



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETROLEO Y DEL GAS**

PRÁCTICA **RECOMENDADA**

PR IAPG-SC-22-2021-00

**Tolerancias para la Transferencia de
Custodia de Producto y Balances de
Planta**

1 Notas Especiales

Por tratarse de una Práctica Recomendada (PR) las acciones, modalidades operativas y técnicas en ellas incluidas, carecen de contenido normativo, legal o interpretativo, y no resultan obligatorias ni exigibles por terceros bajo ninguna condición..

No podrán ser invocadas para definir responsabilidades, deberes, ni conductas obligatorias para ninguno de los sujetos que las utilice, ya que sólo integran un conjunto de consejos para el mejoramiento de las operaciones comprendidas.

La adopción de una PR no libera a quien la utilice del cumplimiento de las disposiciones legales nacionales, provinciales y municipales, como así tampoco de respetar los derechos de patentes y /o propiedad industrial o intelectual que correspondieren.

El IAPG no asume, con la emisión de esta PR, la responsabilidad propia de las Compañías, sus Contratistas y Subcontratistas, de capacitar, equipar o entrenar apropiadamente a sus empleados. Así mismo el IAPG no releva ni asume responsabilidad alguna en lo que respecta al cumplimiento de las Normas en materia de salud, seguridad y protección ambiental.

Toda cita legal o interpretación normativa contenida en el texto de esta PR no tiene otro valor que el de un indicador para la conducta propia e interna de quienes voluntariamente la adopten o utilicen, bajo su exclusiva responsabilidad.

2 PROPÓSITO

Describir el método para determinar tolerancias para las transferencias de custodia de producto entre partes y balances operativos de unidades operativas que reciben, almacenan y despachan productos.

3 ALCANCE

Los métodos descritos en la presente Práctica Recomendada aplican a cualquier tipo de transferencia de hidrocarburos y productos derivados líquidos en especificación comercial empleados en la industria del petróleo y gas, así como también a las plantas de almacenamiento para fijar límites aceptables a los déficit y superávit de sus balances volumétricos.

Los métodos aplican solamente en caso de cumplimiento de las hipótesis de cada uno.

Siempre se considerará que las mediciones se realizan a condiciones estándar o en masa. En el caso de mediciones en litros en condiciones observadas o fuera de especificación, estos métodos pueden ser aplicados, pero no se puede asegurar su efectividad.

Que las empresas puedan incorporar la temática en las gestiones futuras de compras de equipamientos.

Que las empresas puedan beneficiarse de la identificación de nuevas tecnologías según el estado del arte de la reducción de emisiones.

Que las empresas puedan incorporar los resultados de estas buenas prácticas en el diseño de nuevas instalaciones.

Los **Anexo 1 y 2** detallan todas las fuentes de emisiones consideradas

4 DEFINICIONES

- IT: Índice de Tolerancia
- Batch: Remesa
- UO: Unidad Operativa / Planta / Terminal
- Medidores DP: Medidores de Desplazamiento Positivo
- Medidor Másico Elite: Modelo de medidor másico por efecto Coriolis de mejor calidad metrológica.

5 DESARROLLO

5.1 Determinación del IT

Las Tolerancias, tanto para el Balance como para las Transferencias de Producto, se basan en el desarrollo de Incertidumbres de los sistemas de medición y en el análisis estadístico de los datos históricos de esas transferencias y balances. Además, se considerarán las pérdidas por evaporación de aquellos productos que por sus propiedades físicas y químicas experimenten tal fenómeno en las etapas de almacenaje y bombeo.

Algunas de las fuentes de mayor peso en la Incertidumbre de los sistemas son:

- Calibración de los Tqs.
- Medición de agua, nivel y Temperatura en los Tqs (manual o automática).
- Calibración de los Tubos Probadores (Provers).
- Medición de Volumen y Temperatura en cargadero.
- Medición de Volumen y Temperatura en la Unidad Automática de Medición (Ducto).
- Volumen Removido.
- Cantidad y tamaño de Remesas.

Para el estudio se considera que los elementos de medición involucrados se encuentran calibrados con trazabilidad a Patrones Nacionales o Internacionales, en perfecto estado de conservación y mantenimiento, y son utilizados dentro de su rango de operación. No se tendrá en cuenta las pérdidas o filtraciones detectadas en las instalaciones ni el posible deterioro de los elementos de medición.

