medicion 2</td> <td>0.07</td> <td>0.07</td> <td>0.07</td> <td>0.08</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Medicion 3</td> <td>0.07</td> <td>0.07</td> <td>0.07</td> <td>0.07</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>0.07</td> <td>0.07</td> <td>0.07</td> <td>0.07</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Incertidumbre</td> <td>± 0.024</td> <td>± 0.024</td> <td>± 0.024</td> <td>± 0.020</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Evaluación</td> <td>CUMPLE</td> <td>CUMPLE</td> <td>CUMPLE</td> <td>CUMPLE</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Promedio, μm</td> <td>0.08</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>CUMPLE</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>											0°	90°	180°	270°		Aguas Arriba						Medicion 1	0.10	0.08	0.1	0.09	μ m	Medicion 2	0.10	0.1	0.09	0.11	μ m	Medicion 3	0.07	0.1	0.1	0.09	μ m	Promedio	0.09	0.09	0.10	0.10	μ m	Incertidumbre	± 0.028	± 0.023	± 0.020	± 0.023	μ m	Evaluación	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE		Aguas Abajo						Medicion 1	0.07	0.07	0.07	0.07	μ m	Medicion 2	0.07	0.07	0.07	0.08	μ m	Medicion 3	0.07	0.07	0.07	0.07	μ m	Promedio	0.07	0.07	0.07	0.07	μ m	Incertidumbre	± 0.024	± 0.024	± 0.024	± 0.020	μ m	Evaluación	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE		Promedio, μ m	0.08						CUMPLE				
	0°	90°	180°	270°																																																																																																											
Aguas Arriba																																																																																																															
Medicion 1	0.10	0.08	0.1	0.09	μ m																																																																																																										
Medicion 2	0.10	0.1	0.09	0.11	μ m																																																																																																										
Medicion 3	0.07	0.1	0.1	0.09	μ m																																																																																																										
Promedio	0.09	0.09	0.10	0.10	μ m																																																																																																										
Incertidumbre	± 0.028	± 0.023	± 0.020	± 0.023	μ m																																																																																																										
Evaluación	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE																																																																																																											
Aguas Abajo																																																																																																															
Medicion 1	0.07	0.07	0.07	0.07	μ m																																																																																																										
Medicion 2	0.07	0.07	0.07	0.08	μ m																																																																																																										
Medicion 3	0.07	0.07	0.07	0.07	μ m																																																																																																										
Promedio	0.07	0.07	0.07	0.07	μ m																																																																																																										
Incertidumbre	± 0.024	± 0.024	± 0.024	± 0.020	μ m																																																																																																										
Evaluación	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE																																																																																																											
Promedio, μ m	0.08																																																																																																														
	CUMPLE																																																																																																														
NUMERAL 2.4.1 - VERIFICACIÓN DEL ESTADO DE LA PLACA																																																																																																															
La Placa debe estar libre de:																																																																																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>SI</th> <th>NO</th> <th>Evaluación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ubicación de la placa</td> <td>SI</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Marca de fabricación de la placa</td> <td>SI</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Suciedad</td> <td>NO</td> <td></td> <td>CUMPLE</td> </tr> <tr> <td>Hielo</td> <td>NO</td> <td></td> <td>CUMPLE</td> </tr> <tr> <td>Material Extraño</td> <td>NO</td> <td></td> <td>CUMPLE</td> </tr> </tbody> </table>											SI	NO	Evaluación	Ubicación de la placa	SI			Marca de fabricación de la placa	SI			Suciedad	NO		CUMPLE	Hielo	NO		CUMPLE	Material Extraño	NO		CUMPLE																																																																														
	SI	NO	Evaluación																																																																																																												
Ubicación de la placa	SI																																																																																																														
Marca de fabricación de la placa	SI																																																																																																														
Suciedad	NO		CUMPLE																																																																																																												
Hielo	NO		CUMPLE																																																																																																												
Material Extraño	NO		CUMPLE																																																																																																												
Numeral 2.4.2 Borde en Entrada de la Placa de Orificio																																																																																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>SI</th> <th>NO</th> <th>Evaluación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Recto</td> <td>SI</td> <td></td> <td>CUMPLE</td> </tr> <tr> <td>Afilado</td> <td>SI</td> <td></td> <td>CUMPLE</td> </tr> </tbody> </table>											SI	NO	Evaluación	Recto	SI		CUMPLE	Afilado	SI		CUMPLE																																																																																										
	SI	NO	Evaluación																																																																																																												
Recto	SI		CUMPLE																																																																																																												
Afilado	SI		CUMPLE																																																																																																												
Esta libre de defectos apreciables a simple vista como rayaduras, marcas, muescas, resaltes.																																																																																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>SI</th> <th>NO</th> <th>Evaluación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>SI</td> <td></td> <td>CUMPLE</td> </tr> </tbody> </table>											SI	NO	Evaluación		SI		CUMPLE																																																																																														
	SI	NO	Evaluación																																																																																																												
	SI		CUMPLE																																																																																																												
NUMERAL 2.4.3 - Medición del diámetro interior del orificio de la placa																																																																																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="5">Numeral 2.4.3 - DIAMETRO MEDIO Y DE REFERENCIA DEL ORIFICIO DE LA PLACA</th> </tr> <tr> <th>dm</th> <th colspan="3">203.512</th> <th>dr</th> <th>203.5000</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Acero inoxidable Tipo 304 y 316</td> <td colspan="3">0.00000925</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>variación maxima admisible</td> <td colspan="3">0.06082</td> <td>Temp. Final</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Temp. °C</td> <td>26.5</td> <td>26.6</td> <td>26.6</td> <td>26.7</td> <td>26.6</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0°</td> <td>45°</td> <td>90°</td> <td>135°</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Medicion 1</td> <td>203.524</td> <td>203.575</td> <td>203.524</td> <td>203.524</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Medicion 2</td> <td>203.524</td> <td>203.55</td> <td>203.524</td> <td>203.524</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Medicion 3</td> <td>203.55</td> <td>203.524</td> <td>203.524</td> <td>203.55</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>203.53</td> <td>203.55</td> <td>203.52</td> <td>203.53</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>variación</td> <td>0.02</td> <td>0.04</td> <td>0.01</td> <td>0.02</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Corregido</td> <td>203.51</td> <td>203.53</td> <td>203.50</td> <td>203.51</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Incertidumbre</td> <td>± 0.026</td> <td>± 0.037</td> <td>± 0.024</td> <td>± 0.026</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Evaluación</td> <td>CUMPLE</td> <td>CUMPLE</td> <td>CUMPLE</td> <td>CUMPLE</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>										Numeral 2.4.3 - DIAMETRO MEDIO Y DE REFERENCIA DEL ORIFICIO DE LA PLACA					dm	203.512			dr	203.5000	Acero inoxidable Tipo 304 y 316	0.00000925					variación maxima admisible	0.06082			Temp. Final		Temp. °C	26.5	26.6	26.6	26.7	26.6		0°	45°	90°	135°		Medicion 1	203.524	203.575	203.524	203.524	mm	Medicion 2	203.524	203.55	203.524	203.524	mm	Medicion 3	203.55	203.524	203.524	203.55	mm	Promedio	203.53	203.55	203.52	203.53	mm	variación	0.02	0.04	0.01	0.02	mm	Corregido	203.51	203.53	203.50	203.51	mm	Incertidumbre	± 0.026	± 0.037	± 0.024	± 0.026	mm	Evaluación	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE																				
Numeral 2.4.3 - DIAMETRO MEDIO Y DE REFERENCIA DEL ORIFICIO DE LA PLACA																																																																																																															
dm	203.512			dr	203.5000																																																																																																										
Acero inoxidable Tipo 304 y 316	0.00000925																																																																																																														
variación maxima admisible	0.06082			Temp. Final																																																																																																											
Temp. °C	26.5	26.6	26.6	26.7	26.6																																																																																																										
	0°	45°	90°	135°																																																																																																											
Medicion 1	203.524	203.575	203.524	203.524	mm																																																																																																										
Medicion 2	203.524	203.55	203.524	203.524	mm																																																																																																										
Medicion 3	203.55	203.524	203.524	203.55	mm																																																																																																										
Promedio	203.53	203.55	203.52	203.53	mm																																																																																																										
variación	0.02	0.04	0.01	0.02	mm																																																																																																										
Corregido	203.51	203.53	203.50	203.51	mm																																																																																																										
Incertidumbre	± 0.026	± 0.037	± 0.024	± 0.026	mm																																																																																																										
Evaluación	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE																																																																																																											
NUMERAL 2.4.4 - Medición del espesor del orificio (e)																																																																																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>26.4</th> <th>26.6</th> <th>26.4</th> <th>26.3</th> <th>Temp. Final</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Temp. °C</td> <td>26.4</td> <td>26.6</td> <td>26.4</td> <td>26.3</td> <td>26.4</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0°</td> <td>90°</td> <td>180°</td> <td>270°</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Medicion 1</td> <td>4.85</td> <td>4.77</td> <td>4.93</td> <td>4.84</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Medicion 2</td> <td>4.86</td> <td>4.84</td> <td>4.97</td> <td>4.84</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Medicion 3</td> <td>4.83</td> <td>4.82</td> <td>4.95</td> <td>4.86</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>4.85</td> <td>4.81</td> <td>4.95</td> <td>4.85</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Corregido</td> <td>4.85</td> <td>4.81</td> <td>4.95</td> <td>4.85</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Incertidumbre</td> <td>± 0.026</td> <td>± 0.048</td> <td>± 0.031</td> <td>± 0.018</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Evaluación Valor Mínimo</td> <td>CUMPLE</td> <td>CUMPLE</td> <td>CUMPLE</td> <td>CUMPLE</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Evaluación Valor Máximo</td> <td>CUMPLE</td> <td>CUMPLE</td> <td>CUMPLE</td> <td>CUMPLE</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>4.86</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>CUMPLE</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Es E > e ?</td> <td>NO CUMPLE</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>											26.4	26.6	26.4	26.3	Temp. Final	Temp. °C	26.4	26.6	26.4	26.3	26.4		0°	90°	180°	270°		Medicion 1	4.85	4.77	4.93	4.84	mm	Medicion 2	4.86	4.84	4.97	4.84	mm	Medicion 3	4.83	4.82	4.95	4.86	mm	Promedio	4.85	4.81	4.95	4.85	mm	Corregido	4.85	4.81	4.95	4.85	mm	Incertidumbre	± 0.026	± 0.048	± 0.031	± 0.018	mm	Evaluación Valor Mínimo	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE		Evaluación Valor Máximo	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE		Promedio	4.86						CUMPLE					Es E > e ?	NO CUMPLE																						
	26.4	26.6	26.4	26.3	Temp. Final																																																																																																										
Temp. °C	26.4	26.6	26.4	26.3	26.4																																																																																																										
	0°	90°	180°	270°																																																																																																											
Medicion 1	4.85	4.77	4.93	4.84	mm																																																																																																										
Medicion 2	4.86	4.84	4.97	4.84	mm																																																																																																										
Medicion 3	4.83	4.82	4.95	4.86	mm																																																																																																										
Promedio	4.85	4.81	4.95	4.85	mm																																																																																																										
Corregido	4.85	4.81	4.95	4.85	mm																																																																																																										
Incertidumbre	± 0.026	± 0.048	± 0.031	± 0.018	mm																																																																																																										
Evaluación Valor Mínimo	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE																																																																																																											
Evaluación Valor Máximo	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE																																																																																																											
Promedio	4.86																																																																																																														
	CUMPLE																																																																																																														
Es E > e ?	NO CUMPLE																																																																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>0.01 x dm</th> <th>2.0351</th> <th>2.0351</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Valor Mínimo el mayor de</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>0.1270</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Valor Máximo el menor de</td> <td>0.02 x Dm</td> <td>5.7780</td> <td>5.7780</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0.125 x dm</td> <td>25.4390</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>											0.01 x dm	2.0351	2.0351	Valor Mínimo el mayor de						0.1270		Valor Máximo el menor de	0.02 x Dm	5.7780	5.7780		0.125 x dm	25.4390																																																																																			
	0.01 x dm	2.0351	2.0351																																																																																																												
Valor Mínimo el mayor de																																																																																																															
		0.1270																																																																																																													
Valor Máximo el menor de	0.02 x Dm	5.7780	5.7780																																																																																																												
	0.125 x dm	25.4390																																																																																																													