5.2 Empleo del IT

Respecto al Balance Mensual de las Plantas de Almacenamiento se debe considerar: la Existencia Inicial de cada mes, sumar los ingresos, restar los egresos y la existencia final y referirlo en forma porcentual al volumen Removido para cada producto. Donde el volumen removido es igual a las existencias iniciales más la sumatoria de los ingresos.

$$Vol. Removido = Exist. Inicial + \sum Vol. Entrada$$

$$Dif. Acum. \% = \frac{Exist. Inicial + \sum Vol. Entrada - \sum Vol. Salida - Exist. Final}{Vol. Removido} \times 100\%$$

En cambio, para el Balance de Transferencias de producto, o en movimiento de producto por Ductos solo se consideran los ingresos y egresos, pero en este caso para una única Remesa y también para el acumulado mensual de Remesas, referidos en forma porcentual al volumen ingresado para cada producto.

$$Dif. Acum \% = \frac{\sum Vol. Entrada - \sum Vol. Salida}{\sum Vol. Entrada} \times 100\%$$

Todo desvío que supere estos límites debería ser investigado, justificado y corregido (de ser posible), o al menos aprender de este error para no repetirlo en el futuro (además se deberán analizar tendencias, puntos cercanos a los límites, etc.).

5.3 Modelo de Cálculo

Se desarrollarán 3 modelos según la aplicación y practicidad:

- Basado en Incertidumbres: se basa en la determinación de la incertidumbre del sistema completo. Su aplicación es sencilla para sistemas de ductos, o transferencias entre partes.
- Basado en Incertidumbres y condiciones sistemáticas: similar al anterior, pero agregando la posibilidad de descontar pérdidas por evaporación. Se aplica a plantas de recepción, almacenamiento y despacho de productos.
- Estadístico: se emplean conceptos estadísticos simples para analizar la población de datos. Aplica principalmente a transferencias entre partes, cuando es difícil de determinar la incertidumbre del sistema. Su principal inconveniente es que puede enmascarar errores sistemáticos.

5.3.1 Modelo de incertidumbres

Este modelo se basa en la determinación de la incertidumbre del sistema completo de medición. Esto abarca los sistemas de medición en ambos extremos de la transferencia de producto

$$Tolerancia = \pm \sqrt{U_A^2 + U_B^2}$$

Donde U_A y U_B son las incertidumbres de los dos sistemas de medición que intervienen en una transferencia simple.

En el caso, que el sistema fuera más complejo, por ejemplo, un ducto con dos o más ingresos y una o más salidas, la ecuación puede expresarse de la siguiente manera:

$$Tolerancia = \pm \sqrt{\sum_{i=0}^n U_i^2}$$

Donde n corresponde a la cantidad de los sistemas de medición involucrados en sistema de transferencia.

A su vez, para determinar una tolerancia para un período de tiempo (por ejemplo, un mes), se puede aplicar la siguiente ecuación.

$$Tolerancia_{período} = \frac{Tolerancia_{Transferencia}}{\sqrt[n]{n}}$$

Siendo n, la cantidad de transferencias realizadas en dicho período de tiempo.

5.3.2 Modelo de incertidumbres con condiciones operativas

Este método de cálculo, utilizado para la determinación de tolerancias operativas en las UO, aplica a cualquier UO que posea custodia de producto, o sea, recibe almacena y despacha producto. No es aplicable a procesos industriales que transformen materia prima en productos elaborados.

El método en sí mismo, se basa en la combinación de incertidumbres de cuantificación y pérdidas inherentes al proceso logístico.

Incertidumbres

Se consideran todas las inherentes a los instrumentos de medición (medidores volumétricos, balanzas, medición manual y automática de tanques, etc.).

Pérdidas

Corresponden a la evaporación de producto. Estas pérdidas por evaporación se clasifican en:

- Pérdidas por respiración: es la evaporación del producto contenido en el tanque mientras se encuentra en reposo.
- Pérdidas por trabajo: surgen cuando el movimiento de producto dentro de un tanque genera el movimiento de la masa de vapor existente hacia afuera del tanque.

Para llevar adelante el desarrollo, se explicará el método en 2 etapas. Por un lado, el manejo de las incertidumbres, y por otro las evaporaciones.

5.3.2.1 Incertidumbres

Se consideran 3 fuentes de incertidumbre:

Incertidumbre por Medición de Entradas

Se debe evaluar según el instrumento de medición:

$$U_{Entradas} = \frac{\frac{\sum_{i=1}^{12} \text{Volumen Entradas}_i}{12} \times U_{Instrumento}}{\sqrt{\text{Cantidad de recepciones promedio al mes}}} \cong T_{Entradas}$$

Incertidumbre por Medición de Despachos

$$U_{Despachos} = \frac{\frac{\sum_{i=1}^{12} \text{Volumen Despachos}_i}{12} \times U_{Instrumento}}{\sqrt{\text{Cantidad de despachos promedio al mes}}} \cong T_{Despachos}$$

Incertidumbre por Medición de Stock

$$U_{Stock} = \frac{\text{Capacidad Total de Tanques} \times U_{Instrumento}}{\text{Cantidad de Tanques}} \cong T_{Stock}$$

Para estos cálculos, se podrá utilizar la siguiente tabla que fija la incertidumbre de cada instrumento de medición a utilizar. Si se desarrollará algún cálculo de incertidumbre superador, también sería válido para el cálculo.

INSTRUMENTO	CUANTIFICACIÓN – Incertidumbre Expandida
Medición con Medidores en Ductos	±0,181%
Medición con Medidores en Terminales DP	±0,163%
Medición con Medidores Mecánicos en Terminales	±0,300%
Medición con Másico (Elite)	±0,203%
Medición con Másico	±0,233%
Medición en Tanques (Manual)	±0,250%
Medición en Tanques (ATG)	±0,150%
Balanza (Pesada)	±0,300%

Finalmente, se obtiene la componente de la tolerancia inherente a la incertidumbre de los instrumentos realizando la suma (se consideran eventos sin correlación):

$$T_{Medición} = \pm (T_{Entradas} + T_{Despachos} + T_{Stock})$$

5.3.2.2 Evaporación

Se debe desarrollar el cálculo de evaporación para los medios de almacenaje según los cálculos establecidos en API MPMS Chapter 19 - Evaporative Loss Measurement.

5.3.2.3 Determinación Final

Una vez obtenidos los resultados de la evaporación, los mismos se suman para obtener la tolerancia al déficit, y se restan obtener la tolerancia al superávit. En el caso que el superávit diera menor a "0", se considera que la tolerancia es 0% en superávit.

$$Tolerancia_{Déficit} = -T_{Medición} - Evaporación$$

$$Tolerancia_{Superávit} = T_{Medición} - Evaporación$$

Estos valores obtenidos están expresados en unidades de volumen o masa. Para expresarlos en forma relativa o porcentual, los dividimos por el removido utilizado en el estudio.

$$Tolerancia_{Déficit}(\%) = \frac{-T_{Medición} - Evaporación}{Vol. Removido} \times 100\%$$

$$Tolerancia_{Superávit}(\%) = \frac{T_{Medición} - Evaporación}{Vol. Removido} \times 100\%$$

5.3.3 Modelo estadístico

Para este método, podemos adoptar o combinar los dos métodos siguientes.

5.3.3.1 Modelo de filtrado por desviación estándar

Este método se basa en analizar una población representativa de las diferencias de cada remesa, por lo menos, a lo largo de un ciclo operativo completo.

Para ello, se siguen los siguientes pasos. En primer lugar, se analizan por separado las diferencias positivas y las negativas y se agrupan en dos grupos de datos diferentes. En cada grupo se aplican los siguientes pasos para filtrar datos espurios:

1. Se determina la media y el desvío estándar de la población de datos relevados.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=0}^n x_i}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

2. Se realiza un filtrado de los datos, tomando como referencia la media más y menos dos desvíos estándar. Los datos que estén fuera de ese intervalo se eliminan.
3. Con los datos filtrados, se determina la media de la nueva población.

De esta manera, obtenemos la media para las diferencias en superávit y déficit. Luego, la tolerancia se determina de la siguiente manera:

$$Tolerancia_{Déficit} = -\overline{x_{Déficit}}$$

$$Tolerancia_{Superávit} = \overline{x_{Superávit}}$$

5.3.3.2 Test de Dixon

También, es válido utilizar la prueba de Dixon, que se encuentra desarrollado en API MPMS 13.1 (Apéndice B).