NUMERAL 2.4.4 - Evaluación del estado de la superficie interna del orificio de la placa									
Forma de un cilindro de diámetro constante	SI	Evaluación							
rayaduras	NO	CUMPLE							
piladuras	NO	CUMPLE							
nuecas	NO	CUMPLE							
poros	NO	CUMPLE							
Desprendimientos de material	NO	CUMPLE							

NUMERAL 2.4.5 - Medición del espesor de la placa (E)									
Según Tabla 2.4		Temp. °C	Temp. final						
Valor Mínimo	0.175 pulg.	26.4	26.6	26.4	26.3	26.4			
Valor Máximo	0.379 pulg.	0°	90°	180°	270°				
Valor Recomendado	0.250 pulg.	Medición 1	4.85	4.77	4.93	4.84	mm		
		Medición 2	4.86	4.84	4.97	4.84	mm		
		Medición 3	4.83	4.82	4.95	4.86	mm		
	4.445	Promedio	4.85	4.81	4.95	4.85	mm		
	9.6266	Corregido	4.85	4.81	4.95	4.85	mm		
	6.35		± 0.026	± 0.048	± 0.031	± 0.018	mm		
			CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE			
		Promedio	4.86	CUMPLE					

NUMERAL 2.4.6 - Medición del ángulo del bisel									
REQUIERE BISEL ?	NO	Temp. °C	Temp. final						
		0°	90°	180°	270°	0°			
		Medición 1 US	0.00	0.00	0.00	0.00	mm		
		Medición 2 US	0.00	0.00	0.00	0.00	mm		
		Medición 3 US	0.00	0.00	0.00	0.00	mm		
		Incertidumbre US	N/A	N/A	N/A	N/A			
		Medición 1 DS	0.00	0.00	0.00	0.00	mm		
		Medición 2 DS	0.00	0.00	0.00	0.00	mm		
		Medición 3 DS	0.00	0.00	0.00	0.00	mm		
		Incertidumbre DS	N/A	N/A	N/A	N/A			
		Angulo Bisel 1	N/A	N/A	N/A	N/A	°		
		Angulo Bisel 2	N/A	N/A	N/A	N/A	°		
		Angulo Bisel 3	N/A	N/A	N/A	N/A	°		
		Promedio	N/A	N/A	N/A	N/A	°		
		Corregido	N/A	N/A	N/A	N/A	°		
			N/A	N/A	N/A	N/A			

Medición Diámetro Exterior Placa									
Temp. °C	Temp. final								
26.7	26.8	26.8	26.6	26.7					
0°	90°	180°	270°						
Medición 1	271.32	271.34	271.34	271.32	mm				
Medición 2	271.32	271.34	271.32	271.32	mm				
Medición 3	271.32	271.32	271.3	271.32	mm				
Promedio	271.32	271.33	271.32	271.32	mm				
Corregido	271.29	271.30	271.29	271.29	mm				
	± 0.024	± 0.023	± 0.031	± 0.024	mm				