Se deben seguir los siguientes pasos para utilizar la prueba de Dixon (ver tabla 1)

1. Ordenar el conjunto de mediciones x_i en orden ascendente de magnitud x_1, x_2, \dots, x_n .
2. Elegir el criterio de prueba adecuado, dependiendo del valor de n y de si la medición en cuestión es alta o baja.
3. Calcular la relación de Dixon R . Si esta excede la razón crítica al 5 por ciento de nivel de probabilidad ($P=0,95$), entonces la medición en cuestión es altamente cuestionable y posiblemente podría ser rechazada.

Si se excede la razón crítica al 1 por ciento de nivel de probabilidad ($P = 0,99$), entonces la medición en cuestión debe ser descartada.

Cuando una medición es rechazada, la prueba de resultados distantes se debe repetir.

Nota: los dos sufijos en la relación de Dixon se refieren a las diferencias en el numerador y denominador respectivamente.

Tabla 1 - Prueba de Dixon para Resultados Distantes

Numero of valores, n	Valores Críticos		Criterio de Prueba	
	P = 0,95	P = 0,99	Valores Bajos	Valores Altos
3	0.941	0.988		
4	0.765	0.889	$R_{10} = \frac{x_2 - x_1}{x_n - x_1}$ or $\frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_1}$	
5	0.642	0.780		
6	0.560	0.698		
7	0.507	0.637		
8	0.554	0.683	$R_{11} = \frac{x_2 - x_1}{x_{n-1} - x_1}$ or $\frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_2}$	
9	0.512	0.635		
10	0.477	0.597		
11	0.576	0.679	$R_{21} = \frac{x_3 - x_1}{x_{n-1} - x_1}$ or $\frac{x_n - x_{n-2}}{x_n - x_2}$	
12	0.546	0.642		
13	0.521	0.615		
14	0.546	0.641		
15	0.525	0.616		
16	0.507	0.595		
17	0.490	0.577		
18	0.475	0.561		
19	0.462	0.547	$R_{22} = \frac{x_3 - x_1}{x_{n-2} - x_1}$ or $\frac{x_n - x_{n-2}}{x_n - x_3}$	
20	0.450	0.535		
21	0.440	0.524		
22	0.430	0.514		
23	0.421	0.505		
24	0.413	0.497		
25	0.406	0.489		

5.4 Frecuencia del Estudio

Es recomendable realizar una revisión del estudio en cualquiera de las siguientes condiciones:

- A pedido de la planta, cuando cambie su removido en un valor superior al 30% con respecto al obtenido durante el año del cual se determinó el valor vigente. Estas condiciones deberán mantenerse durante 10 meses continuos como mínimo para asumir que el cambio no es temporal y solicitar así el nuevo IT.
- Cambios en el proceso operativo (variación en la cantidad de Tanques en uso, cambios en la densidad del producto (mayores al 25%), cambio de producto en los tanques, etc.).
- Cambios en los Instrumentos de Medición (otras características o tecnologías).
- Cambios en los tipos de Tanques (techos fijos a techos flotantes).

5.5 Documentos de referencia

- Norma API MPMS 13 Aspectos estadísticos de la medición y toma de muestra.
- Norma API MPMS 19 Medición de pérdida por evaporación.

Anexo 1

Ejemplo Cálculo para sistema de ductos

Se desea determinar la Tolerancia Mensual del Balance Operativo de Producto en un Ducto, en base al desarrollo de Incertidumbres de los sistemas de medición involucrados y cálculos estadísticos. Se define el sistema de medición como:

- Entrada del Producto (UE: Incertidumbre en la medición de la Entrada)
- Salida del Producto (US: Incertidumbre en la medición de la Salida)

En este caso, ambos sistemas poseen las mismas características y operan bajo las mismas condiciones, pudiendo ocurrir que un mismo sistema se utilice tanto para la medición de la Entrada como la de Salida.

Determinación de UE y US

Los volúmenes de entrada y salida al Ducto se basan en el Certificado de Cantidades o Acta de Entrega acordado entre las partes involucradas en la Transferencia, por lo que estos dependerán de lo indicado por el Puente de Medición de la Dependencia correspondiente ajustado a 15°C y 1 atm.

Para el cálculo del Balance Operativo Mensual por producto tenemos:

$$Dif.Acum = \sum Vol.Entrada - \sum Vol.Salida$$

$$Dif.Acum\% = \frac{\sum Vol.Entrada - \sum Vol.Salida}{\sum Vol.Entrada} \times 100\%$$

Cuando se trate de Poliductos, tendremos en cuenta el cálculo de la cantidad de producto en la Interface entre Remesas de productos distintos, con la excepción de que se envíe un separador físico o tapón que evite la mezcla entre ambos, por lo tanto, ejemplificando para los productos Gas Oil (GO) y Nafta Súper (NS):

$$Vol.GO_{Entrada} = Vol.BatchGO_{Entrada} + Vol.GO_{InterfazInic} + Vol.GO_{InterfazFinal}$$

donde:

Vol.BatchGOEntrada: Volumen de GO que ingresa al Ducto excluyendo el contenido en la Interfase

Vol.GOInterfaseInic: Volumen de GO en la Interfase Inicial

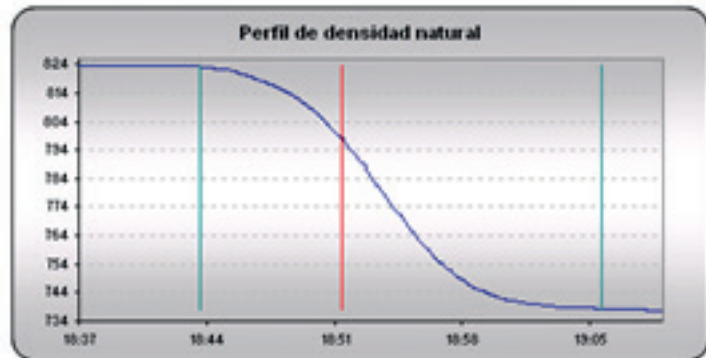
Vol.GOInterfaseFinal: Volumen GO en la Interfase Final

Corresponde el mismo análisis para la medición de salida del Ducto (Vol.GOSalida).

Gráficamente:

Transferencias	Lts GSV
GOA a GOA	56.353
NS a GOA	6.134
Total a batch de GOA	62.487
GOA a NS	22.685
NS a NS	92.072
Total a batch de NS	114.757

Transferencia a documentar:	
Lts GSV	16.552
kg	13.715
Remito	GOA
Recibo	NS



Nota: En el presente desarrollo, no se han tenido en cuenta las existencias dentro de los Ductos.

Modelo Matemático

Para la medición de los volúmenes de Entrada y/o Salida excluyendo las Interfases (Vol. BatchGOEntrada y Vol. BatchGOSalida):

$$V_{15^{\circ}, 1atm} = \frac{Pmi}{Kf} \times MF \times CTLm \times CPLm$$

Para la medición de producto en la Interfase Inicial (Vol.GOInterfaseInicial):

$$Vol.GO_{InterfaseInicial} = \frac{Masa_{InterfaseInicial} - Vol_{InterfaseInicial} \times \rho_{NS}}{\rho_{GO} - \rho_{NS}} = \frac{Vol_{InterfaseInicial} \times \rho_{InterfaseInicial} - Vol_{InterfaseInicial} \times \rho_{NS}}{\rho_{GO} - \rho_{NS}}$$

$$Vol.GO_{InterfaseInicial} = \frac{Vol_{InterfaseInicial} \times (\rho_{InterfaseInicial} - \rho_{NS})}{\rho_{GO} - \rho_{NS}}$$

Para la medición de producto en la Interfase Final (Vol.GOInterfaseFinal):

$$Vol.GO_{InterfaseFinal} = \frac{Masa_{InterfaseFinal} - Vol_{InterfaseFinal} \times \rho_{NS}}{\rho_{GO} - \rho_{NS}} = \frac{Vol_{InterfaseFinal} \times \rho_{InterfaseFinal} - Vol_{InterfaseFinal} \times \rho_{NS}}{\rho_{GO} - \rho_{NS}}$$

$$Vol.GO_{InterfaseFinal} = \frac{Vol_{InterfaseFinal} \times (\rho_{InterfaseFinal} - \rho_{NS})}{\rho_{GO} - \rho_{NS}}$$

Hipótesis sobre el modelo matemático

- Es suficiente la aproximación lineal en los factores de corrección por efectos de temperatura.
- El medidor se encuentra calibrado con trazabilidad a Patrones Nacionales o Internacionales, en perfecto estado de conservación y mantenimiento, y es utilizado dentro de su rango de operación. La instalación del puente de medición está de acuerdo con normas API MPMS.
- Para el desarrollo de Incertidumbres del método de cálculo de Interfaces, se la considera del tipo "parabólica ascendente", como suele ocurrir en condiciones normales de operación (idem gráfico anterior).