TUBO DE MEDICIÓN																																	
NUMERAL 2.5.1 - Pruebas de verificación dimensional del tubo de medición																																	
El tubo tiene costura	NO				Evaluación																												
El tubo tiene uniones no soldadas	NO				CUMPLE																												
Cuenta con conexiones diferentes a las tomas de Presión	NO				CUMPLE																												
Cuenta con conexiones diferentes a las tomas de Temperatura	NO				CUMPLE																												
Cuenta con conexiones diferentes a los aseguradores del acondicionador	NO				CUMPLE																												
NUMERAL 2.5.1.2.1 - Medición del espesor del tubo de medición																																	
AGUAS ARRIBA																																	
1" UNION SOLDADA																																	
Temp. °C	27	27	27	27																													
	0°	45°	90°	135°																													
Medicion 1	9.2	9.1	9.35	9.3	mm																												
Medicion 2	9.2	9.2	9.34	9.3	mm																												
Medicion 3	9.2	9.1	9.35	9.32	mm																												
Promedio	9.20	9.13	9.35	9.31	mm																												
Corregido	9.20	9.13	9.35	9.31	mm																												
Incertidumbre	± 0.024	± 0.074	± 0.020	± 0.023																													
2 D																																	
Temp. °C	27	27	27	27																													
	0°	45°	90°	135°																													
Medicion 1	9.2	9.15	9.35	9.36	mm																												
Medicion 2	9.25	9.16	9.36	9.36	mm																												
Medicion 3	9.26	9.19	9.3	9.36	mm																												
Promedio	9.24	9.17	9.34	9.36	mm																												
Corregido	9.24	9.17	9.34	9.36	mm																												
Incertidumbre	± 0.044	± 0.032	± 0.044	± 0.024																													
AGUAS ABAJO																																	
1" UNION BRIDADA																																	
Temp. °C	26.9	26.7	26.7	26.8																													
	0°	45°	90°	135°																													
Medicion 1	9.26	9.16	9.3	9.36	mm																												
Medicion 2	9.26	9.17	9.3	9.36	mm																												
Medicion 3	9.26	9.2	9.32	9.36	mm																												
Promedio	9.26	9.17	9.31	9.36	mm																												
Corregido	9.26	9.17	9.31	9.36	mm																												
Incertidumbre	± 0.024	± 0.036	± 0.023	± 0.024																													
2 D																																	
Temp. °C	27	27	27	27																													
	0°	45°	90°	135°																													
Medicion 1	9.27	9.5	9.3	9.5	mm																												
Medicion 2	9.3	9.5	9.32	9.54	mm																												
Medicion 3	9.32	9.49	9.33	9.54	mm																												
Promedio	9.30	9.50	9.32	9.53	mm																												
Corregido	9.30	9.50	9.32	9.53	mm																												
Incertidumbre	± 0.036	± 0.020	± 0.026	± 0.034																													
AGUAS ARRIBA																																	
1 D																																	
Temp. °C	27	27	27	27																													
	0°	45°	90°	135°																													
Medicion 1	9.25	9.15	9.3	9.35	mm																												
Medicion 2	9.26	9.15	9.3	9.35	mm																												
Medicion 3	9.25	9.16	9.3	9.36	mm																												
Promedio	9.25	9.15	9.30	9.35	mm																												
Corregido	9.25	9.15	9.30	9.35	mm																												
Incertidumbre	± 0.020	± 0.020	± 0.024	± 0.020																													
1" UNION BRIDADA																																	
Temp. °C	27	27	27	27																													
	0°	45°	90°	135°																													
Medicion 1	9.2	9.15	9.36	9.36	mm																												
Medicion 2	9.2	9.1	9.34	9.37	mm																												
Medicion 3	9.25	9.1	9.34	9.4	mm																												
Promedio	9.22	9.12	9.35	9.38	mm																												
Corregido	9.22	9.12	9.35	9.38	mm																												
Incertidumbre	± 0.040	± 0.040	± 0.023	± 0.032																													
AGUAS ABAJO																																	
1 D																																	
Temp. °C	27	27	26.9	27.1																													
	0°	45°	90°	135°																													
Medicion 1	9.39	9.15	9.4	9.4	mm																												
Medicion 2	9.4	9.15	9.39	9.4	mm																												
Medicion 3	9.42	9.1	9.36	9.44	mm																												
Promedio	9.40	9.13	9.38	9.41	mm																												
Corregido	9.40	9.13	9.38	9.41	mm																												
Incertidumbre	± 0.026	± 0.040	± 0.032	± 0.034																													
1" UNION BRIDADA																																	
Temp. °C	27.3	27	27	27																													
	0°	45°	90°	135°																													
Medicion 1	9.1	9.45	9.3	9.5	mm																												
Medicion 2	9.11	9.46	9.3	9.5	mm																												
Medicion 3	9.15	9.47	9.36	9.54	mm																												
Promedio	9.12	9.46	9.32	9.51	mm																												
Corregido	9.12	9.46	9.32	9.51	mm																												
Incertidumbre	± 0.038	± 0.022	± 0.047	± 0.034																													
NUMERAL 2.5.3 - Dispositivo Portaplaca																																	
B)Facilidades de Inspección.																																	
El dispositivo tiene al menos uno de sus lados bridados	SI				Evaluación																												
El dispositivo esta probado hidrostáticamente	SI				CUMPLE																												
NUMERAL 2.6.3 - Longitud del Tubo de Medición																																	
Tipo de válvula MANUAL																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>A'</th> <th>B</th> <th>mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Medicion 1</td> <td>4160</td> <td>11150</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Medicion 2</td> <td>4160</td> <td>11150</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Medicion 3</td> <td>4160</td> <td>11150</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>4160.00</td> <td>11150.00</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Incertidumbre</td> <td>± 0.009</td> <td>± 0.011</td> <td>mm</td> </tr> </tbody> </table>											A'	B	mm	Medicion 1	4160	11150	mm	Medicion 2	4160	11150	mm	Medicion 3	4160	11150	mm	Promedio	4160.00	11150.00	mm	Incertidumbre	± 0.009	± 0.011	mm
	A'	B	mm																														
Medicion 1	4160	11150	mm																														
Medicion 2	4160	11150	mm																														
Medicion 3	4160	11150	mm																														
Promedio	4160.00	11150.00	mm																														
Incertidumbre	± 0.009	± 0.011	mm																														
Tiene acondicionador SI																																	
Evaluación CUMPLE																																	
NUMERAL 2.6.4 - Termopozos																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Termopozo</th> <th>mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Medicion 1</td> <td>1400</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Medicion 2</td> <td>1400</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Medicion 3</td> <td>1400</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>1400.00</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Incertidumbre</td> <td>± 0.009</td> <td>mm</td> </tr> </tbody> </table>											Termopozo	mm	Medicion 1	1400	mm	Medicion 2	1400	mm	Medicion 3	1400	mm	Promedio	1400.00	mm	Incertidumbre	± 0.009	mm						
	Termopozo	mm																															
Medicion 1	1400	mm																															
Medicion 2	1400	mm																															
Medicion 3	1400	mm																															
Promedio	1400.00	mm																															
Incertidumbre	± 0.009	mm																															

TUBO DE MEDICIÓN																									
NUMERAL 2.5.1 - Pruebas de verificación dimensional del tubo de medición																									
Cuenta con conexiones diferentes a las tomas de Presión				NO		Evaluación CUMPLE																			
Cuenta con conexiones diferentes a las tomas de Temperatura				NO		Evaluación CUMPLE																			
Cuenta con conexiones diferentes a los aseguradores del acondicionador				NO		Evaluación CUMPLE																			
NUMERAL 2.5.1.1 - Rugosidad interna del tubo de medición																									
AGUAS ARRIBA																									
1"					1/2 D																				
Temp. °C	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>15.3</td><td>15.3</td><td>15.4</td><td>15.3</td></tr> <tr><td>0°</td><td>90°</td><td>180°</td><td>270°</td></tr> </table>				15.3	15.3	15.4	15.3	0°	90°	180°	270°	Temperatura	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>15.3</td><td>15.3</td><td>15.3</td><td>15.3</td></tr> <tr><td>0°</td><td>90°</td><td>180°</td><td>270°</td></tr> </table>				15.3	15.3	15.3	15.3	0°	90°	180°	270°
15.3	15.3	15.4	15.3																						
0°	90°	180°	270°																						
15.3	15.3	15.3	15.3																						
0°	90°	180°	270°																						
Medicion 1	3.39				Medicion 1	4.93																			
Medicion 2	3.37				Medicion 2	4.93																			
Medicion 3	3.37				Medicion 3	4.93																			
Promedio	3.38				Promedio	4.93																			
Incertidumbre	± 0.157				Incertidumbre	± 0.157																			
1 D					2 D																				
Temperatura	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>15.3</td><td>15.3</td><td>15.3</td><td>15.3</td></tr> <tr><td>0°</td><td>90°</td><td>180°</td><td>270°</td></tr> </table>				15.3	15.3	15.3	15.3	0°	90°	180°	270°	Temperatura	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>15.5</td><td>15.5</td><td>16.2</td><td>16.2</td></tr> <tr><td>0°</td><td>90°</td><td>180°</td><td>270°</td></tr> </table>				15.5	15.5	16.2	16.2	0°	90°	180°	270°
15.3	15.3	15.3	15.3																						
0°	90°	180°	270°																						
15.5	15.5	16.2	16.2																						
0°	90°	180°	270°																						
Medicion 1	2.36				Medicion 1	7.67																			
Medicion 2	2.31				Medicion 2	7.14																			
Medicion 3	2.31				Medicion 3	7.14																			
Promedio	2.33				Promedio	7.32																			
Incertidumbre	± 0.157				Incertidumbre	± 0.157																			
AGUAS ABAJO																									
1"					1/2 D																				
Temperatura	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>14.7</td><td>14.7</td><td>15.3</td><td>15.3</td></tr> <tr><td>0°</td><td>90°</td><td>180°</td><td>270°</td></tr> </table>				14.7	14.7	15.3	15.3	0°	90°	180°	270°	Temperatura	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>15</td><td>15</td><td>14.7</td><td>14.7</td></tr> <tr><td>0°</td><td>90°</td><td>180°</td><td>270°</td></tr> </table>				15	15	14.7	14.7	0°	90°	180°	270°
14.7	14.7	15.3	15.3																						
0°	90°	180°	270°																						
15	15	14.7	14.7																						
0°	90°	180°	270°																						
Medicion 1	1.95				Medicion 1	2.20																			
Medicion 2	2.04				Medicion 2	2.02																			
Medicion 3	1.81				Medicion 3	2.09																			
Promedio	1.93				Promedio	2.10																			
Incertidumbre	± 0.000				Incertidumbre	± 0.000																			
1 D					2 D																				
Temperatura	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>14.8</td><td>14.8</td><td>15</td><td>15</td></tr> <tr><td>0°</td><td>90°</td><td>180°</td><td>270°</td></tr> </table>				14.8	14.8	15	15	0°	90°	180°	270°	Temperatura	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>15.8</td><td>15.8</td><td>15.6</td><td>15.7</td></tr> <tr><td>0°</td><td>90°</td><td>180°</td><td>270°</td></tr> </table>				15.8	15.8	15.6	15.7	0°	90°	180°	270°
14.8	14.8	15	15																						
0°	90°	180°	270°																						
15.8	15.8	15.6	15.7																						
0°	90°	180°	270°																						
Medicion 1	2.81				Medicion 1	7.12																			
Medicion 2	2.81				Medicion 2	7.44																			
Medicion 3	2.66				Medicion 3	8.25																			
Promedio	2.76				Promedio	7.60																			
Incertidumbre	± 0.000				Incertidumbre	± 0.000																			
PROMEDIO ADMISIBLE	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>4.42</td></tr> <tr><td>6.35</td></tr> </table>				4.42	6.35																			
4.42																									
6.35																									
EVALUACIÓN	CUMPLE																								
NUMERAL 2.5.1.1.2 - Irregularidades del Tubo de Medición																									
ranuras				NO		Evaluación																			
rayaduras				NO		CUMPLE																			
Bordes resaltantes de soldaduras				NO		CUMPLE																			
Distorsiones o similares que afecten el diámetro interno				NO		CUMPLE																			
NUMERAL 2.5.1.1.3 - Estado interno del tubo de medición																									
El tubo está libre de contaminantes				SI		Evaluación																			
El tubo está libre de suciedades				SI		CUMPLE																			
Numeral 2.5.1.2 - DIAMETRO MEDIO Y DE REFERENCIA DEL TUBO DE MEDICIÓN																									
Numeral 2.3.1.6 - RELACION DE DIAMETROS b																									
Dm	288.6783	Dr	288.6783	Br	0.7049																				
NUMERAL 2.5.1.2.1 - Medición del diámetro interno del tubo de medición																									
AGUAS ARRIBA																									
1"					1 D																				
Temp. °C	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>12</td><td>12.2</td><td>12.2</td><td>12.4</td></tr> <tr><td>0°</td><td>45°</td><td>90°</td><td>135°</td></tr> </table>				12	12.2	12.2	12.4	0°	45°	90°	135°	Temp. °C	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>12.2</td><td>12.2</td><td>12.4</td><td>12.4</td></tr> <tr><td>0°</td><td>45°</td><td>90°</td><td>135°</td></tr> </table>				12.2	12.2	12.4	12.4	0°	45°	90°	135°
12	12.2	12.2	12.4																						
0°	45°	90°	135°																						
12.2	12.2	12.4	12.4																						
0°	45°	90°	135°																						
Medicion 1	288.66				Medicion 1	288.67																			
Medicion 2	288.69				Medicion 2	288.68																			
Medicion 3	288.67				Medicion 3	288.67																			
Promedio	288.67				Promedio	288.67																			
Desviación	0.002%				Desviación	0.002%																			
Corregido	288.67				Corregido	288.67																			
Evaluación < 0 = 0.25%	CUMPLE				Evaluación < 0 = 0.25%	CUMPLE																			
Incertidumbre	± 0.031				Incertidumbre	± 0.018																			