Determinamos las fuentes de Incertidumbre, estimamos la Incertidumbre estándar de cada fuente, calculamos la Incertidumbre estándar combinada y determinamos la Incertidumbre Expandida.

U de medición de una remesa

Nro	Fuente	Detalle	Incertidumbre Origen	Distribución
1	Pulsos Generados por Medidor	API. 21.2 => +/-2 en 200.000 pulsos	2,00 pulsos	R
2	Factor de Corrección (MF)			
	Estabilidad	Especificaciones del Fabricante (+/- 0,05%)	+/- 0,0005	N; k=2
	Linealidad	Especificaciones del Fabricante (+/- 0,15%)	+/- 0,0015	R
	Calibración del Medidor	5 corridas	+/- 0,00027	N; k=2
3	Factor de Compresibilidad	API. 12.2.1M => +/-6,5% al 95% de confianza	+/- 0,000008 1/bar	N; k=2
4	Densidad a 15°C	API. 9.4 => desv permitida 1 kg/m3	+/- 1,0 Kg/m3	R
5	Temperatura en el Medidor			
	Estabilidad T°	Datos estadísticos y experiencia: 0,2 °C	+/- 0,10 °C	N; k=2
	Resolución Termómetro	API.12.2.4	+/- 0,05 °C	R
	Calibración Termómetro	API. 3.1	+/- 0,10 °C	N; k=2
6	Presión en el Medidor			
	Estabilidad Presión	Datos estadísticos y experiencia: 0,2 bar	+/- 0,10 bar	N; k=2
	Resolución Medidor de Presión	Especificaciones del Fabricante (0,1 bar)	+/- 0,05 bar	R
	Calibración Medidor de Presión	Se adopta por experiencia: 0,25% de la lectura	+/- 0,016 bar	N; k=2

Incertidumbre Estándar Relativa	0,092%
Grados de libertad	233
Factor de Cobertura	1,97
Incertidumbre Expandida Relativa	0,181%

U de medición de la interfase

Nro	Fuente	Detalle	Incertidumbre Origen	Distribución
1	Pulsos Generados por Medidor	API. 21.2 => +/-2 en 200.000 pulsos	2.00 pulsos	R
2	Factor de Corrección (MF)			
	Estabilidad	Especificaciones del Fabricante (+/- 0,05%)	+/- 0.0005	N; k=2
	Linealidad	Especificaciones del Fabricante (+/- 0,15%)	+/- 0.0015	R
	Calibración del Medidor	5 corridas	+/- 0.00027	N; k=2
3	Factor de Compresibilidad	API. 12.2.1M => +/-6,5% al 95% de confianza	+/- 0.000006 1/bar	N; k=2
4	Densidad de la Interfase	API. 9.4 => desv permitida 1 kg/m3	+/- 1.0 Kg/m3	R
5	Densidad del Producto A (GO)	API. 9.4 => desv permitida 1 kg/m3	+/- 1.0 Kg/m3	R
4	Densidad del Producto B (NS)	API. 9.4 => desv permitida 1 kg/m3	+/- 1.0 Kg/m3	R
6	Temperatura en el Medidor			
	Estabilidad T°	Datos estadísticos y experiencia: 0,2 °C	+/- 0.10 °C	N; k=2
	Resolución Termómetro	API.12.2.4	+/- 0.05 °C	R
	Calibración Termómetro	API. 3.1	+/- 0.10 °C	N; k=2
7	Presión en el Medidor			
	Estabilidad Presión	Datos estadísticos y experiencia: 0,2 bar	+/- 0.10 bar	N; k=2
	Resolución Medidor de Presión	Especificaciones del Fabricante (0,1 bar)	+/- 0.05 bar	R
	Calibración Medidor de Presión	Se adopta por experiencia: 0,25% de la lectura	+/- 0.023 bar	N; k=2

Incertidumbre Estándar Relativa	+/- 0,709 %
Grados de libertad	402
Factor de Cobertura	1,97
Incertidumbre Expandida Relativa	+/- 1,394%

Expresión de la Incertidumbre UE / US

La Incertidumbre Expandida de Medición de los Medidores Volumétricos +/-0,181% fue calculada multiplicando la Incertidumbre Estándar Combinada +/-0,092% por un factor de cobertura k 1,97, con un nivel aproximado de confianza del 95,45% y una distribución t con “v” 233 grados de libertad.

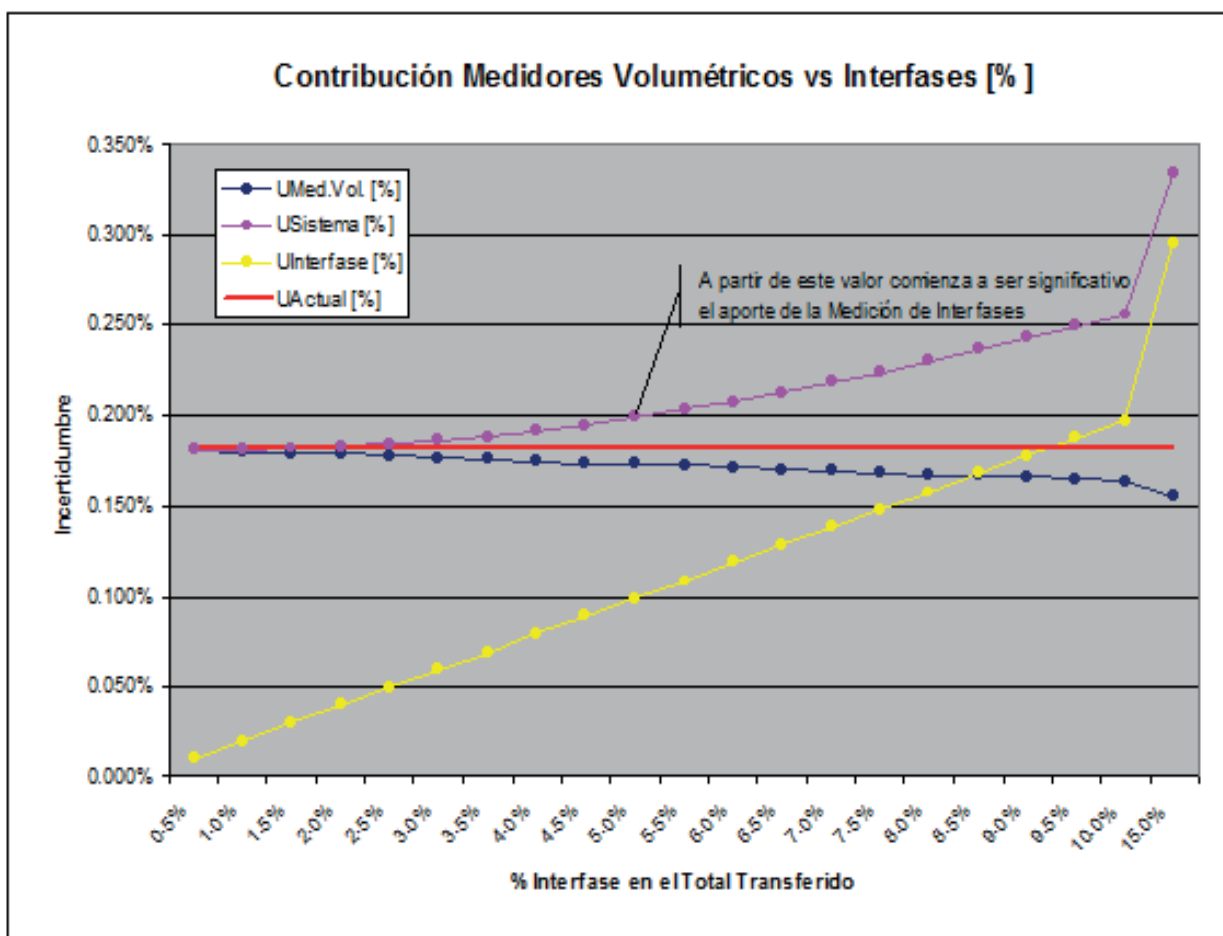
La Incertidumbre Expandida de Medición de Interfases +/-1,394% fue calculada multiplicando la Incertidumbre Estándar Combinada +/-0,709% por un factor de cobertura k 1,97, con un nivel aproximado de confianza del 95,45% y una distribución t con “v” 402 grados de libertad.