2 D					UNION SOLDADA				
Temp. °C	13	12.6	12.6	12.6	Temp. °C	12.6	12.7	12.7	13
	0°	45°	90°	135°		0°	45°	90°	135°
Medicion 1	288.57	288.56	288.55	288.57	Medicion 1	287.57	287.57	287.58	287.56
Medicion 2	288.54	288.54	288.54	288.57	Medicion 2	287.55	287.56	287.57	287.57
Medicion 3	288.58	288.57	288.58	288.57	Medicion 3	287.57	287.56	287.57	287.57
Promedio	288.56	288.56	288.56	288.57	Promedio	287.56	287.56	287.57	287.57
Desviación	0.040%	0.042%	0.042%	0.038%	Desviación	0.386%	0.386%	0.383%	0.385%
Corregido	288.56	288.56	288.56	288.57	Corregido	287.56	287.56	287.57	287.57
Incertidumbre	± 0.036	± 0.027	± 0.036	± 0.000	Incertidumbre	± 0.020	± 0.010	± 0.010	± 0.010
Desviación	0.3880%					± 0.000101	± 0.000025	± 0.000025	± 0.000025
Evaluación < α = 0.5%	CUMPLE								

AGUAS ABAJO

1 "					1 D				
Temp. °C	13	13.4	13.6	13.6	Temp. °C	13.7	13.7	13.7	13.8
	0°	45°	90°	135°		0°	45°	90°	135°
Medicion 1	288.66	288.67	288.67	288.66	Medicion 1	288.67	288.675	288.68	288.67
Medicion 2	288.66	288.67	288.68	288.68	Medicion 2	288.665	288.67	288.67	288.68
Medicion 3	288.67	288.67	288.67	288.68	Medicion 3	288.68	288.67	288.67	288.68
Promedio	288.66	288.67	288.67	288.67	Promedio	288.67	288.67	288.67	288.67
Promedio Total	288.67				Promedio Total	288.67			
Corregido	288.66	288.67	288.67	288.67	Corregido	288.67	288.67	288.67	288.67
Desviación	0.005%	0.003%	0.002%	0.002%	Desviación	0.002%	0.002%	0.002%	0.003%
Evaluación < α = 0.5%	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	Evaluación < α = 0.5%	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Incertidumbre	± 0.010	± 0.000	± 0.010	± 0.020	Incertidumbre	± 0.013	± 0.005	± 0.010	± 0.017

2 D				
Temp. °C	15	15	14.5	15.1
	0°	45°	90°	135°
Medicion 1	289.48	289.27	289.25	289.52
Medicion 2	289.49	289.27	289.28	289.47
Medicion 3	289.49	289.28	289.23	289.51
Promedio	289.49	289.27	289.25	289.50
Promedio Total	289.38			
Corregido	289.49	289.27	289.25	289.50
Desviación	0.280%	0.206%	0.199%	0.285%
Evaluación < α = 0.5%	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Incertidumbre	± 0.010	± 0.010	± 0.044	± 0.046

NUMERAL 2.5.1.3.3 - Estado interno del tubo de medición

Tiene resalte la superficie interna	NO	Evaluación
Tiene cordones de soldadura	NO	CUMPLE
		CUMPLE

NUMERAL 2.5.3 - Dispositivo Portaplaca

A) Uniones a Tubería

Existen rebabas	NO	Evaluación
Existen sobresaltes de soldadura	NO	CUMPLE
Esta bien el acabado superficial de la unión soldada	SI	CUMPLE
		CUMPLE

B)Facilidades de Inspección.

El dispositivo tiene al menos uno de sus lados bridados	SI	Evaluación
El dispositivo esta probado hidrostáticamente	SI	CUMPLE
		CUMPLE

6. ESTIMACION INCERTIDUMBRE

Cuando la transacción se realiza en flujo de energía, se debe seguir el procedimiento que se describe en la norma AGA R5, donde se indica que se debe obtener el flujo volumétrico a condiciones ESTÁNDAR [68 °F, 14.73 psia]. Si las condiciones resultan ser diferentes a las condiciones estándar (como es en este caso particular donde se reporta a condiciones del cliente), las cantidades de volumen son convertidas a condiciones ESTANDAR, siendo ésta cantidad en volumen la que se convierte a su equivalente de energía.

El valor obtenido para medición de energía que se presenta en este cálculo de incertidumbre fue determinado de acuerdo a los lineamientos que se estipulan en las normas AGA R5: 1996, el flujo volumétrico fue determinado de acuerdo a los procedimientos de las normas AGA R3-P3:1992 [1] y AGA R8:1985 [2]. El procedimiento de cálculo de la incertidumbre se realizó conforme a la metodología que se indica en la Guía ISO/TAG 4/WG3/GUM:1995 [3].

El modelo matemático utilizado para determinar la medición de energía a condiciones estándar es:

$$Q_e = Q_v * E_v$$

donde:

Q_e = Unidades de energía para el gas totales o en flujo por unidad de tiempo.

Q_v = Unidades de volumen estándar totales o en flujo por unidad de tiempo.

E_v = Relación Energía-Volumen [Btu por ft³] a condiciones estándar

Además: Para mezclas que sólo contienen componentes hidrocarburos

$E_v = V_g$ donde: $V_g = (1571.5 * s.g.) + 144$

Para mezclas conteniendo no hidrocarburos:

$E_v = V_g - (V_{cd} + V_n + V_o + V_{he} + V_{cm} + V_{hs} + V_w - V_{hy})$

Donde:

$V_{cd} = (\text{Volume \% CO}_2) * 25.318$

$V_n = (\text{Volume \% N}_2) * 16.369$

$V_o = (\text{Volume \% O}_2) * 18.801$

$V_{he} = (\text{Volume \% He}) * 25.318$

$V_{cm} = (\text{Volume \% CO}) * 13.424$

$V_{hs} = (\text{Volume \% H}_2\text{S}) * 13.462$

$V_w = (\text{Volume \% H}_2\text{O}) * 11.214$

$V_{hy} = (\text{Volume \% H}_2) * 0.713$

El modelo matemático utilizado para determinar el flujo volumétrico a condiciones base de del cliente es:

$$Q_b = N_1 C_d E_v Y_1 d^2 \frac{T_b}{P_b} \sqrt{\frac{P_{f1} Z_b Z_{b_{aire}} h_w}{G_r Z_{f1} T_f}}$$

donde:

Q_b = Razón de Flujo Volumétrico a condiciones del cliente. [MMPCD].

N_1 = Constante de conversión de unidades de ingeniería.

C_d = Coeficiente de descarga de la placa de orificio [$f(b, D, Re)$].

E_v = Velocidad de acercamiento = $\frac{1}{\sqrt{1 - b^4}}$

Y_1 = Factor de expansión [$f(P_{f1}, h_w, k)$].

d = Diámetro del orificio de la placa calculado la temperatura del fluido (T_f) [in]

T_b = Temperatura base de del cliente [$T_b = 20^\circ\text{C}$]

P_b = Presión base de del cliente [$P_b = 1 \text{ kg/cm}^2 (a)$]

P_{f1} = Presión estática en la toma de presión aguas arriba de la placa de orificio [$\text{kg/cm}^2 (g)$]

Z_b = Factor de compresibilidad del gas a condiciones del cliente .

Z_{baire} = Factor de compresibilidad del aire a condiciones del cliente. [$Z_{baire} = 0.99959$].

hw = Presión diferencial provocada por la placa de orificio [$inH_2O@60F$].

Gr = Gravedad específica del gas a condiciones del cliente.

Z_{fl} = Factor de compresibilidad del gas a condiciones de flujo.

T_f = Temperatura del fluido a condiciones de flujo [$^{\circ}C$]

$\beta = d/D$ = Relación existente entre el diámetro del orificio de la placa y el diámetro del tubo de medición.

$$d = d_r [1 + a_1 (T_f - T_r)] \quad d_r = d_m [1 + a_1 (T_r - T_m)]$$

$$D = D_r [1 + a_2 (T_f - T_r)] \quad D_r = D_m [1 + a_2 (T_r - T_m)]$$

T_r = Temperatura referencia para determinar el diámetro del orificio de la placa y del tubo de medición [$T_r = 20^{\circ}C$].

T_m = Temperatura de la placa de orificio y del tubo de medición a la hora de medir sus diámetros.

a_1 = Coeficiente de expansión térmica para el material de la placa de orificio [$1/^{\circ}C$]

a_2 = Coeficiente de expansión térmica para el material del tubo de medición. [$1/^{\circ}C$]

d_r = Diámetro del orificio de la placa a temperatura T_r . [in]

d_m = Diámetro del orificio de la placa a temperatura T_m [in]

D_r = Diámetro interior del tubo de medición a temperatura T_r . [in]

D_m = Diámetro interior del tubo de medición a temperatura T_m [in]

D = Diámetro interior del tubo de medición a la temperatura de flujo T_f . [in]

$$Re_D = \text{Número de Reynolds} = \left(\frac{Q_b P_b Gr}{m D T_b Z_{baire}} \right).$$

m = Viscosidad dinámica del fluido. [lb/ft-s]

k = Exponente isentrópico del gas.

El modelo matemático utilizado para relacionar el flujo volumétrico a condiciones base del cliente con el flujo volumétrico a Condiciones estándar es:

$$Q_v = Q_b * (P_b / P_s) * (T_s / T_b) * (Z_s / Z_b)$$

donde:

Q_v = Razón de Flujo Volumétrico a condiciones estándar. [MMSCFD].

Q_b = Razón de Flujo Volumétrico a condiciones del cliente. [MMPCD].

P_b = Presión a condiciones del cliente. [psia].

T_b = Temperatura a condiciones del cliente. [Rankine].

P_s = Presión a condiciones estándar. [14.73 psia].

T_b = Temperatura a condiciones estándar. [519.73 °Rankine].

Z_b = Factor de Compresibilidad a condiciones del cliente [Adimensional].

Z_s = Factor de Compresibilidad a condiciones estándar [Adimensional].

Para llevar a cabo el cálculo de incertidumbre se requiere identificar todas aquellas fuentes de incertidumbre que contribuyan a la incertidumbre total del mesurando (medición de flujo de energía). Las fuentes de incertidumbre normalmente están asociadas a las variables de entrada del modelo matemático. Para el caso de la medición de flujo de energía, se requiere entonces identificar las fuentes de incertidumbre

asociadas a las siguientes variables de entrada que son definidas a partir de un proceso de medición.

D_m :	diámetro interno del tubo de medición, [in]
d_m :	diámetro del orificio de la placa [in]
T_f :	temperatura del fluido en la región adyacente al medidor (aguas abajo), [°C]
P_f :	presión estática del fluido medida en la toma de presión aguas arriba de la placa, [kg/cm ² (g)]
hw:	presión diferencial provocada por la placa de orificio, [inH ₂ O@60F]
composición:	composición del gas determinada por el cromatógrafo, [%mol]

Adicionalmente, se tienen las siguientes fuentes de incertidumbre asociadas a constantes experimentales, modelos matemáticos e incertidumbres experimentales provocadas por un mal arreglo mecánico:

α_p :	coeficiente lineal de expansión térmica en la placa de orificio, [1/°C]
α_T :	coeficiente lineal de expansión térmica en el tubo de medición, [1/°C]
Ec. Cd:	incertidumbre en el modelo matemático para obtener el Coeficiente de Descarga, [adimensional]
Ec. Y:	incertidumbre en el modelo matemático para obtener el Factor de Expansión, [adimensional]
Ec. Z:	incertidumbre en el modelo matemático para obtener el Factor de Compresibilidad, [adimensional]
Arreglo mecánico:	incertidumbre en la medición de flujo volumétrico por mala instalación mecánica, [scfh]

A continuación se explica la forma como se determinó el valor de incertidumbre asociada a cada una de las variables de entrada utilizadas en la determinación de la razón de flujo de energía. Para algunos de estos casos, al no contarse con el soporte de información suficiente, fue necesario estimar el valor de incertidumbre, lo cual es válido pero no es lo más recomendable. Para estos casos, se indica brevemente cual es la mejor manera de determinar el correspondiente valor de incertidumbre.

Diámetro interno del tubo de medición (D_m): Durante los levantamientos de campo se obtuvo que el tubo de medición es de fábrica y que su diámetro nominal es de 12 in y que la cédula del tubo es 80 (diámetro interno de 11.376 in). Así mismo, la verificación dimensional realizada evidenció que esta información es correcta pero no se utiliza adecuadamente en el cálculo de flujo. En la hoja de verificación dimensional se indica la incertidumbre asociada a las mediciones hechas. La distribución de probabilidad asociada a esta fuente de incertidumbre es del tipo rectangular.

Diámetro del orificio de la placa (d_m): Durante los levantamientos de campo se obtuvo que el diámetro del orificio de la placa es de 8.0 in. La verificación dimensional realizada evidenció que esta información es correcta pero no se utiliza adecuadamente en el cálculo de flujo. En la hoja de verificación dimensional se indica la incertidumbre asociada a las mediciones hechas. La distribución de probabilidad asociada a esta fuente de incertidumbre es del tipo rectangular.

Temperatura de flujo (T_f): En los levantamientos de campo se verificó que la medición de temperatura en los trenes 2 al 5 se lleva a cabo con registradores de

temperatura; la instalación de estos registradores cumple con los requerimientos que se indican en la normatividad correspondiente, es decir, que el proceso de la medición de temperatura se está efectuando correctamente en estos 4 tubos; en el tubo 1 la instalación del elemento de temperatura no es adecuada. Se tiene evidencia de que los registradores de temperatura son verificados periódicamente, sin embargo la verificación se hace en un solo punto de la escala total. Se cuenta con registros del comportamiento de la temperatura en lapsos de 24 horas. Con esta información, se identifican cuatro fuentes de incertidumbre asociadas a la medición de la temperatura de flujo. La primera corresponde al gradiente de temperatura entre el punto donde se encuentra instalado el medidor y la temperatura que existe en el punto donde realmente debe estar localizado el elemento sensor (En este caso, el gradiente es igual a 0°C para los trenes 2, 3, 4 y 5; ya que se encuentran correctamente instalados, mientras que en el tren 1, se estimó un gradiente de $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$); la segunda corresponde a la desviación del registrador (En este caso la desviación es igual a 0°C , ya que se ajustan los medidores después de cada verificación); la tercera fuente de incertidumbre se asocia a la variabilidad de la temperatura (En este caso se detectó una máxima variación de la temperatura de $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$, $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$, $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$, $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ para los trenes 1, 2, 3, 4 y 5, respectivamente); la cuarta fuente es la asociada a la incertidumbre correspondiente a la calibración del medidor de temperatura (En este caso, como no se tiene evidencia del estado metrológico que tiene el medidor de temperatura se recurre a la información del fabricante del registrador. El fabricante estipula que su instrumento está garantizado para tener un máximo error en la medición de $\pm 1\%$ de la escala total del medidor; como el registrador se encuentra calibrado de 0 a 40°C para los trenes 1, 2, 3 y 4, entonces el máximo error es de $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$; el registrador del tren 5 está calibrado de 0 a 150°F , por lo que su máximo error es de $\pm 0.833^{\circ}\text{C}$). La distribución de probabilidad para estas fuentes de incertidumbre es del tipo rectangular para todas las fuentes de incertidumbre. La incertidumbre estándar total del patín en la medición de temperatura es de $\pm 1.07^{\circ}\text{C}$, $\pm 0.26^{\circ}\text{C}$, $\pm 0.26^{\circ}\text{C}$, $\pm 0.37^{\circ}\text{C}$, $\pm 0.75^{\circ}\text{C}$; para los trenes 1, 2, 3, 4 y 5 respectivamente. Es recomendable llevar a cabo una calibración del medidor de temperatura para confirmar sus propiedades metrológicas, en especial, el valor de incertidumbre de la calibración se reduciría de manera importante.