En los Poliductos, tenemos entonces que la Incertidumbre Final del Sistema será la suma cuadrática de la Incertidumbre de la Medición de la Interfase Inicial, la Interfase Final y del Medidor Volumétrico. Es decir:

$$U_{SISTEMA}[lts] = \sqrt{(U_{InterfaseInicial} \times Vol_{InterfaseInicial})^2 + (U_{InterfaseFinal} \times Vol_{InterfaseFinal})^2 + (U_{Med.Vol.} \times Vol_{Batch})^2}$$

$$U_{SISTEMA}[\%] = \frac{U_{SISTEMA}[lts]}{Vol_{InterfaseInicial} + Vol_{InterfaseFinal} + Vol_{Batch}}$$

Analizamos el aporte de las Interfases:



Por lo tanto, adoptamos que cuando la Interfase representa un 4% o más del Total Transferido se tendrá en cuenta su Incertidumbre de Medición para “Justificar” posibles desvíos en las Tolerancias por Remesa, ya que a partir de dicho valor su contribución comienza a ser significativa (varía la Incertidumbre del Sistema en un 5% aproximadamente). No ocurre lo mismo en la Tolerancia Mensual donde es despreciable independientemente de su aporte.

TOLERANCIAS

Tolerancia por Remesa: Es la tolerancia calculada a partir de las distintas incertidumbres presentes en la cuantificación de producto, de los distintos elementos de medición que componen el sistema.

Incertidumbre de medición de Medidor Volumétrico en Ducto: $\pm 0,181\%$

En función a la cantidad de componentes que pueden intervenir en la transferencia, obtenemos la Incertidumbre y por ende la Tolerancia por Remesa para cada tramo y para todo el sistema.

Se debe tener en cuenta que estos valores corresponden a la peor condición (considerando para una remesa, que todas las dependencias aportan a la Incertidumbre del sistema) la cual puede ser optimizada (considerando para una remesa solo las dependencias que intervinieron en el mismo, con lo cual la misma sería variable y su seguimiento por ende mucho más complejo).

$$Tolerancia_{Batch} = U_{Sistema} = \sqrt{\sum_{i=1}^n U_i^2}$$

Donde i corresponde a cada punto de medición afectado al sistema (ya sea que aporte producto o que saque producto).

Teniendo en cuenta la Medición de Interfases en los Poliductos, cuando estas representan un porcentaje mayor o igual al 4% del Total Transferido, se extenderán los límites de las Tolerancias.

Esta ampliación de los límites de las tolerancias se obtiene a partir del siguiente análisis:

% Interf./Total Tranf.	Incert. (Med. Vol + Interf.) [%]	Incert. (Med. Vol + Interf) / Incert. Med. Vol. [%]
0.5%	0.181%	100%
1.0%	0.181%	100%
1.5%	0.182%	100%
2.0%	0.183%	100%
2.5%	0.184%	101%
3.0%	0.186%	102%
3.5%	0.189%	104%
4.0%	0.192%	105%
5.5%	0.203%	112%
6.5%	0.213%	117%
7.5%	0.224%	123%
8.5%	0.236%	130%
9.5%	0.249%	137%
10.0%	0.256%	141%

Por lo tanto, la Incertidumbre Total del Sistema estará compuesta por el aporte de la Incertidumbre del Medidor Volumétrico y por el del Método de Medición de Interfases.

Una tolerancia por Remesa es apropiada debido a:

Solamente con un control puntual de cada remesa se podrá mejorar continuamente la calidad de las mediciones. Un límite mensual solo nos permitiría tomar una acción correctiva luego de un mes de acaecido el hecho. Por otro lado, puede ocurrir que en un mes se haya cerrado el balance correctamente y sin embargo haber operado ineficientemente.

Un proceso está bajo control estadístico si sus límites de control estadístico al 95% de confianza (2) están dentro de las tolerancias establecidas para el proceso (en este caso para cada remesa).

Tolerancia Mensual

Se calcula a partir de la tolerancia para la medición individual de una remesa y la cantidad de transferencias mensuales de un producto particular (cantidad de remesas para ese producto), entre las Unidades Operativas consideradas, con un grado de confianza del 95% para el intervalo.

Como en nuestro caso se trabaja con un Balance Acumulado Mensual, las diferencias que se registran en la medición de una remesa se deberían cancelar (es decir, una tendencia positiva o negativa resaltaría la presencia de un error sistemático en el sistema), adoptamos:

$$Tol.Mensual = \frac{Tol.Batch}{\sqrt{n}}$$

Donde “n” es la cantidad de remesas transferidas durante el mes.