Presión de flujo (Pf): En los levantamientos de campo se verificó que la medición de presión estática se lleva a cabo con registradores de presión, la instalación de estos registradores no cumple con los requerimientos que se indican en la normatividad correspondiente, es decir, que el proceso de medición de presión no se está efectuando correctamente. Así mismo, se tiene evidencia de que los registradores de presión son verificados periódicamente. Se cuenta con registros del comportamiento de la presión en un lapso de 24 horas. Con esta información, se identifican cuatro fuentes de incertidumbre asociadas a la medición de la presión de flujo. La primera corresponde al gradiente de presión entre el punto donde se encuentra instalado el medidor y la presión que existe en el punto donde realmente debe estar localizado el elemento sensor (En este caso, el gradiente es igual a $0\text{ kg/cm}^2(\text{g})$, ya que los medidores se encuentran correctamente instalados); la segunda corresponde a la desviación del registrador (En este caso la desviación es igual a $0\text{ kg/cm}^2(\text{g})$, ya que se ajustan los medidores después de cada verificación); la tercera fuente de incertidumbre se asocia a la variabilidad de la presión (En este caso se detectó una variabilidad igual a $\pm 0.1\text{ kg/cm}^2(\text{g})$ para cada uno de los trenes, que corresponde a la desviación estándar de la media de la medición de presión); la cuarta fuente es la asociada a la incertidumbre correspondiente a la calibración del medidor de presión (En este caso, como no se tiene

evidencia del estado metrológico que tiene el medidor de presión se recurre a la información del fabricante de los registradores). El fabricante estipula que su instrumento está garantizado para tener un máximo error en la medición de $\pm 0.5\%$ de la escala total del medidor, como los registradores se encuentran calibrados de 0 a 1500 psia, con una presión atmosférica del lugar de 13.9 psi, entonces el máximo error es de $\pm 0.522 \text{ kg/cm}^2(\text{g})$ para todos los registradores. La distribución de probabilidad para estas fuentes de incertidumbre es del tipo normal para la variabilidad de la presión y del tipo rectangular para las restantes. La incertidumbre estándar total en la medición de presión estática es de $\pm 0.32 \text{ kg/cm}^2(\text{g})$ para cada tren. Es recomendable llevar a cabo una calibración del medidor de presión para confirmar sus propiedades metrológicas, en especial, el valor de incertidumbre de la calibración se reduciría de manera importante.

Presión diferencial (hw): En los levantamientos de campo se verificó que la medición de presión diferencial se lleva a cabo con registradores de presión, la instalación de estos registradores no cumple con los requerimientos que se indican en la normatividad correspondiente, es decir, que el proceso de medición de presión diferencial no se está efectuando correctamente. Así mismo, se tiene evidencia de que los registradores de presión son verificados y ajustados periódicamente. Se cuenta con registros del comportamiento de la presión diferencial en el lapso de 24 horas, excepto para el tren 3, que no se encontraba en operación. Con esta información, se identifican cuatro fuentes de incertidumbre asociadas a la medición de la presión diferencial. La primera corresponde al gradiente de presión entre el punto donde se encuentra instalado el medidor y la presión que existe en el punto donde realmente debe estar localizado el elemento sensor (En este caso, el gradiente correspondiente es igual a 0 inH₂O para cada tren, ya que los medidores se encuentran correctamente instalados); la segunda corresponde a la desviación del registrador (En este caso la desviación es igual a 0 inH₂O para cada tren, ya que se tiene la evidencia de que se ajusta el medidor después de cada verificación); la tercera fuente de error se asocia a la variabilidad de la presión diferencial. De los registros obtenidos, se detectó una máxima variabilidad de $\pm 3.5 \text{ inH}_2\text{O}$ para los trenes 1, 2 y 3 (gas de alta); mientras que para los trenes 4 y 5 se detectó una máxima variabilidad de $\pm 7.0 \text{ inH}_2\text{O}$ (gas de baja); la cuarta fuente es la asociada a la incertidumbre correspondiente a la calibración del medidor de presión diferencial (En este caso, como no se tiene evidencia del estado metrológico que tienen los medidores de presión diferencial, se recurre a la información del fabricante de los registradores. El fabricante estipula que su instrumento está garantizado para tener un máximo error en la medición de $\pm 0.5\%$ de la escala total del medidor, como los registradores se encuentran calibrados de 0 a 200 inH₂O, entonces el máximo error es de $\pm 1 \text{ inH}_2\text{O}$ para cada medidor. La distribución de probabilidad para estas fuentes de incertidumbre es del tipo rectangular para todas las fuentes de incertidumbre. La incertidumbre estándar total del patín en la medición de presión diferencial es de $\pm 2.10 \text{ inH}_2\text{O}$ para los trenes 1, 2 y 3; y de $\pm 4.08 \text{ inH}_2\text{O}$ para los trenes 4 y 5. Es recomendable llevar a cabo una calibración del medidor de presión diferencial para confirmar sus propiedades metrológicas, en especial, el valor de incertidumbre de la calibración se reduciría de manera importante.

Coefficiente lineal de expansión térmica de la placa (ap) y del tubo de medición (aT): El material de fabricación de los tubos de medición es acero al carbón y el de las placas de orificio es de acero inoxidable. De acuerdo a lo que se indica en la norma AGA R3-P1:1990 el valor de incertidumbre que se asocia a estas variables es de $\pm 10\%$. La distribución de probabilidad que se asocia a estas variables es uniforme y de tipo

rectangular. (Esto quiere decir que el máximo error que se tiene en la determinación de este factor es de $\pm 10\%$).

Determinación de la Composición del Gas (composición): Para la determinación de la composición del gas en el patín de gas de alta se utiliza un cromatógrafo en línea asociado únicamente al tubo 1; la toma de muestras no está instalada correctamente. Toda la información recopilada del cromatógrafo permite verificar que las tomas de muestra son correctas de acuerdo a la normatividad correspondiente, sin embargo no se tiene evidencia de las propiedades metrológicas del cromatógrafo ni de como se traducen las propiedades físicas que determina el cromatógrafo al programa de cálculo de flujo. En la determinación de la composición del gas cuando se emplea un cromatógrafo en línea, típicamente se tienen identificadas cuatro fuentes de incertidumbre, que son: Desviación en la determinación de la composición por el GC, Error de repetibilidad del GC, Variabilidad de la composición de la mezcla e Incertidumbre de calibración del gas de referencia. La configuración del cromatógrafo y la instalación de la toma son correctas, por lo que se estimó que la máxima desviación que se puede tener en la determinación de la composición (cuando se ejecutan las corridas de autocalibración) es del $\pm 1.0\%$. Para la fuente de incertidumbre asociada a la repetibilidad del GC se tomó el dato de las especificaciones del fabricante, que es de ± 0.5 BTU/1000BTU. Del registro de composiciones que se recolectó en los levantamientos, se determinó que existe una variabilidad de $\pm 0.1\%$ con respecto al valor promedio, esta variabilidad necesariamente debe ser considerada sobre todo porque en el cálculo de flujo solo se toma un valor promedio de la composición de la mezcla. Para el caso de la incertidumbre de calibración del gas de referencia, al no contar con un informe de calibración, se estimó un valor típico de incertidumbre el cual es de $\pm 0.1\%$ con un factor de confianza igual a 2. La distribución de probabilidad que se define para estas fuentes de incertidumbre es del tipo rectangular para todas ellas. Para esta variable, todas las fuentes de incertidumbre se convierten a unidades de Peso molecular (lbm/lb-mol); esta decisión se toma en función de que el Peso Molecular es una variable que únicamente está en función de la composición del fluido. La incertidumbre total asociada a la determinación de la composición de la mezcla es de ± 0.11 lbm/lb-mol. Es importante verificar todos los estimados de incertidumbre del gas de calibración y la desviación en la determinación de la composición, ya que el estimado realizado es bastante hipotético.

Ecuación de Z (Ec z): El método que emplea el programa de cálculo de flujo para determinar el factor de compresibilidad del gas es el método grosso que se indica en la norma AGA R8:1985. Por las características del gas y por las condiciones de operación a las cuales se encuentra, la norma AGA R8 indica que el valor de incertidumbre asociado al empleo de la ecuación de estado es mayor del 0.1% @ 95% de confianza. La distribución de probabilidad asociada a esta variable es de tipo normal.

Ecuación de Cd (ec cd): El método que emplea el programa de cálculo de flujo para determinar el coeficiente de descarga es el que se indica en la norma AGA R3-P3:1992, la incertidumbre asociada a esta metodología, considerando una relación $\beta = 0.703$, tiene un valor de $\pm 0.50\%$ de Cd @ 95% de confianza para cada tren. La distribución de probabilidad asociada a esta variable es de tipo normal.

Ecuación de Y (ec Y): La fórmula que emplea el programa de cálculo de flujo para determinar el factor de expansión es el que se indica en la norma AGA R3-

P3:1992, la incertidumbre asociada a esta fórmula, considerando las condiciones de presión estática y presión diferencial que imperan en la estación de medición, tiene un valor de $\pm 0.17\%$ de $Y@95\%$ de confianza para cada tren. La distribución de probabilidad asociada a esta variable es de tipo normal.

Incertidumbre por arreglo mecánico del patín: El AGA R3-P2:1991 indica que cuando el arreglo mecánico de una estación de medición no cumple estrictamente con los requerimientos que se indican dentro de la norma, entonces la incertidumbre en la medición de flujo tiende a aumentar. En este caso se tiene que las distancias de tubería recta requeridas para el patín de medición no se cumplen, al tener una no-conformidad en la distancia de tubería recta aguas arriba (el no-cumplimiento es bastante significativo, ya que presenta 12.22 mts. cuando se requieren 41.89 mts.). Por esta razón se considera una incertidumbre de $\pm 5.0\%$ de $Q_b@95\%$ de confianza. Para los demás aspectos mecánicos (rugosidades, diámetros, espesores, etc.) se verificó su cumplimiento con las mediciones realizadas.

Los resultados del cálculo de incertidumbre realizado se presentan en forma tabular. En una primera tabla se enlista una serie de datos que corresponden a las diferentes combinaciones que pueden hacerse para los valores mínimos, normales y máximos de temperatura, presión y razón de flujo. (En total son 27 combinaciones). El valor de las variables restantes se mantuvo fijo de acuerdo a los datos recopilados en campo, con excepción del dato correspondiente al factor de compresibilidad (Z_f) que depende del valor de temperatura y presión y del valor de la presión diferencial, el cual depende en general de todas las variables involucradas en el cálculo. El valor de la presión diferencial fue simulado de tal forma de reproducir de la mejor manera el desempeño real de la estación de medición. Estos resultados se muestran en la tabla siguiente.

Siendo así, se tiene que en la primera tabla de datos titulada “Condiciones de operación – Datos de entrada al cálculo de incertidumbre” la organización de los datos es la siguiente:

- No: Número de combinación de condiciones de temperatura, presión y razón de flujo.
- Q_b : Razón de flujo estipulada por personal del cliente [mmscf-cliente].
- T_f : Temperatura de flujo estipulada por personal del cliente [$^{\circ}\text{C}$].
- P_f : Presión de flujo estipulada por personal del cliente [kg/cm² (g)].
- hw: Presión diferencial obtenida en función de unas condiciones de operación [inH₂O@60F].
- dm: Diámetro medido del orificio de la placa [in].
- Dm: Diámetro interno medido del Tubo de Medición [in].
- Z_f : Factor de compresibilidad a condiciones de flujo.
- Z_b : Factor de compresibilidad a condiciones de flujo.
- Mrgas: Peso Molecular del gas [lb/lb-mol].
- ? : Viscosidad Dinámica [lb/ft-s].
- k: Exponente Isentrópico.
- Patm: Presión Atmosférica [psia].
- Tmf: Temperatura de medición de dimensiones de la placa y del tubo de medición [$^{\circ}\text{C}$].

En la segunda tabla de datos titulada “Estimados de Incertidumbre en la Medición de Flujo de Energía de Gas Natural” se muestran los resultados obtenidos en el cálculo de incertidumbre. En general los datos que muestra la tabla son:

No:	Número de cálculo de incertidumbre realizado el cual corresponde a una combinación de condiciones de operación.
Qbcalc:	Flujo volumétrico calculado a condiciones del cliente. [mmscfd].
Qenergía:	Flujo de energía calculado. [mmBTU/D].
UexQe:	Porcentaje de incertidumbre en la medición de flujo de energía @ 95% de confianza.

PORCENTAJE DE CONTRIBUCION AL TOTAL DE INCERTIDUMBRE POR VARIABLE INDEPENDIENTE.

Dm:	% de contribución de incertidumbre por la medición del diámetro interno del tubo de medición.
dm:	% de contribución de incertidumbre por la medición del diámetro del orificio de la placa.
tf:	% de contribución de incertidumbre por la medición de temperatura de flujo.
pf:	% de contribución de incertidumbre por la medición de presión de flujo.
hw:	% de contribución de incertidumbre por la medición de presión diferencial.
α placa:	% de contribución de incertidumbre por la determinación del coeficiente de expansión cúbica del acero inoxidable.
α tubo:	% de contribución de incertidumbre por la determinación del coeficiente de expansión cúbica del acero al carbón.
Comp:	% de contribución de incertidumbre por la determinación de la composición del fluido.
ecZ:	% de contribución de incertidumbre por la ecuación de estado para determinar el factor de compresibilidad.
ecCd:	% de contribución de incertidumbre por la ecuación para determinar el coeficiente de descarga.
ecY:	% de contribución de incertidumbre por la ecuación para determinar el factor de expansión.
error arreglo:	% de contribución por efectos del arreglo mecánico del patín de medición.

No	Pf [Kg/cm2] (g)	Tf [°C]	Zf	Qb [mmscf d] pemex	Dm [in]	dm [in]	hw [inH2O60F]	Zb	Mrgas	μ [lb/ft-s]	k	Patm [psia]	Dif calc flujo [%]	dZf/df	dZf/dpf	Tmf [C]	hw/pf	Qbcalc [scfh] pemex
1	21.09	6.00	0.95	37.50	11.38	8.00	17.58818831	1.00	17.25	0.00	1.30	13.9000	0.00%	0.0007	-0.0250	20	0.1	37.50
2	21.09	6.00	0.95	202.50	11.38	8.00	539.650340	1.00	17.25	0.00	1.30	13.9000	0.00%	0.0007	-0.0250	20	1.7	202.50
3	21.09	6.00	0.95	200.00	11.38	8.00	525.747473	1.00	17.25	0.00	1.30	13.9000	0.00%	0.0007	-0.0250	20	1.7	200.00
4	21.09	18.00	0.95	37.50	11.38	8.00	18.478273	1.00	17.25	0.00	1.30	13.9000	0.00%	0.0006	-0.0213	20	0.1	37.50
5	21.09	18.00	0.95	202.50	11.38	8.00	568.358753	1.00	17.25	0.00	1.30	13.9000	0.00%	0.0006	-0.0213	20	1.8	202.50
6	21.09	18.00	0.95	200.00	11.38	8.00	553.677292	1.00	17.25	0.00	1.30	13.9000	0.00%	0.0006	-0.0213	20	1.8	200.00
7	21.09	25.00	0.96	37.50	11.38	8.00	18.991240	1.00	17.25	0.00	1.30	13.9000	0.00%	0.0005	-0.0194	20	0.1	37.50
8	21.09	25.00	0.96	202.50	11.38	8.00	584.970971	1.00	17.25	0.00	1.30	13.9000	0.00%	0.0005	-0.0194	20	1.9	202.50
9	21.09	25.00	0.96	200.00	11.38	8.00	569.837030	1.00	17.25	0.00	1.30	13.9000	0.00%	0.0005	-0.0194	20	1.8	200.00
10	47.46	6.00	0.88	37.50	11.38	8.00	7.460133	1.00	17.25	0.00	1.30	13.9000	0.00%	0.0016	-0.0242	20	0.0	37.50
11	47.46	6.00	0.88	202.50	11.38	8.00	220.541118	1.00	17.25	0.00	1.30	13.9000	0.00%	0.0016	-0.0242	20	0.3	202.50
12	47.46	6.00	0.88	200.00	11.38	8.00	215.076838	1.00	17.25	0.00	1.30	13.9000	0.00%	0.0016	-0.0242	20	0.3	200.00
13	47.46	18.00	0.90	37.50	11.38	8.00	7.930649	1.00	17.25	0.00	1.30	13.9000	0.00%	0.0013	-0.0202	20	0.0	37.50
14	47.46	18.00	0.90	202.50	11.38	8.00	234.576819	1.00	17.25	0.00	1.30	13.9000	0.00%	0.0013	-0.0202	20	0.3	202.50
15	47.46	18.00	0.90	200.00	11.38	8.00	228.761595	1.00	17.25	0.00	1.30	13.9000	0.00%	0.0013	-0.0202	20	0.3	200.00
16	47.46	25.00	0.91	37.50	11.38	8.00	8.197711	1.00	17.25	0.00	1.30	13.9000	0.00%	0.0012	-0.0183	20	0.0	37.50
17	47.46	25.00	0.91	202.50	11.38	8.00	242.550187	1.00	17.25	0.00	1.30	13.9000	0.00%	0.0012	-0.0183	20	0.4	202.50
18	47.46	25.00	0.91	200.00	11.38	8.00	236.535426	1.00	17.25	0.00	1.30	13.9000	0.00%	0.0012	-0.0183	20	0.3	200.00
19	66.79	6.00	0.84	37.50	11.38	8.00	5.059755	1.00	17.25	0.00	1.30	13.9000	0.00%	0.0024	-0.0227	20	0.0	37.50
20	66.79	6.00	0.84	202.50	11.38	8.00	148.931091	1.00	17.25	0.00	1.30	13.9000	0.00%	0.0024	-0.0227	20	0.2	202.50
21	66.79	6.00	0.84	200.00	11.38	8.00	145.257368	1.00	17.25	0.00	1.30	13.9000	0.00%	0.0024	-0.0227	20	0.2	200.00
22	66.79	18.00	0.86	37.50	11.38	8.00	5.433082	1.00	17.25	0.00	1.30	13.9000	0.00%	0.0019	-0.0187	20	0.0	37.50
23	66.79	18.00	0.86	202.50	11.38	8.00	159.968037	1.00	17.25	0.00	1.30	13.9000	0.00%	0.0019	-0.0187	20	0.2	202.50
24	66.79	18.00	0.86	200.00	11.38	8.00	156.020859	1.00	17.25	0.00	1.30	13.9000	0.00%	0.0019	-0.0187	20	0.2	200.00
25	66.79	25.00	0.88	37.50	11.38	8.00	5.642518	1.00	17.25	0.00	1.30	13.9000	0.00%	0.0017	-0.0168	20	0.0	37.50
26	66.79	25.00	0.88	202.50	11.38	8.00	166.162697	1.00	17.25	0.00	1.30	13.9000	0.00%	0.0017	-0.0168	20	0.2	202.50
27	66.79	25.00	0.88	200.00	11.38	8.00	162.061964	1.00	17.25	0.00	1.30	13.9000	0.00%	0.0017	-0.0168	20	0.2	200.00

Tabla 12. Combinación de Factores (presión, temperatura, flujo)

Tabla 13. Efecto de factores en Incertidumbre

No	Qbcalc [mmscfd] pemex	Energia [mmBTU/d]	UexQb [%]	Dm [%]	dm [%]	tf [%]	pf [%]	hw [%]	α placa [%]	α tubo [%]	Comp [%]	ecZ [%]	ecCd [%]	ecY [%]	error calc [%]
1	37.50	38123.66	13.06	0.28	0.11	0.08	52.12	39.97	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.01	7.33
2	202.50	205867.76	10.20	1.03	0.26	0.13	86.32	0.07	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.01	12.02
3	200.00	203326.18	8.36	1.02	0.26	0.13	86.32	0.07	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.01	12.03
4	37.50	38123.66	11.87	0.34	0.13	0.08	46.68	43.77	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.01	8.87
5	202.50	205867.76	8.99	1.32	0.34	0.14	82.43	0.08	0.00	0.00	0.20	0.01	0.00	0.02	15.47
6	200.00	203326.18	7.27	1.32	0.34	0.14	82.43	0.08	0.00	0.00	0.20	0.01	0.00	0.02	15.47
7	37.50	38123.66	11.29	0.38	0.14	0.08	43.62	45.82	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.01	9.80
8	202.50	205867.76	8.40	1.52	0.39	0.15	79.89	0.08	0.00	0.00	0.23	0.01	0.00	0.02	17.71
9	200.00	203326.18	6.75	1.51	0.38	0.15	79.89	0.09	0.00	0.00	0.23	0.01	0.00	0.02	17.72
10	37.50	38123.66	21.87	0.10	0.04	0.05	17.81	79.34	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	2.61
11	202.50	205867.76	10.00	1.02	0.26	0.26	85.33	0.43	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.01	12.51
12	200.00	203326.18	6.92	1.02	0.26	0.26	85.32	0.45	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.01	12.51
13	37.50	38123.66	20.19	0.12	0.05	0.05	14.30	82.37	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	3.07
14	202.50	205867.76	8.54	1.40	0.36	0.28	80.04	0.52	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	0.02	17.15
15	200.00	203326.18	5.99	1.40	0.36	0.28	80.02	0.55	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	0.02	17.14
16	37.50	38123.66	19.36	0.13	0.05	0.05	12.58	83.81	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	3.34
17	202.50	205867.76	7.86	1.66	0.42	0.29	76.50	0.58	0.00	0.00	0.26	0.01	0.00	0.02	20.25
18	200.00	203326.18	5.57	1.65	0.42	0.29	76.48	0.61	0.00	0.00	0.26	0.01	0.00	0.02	20.25
19	37.50	38123.66	30.31	0.05	0.02	0.04	8.75	89.75	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	1.36
20	202.50	205867.76	9.79	1.06	0.27	0.43	84.01	0.99	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.02	13.05
21	200.00	203326.18	7.09	1.06	0.27	0.43	83.97	1.04	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.02	13.05
22	37.50	38123.66	27.96	0.06	0.02	0.04	6.73	91.52	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	1.60
23	202.50	205867.76	8.23	1.50	0.38	0.45	77.72	1.21	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	0.02	18.46
24	200.00	203326.18	6.00	1.50	0.38	0.45	77.68	1.28	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	0.02	18.45
25	37.50	38123.66	26.80	0.07	0.03	0.04	5.78	92.33	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	1.74
26	202.50	205867.76	7.52	1.80	0.46	0.46	73.49	1.35	0.00	0.00	0.29	0.01	0.00	0.03	22.12
27	200.00	203326.18	5.51	1.80	0.46	0.46	73.45	1.42	0.00	0.00	0.29	0.01	0.00	0.03	22.11

Condiciones de operación		Presión Mínima	Presión Normal	Presión Máxima
Temperatura Mínima	Flujo Mínimo	±13.1%	±21.9%	±30.3%
	Flujo Normal	±10.2%	±10.0%	±9.8%
	Flujo Máximo	±8.4%	±6.9%	±7.1%
Temperatura Normal	Flujo Mínimo	±11.9%	±20.2%	±28.0%
	Flujo Normal	±9.0%	±8.5%	±8.2%
	Flujo Máximo	±7.3%	±6.0%	±6.0%
Temperatura Máxima	Flujo Mínimo	±11.3%	±19.4%	±26.8%
	Flujo Normal	±8.4%	±7.9%	±7.5%
	Flujo Máximo	±6.8%	±5.6%	±5.5%

Tabla 14. Incertidumbre Obtenida.

7. CONCLUSIONES

La forma de presentar los resultados permite obtener infinidad de conclusiones, las cuales variaran según el punto de vista desde el cual se analicen. En el presente reporte, solo se presentan conclusiones orientadas a como repercute el error y el valor de incertidumbre en la medición de flujo y, si es posible, sugerir algunas recomendaciones para minimizar estos valores. En términos generales las conclusiones que se emiten son:

- a) Los valores de incertidumbre mostrados indican que se tiene un 95% de confianza de que los valores de flujo que registra la estación de medición, a condiciones de temperatura, presión y flujo normal; Tendrán una máxima desviación de $\pm 8.5\%$ con respecto a la razón de flujo de energía que realmente está fluyendo. En otras palabras, quiere decir que no se sabe a ciencia cierta cual es valor exacto de flujo que se está midiendo, pero lo que si se sabe con un 95% de confianza, es que la medición no se desviará más allá del $\pm 8.5\%$ del valor real.
- b) El valor de incertidumbre mostrado combina en una sola magnitud todas los posibles errores que en cualquier momento pueden presentarse en uno o varios elementos de la **estación de medición**. El valor de incertidumbre NO representa el error que se tiene en la medición de flujo, ya que se puede dar el caso de que el error sea igual a cero, pero aun se sigue teniendo la incertidumbre de que ese valor de error realmente sea cero.
- c) Los valores de incertidumbre reportados no consideran errores sistemáticos propiciados por errores en el cálculo de flujo de energía o por errores en la medición de alguna variable o dimensión.
- d) Cuando se tiene la certeza de que existe un error en la determinación de un parámetro involucrado en el cálculo de flujo, entonces se tendrá una desviación en la medición y además se tendrá una incertidumbre en la medición de flujo.
- e) Como se observa en las tablas de resultados, la variable que mayor aporte tiene al valor de incertidumbre es la medición de presión estática y la medición de presión diferencial, el error en la determinación de la composición de la mezcla, las distancias mínimas no cumplidas y los valores no corregidos de D y d en el cálculo de flujo. Prácticamente la incertidumbre asociada a estas variables es la que contribuye al total de incertidumbre en la medición de flujo de energía. Esto quiere decir que antes de cualquier cosa se tienen que calibrar y verificar estos medidores, además de instalar un cromatógrafo en línea en el cabezal y no en el tren.
- f) La estación de medición tiene un valor significativo de incertidumbre, principalmente por el hecho de realizar los cálculos de flujo fuera de línea y por la utilización de medidores de presión estática, de presión diferencial y de temperatura con registradores de flujo y no con tecnologías de medición más confiables.
- g) **Al parecer existe una fuerte problemática por las condiciones de operación ya que la relación que existe entre flujo máximo y flujo mínimo es mayor de 3:1 (de hecho llega a ser hasta de 10:1). Para condiciones de flujo normales y máximas se requieren placas con diámetros más grandes.**
- h) Es evidente que no existe un procedimiento que esté definido en función de los rangos de operación en los cuales trabajará óptimamente según sea el arreglo que tenga configurado. En este tipo de patines, que tienen varios trenes en paralelo, es indispensable tener un procedimiento de este tipo.
- i) Por las gráficas de desempeño de la presión diferencial, es evidente que el patín requiere de un computador de flujo para llevar a cabo la medición, esto debido a la variación tan grande que tiene la presión diferencial (flujo). Con esta acción se

disminuiría de manera importante el error y la incertidumbre que se tiene en la medición de flujo.

8. BIBLIOGRAFIA

- MPMS API 21.1: Medición de Flujo usando sistemas electrónicos de medición.
- AGA 5: Medición de la energía del gas combustible.
- API RP 551: Instrumentación para Medición de Procesos
- API 555: Analizadores de Proceso.
- GPA 2261: Análisis de gas y mezclas gaseosas por cromatografía de gas.
- MPMS API 7.2: Determinación de Temperatura
- MPMS API 14.1: Recolección y Manejo de muestras de gas
- MPMS API 14.2: Factores de compresibilidad de gas natural y otras mezclas
- MPMS API 14.3 (AGA) P1, P2 y P3: Medición de gas natural con placa de orificio.

9. AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo es el resultado del esfuerzo conjunto de las personas que hacen parte del Grupo de Medición de CIATEQ A.C. Agradecemos a todos y cada uno de ellos sus aportes y valiosos comentarios.