

DETERMINACIÓN DEL ERROR DE INDICACIÓN EN MEDIDORES DE AGUA DOMICILIARIOS



BANCO DE MEDIDORES DE AGUA
Laboratorio de Flujo - IBMETRO



Definición: La determinación del error de indicación del medidor de agua consiste en comparar la indicación del volumen en éste, y el que llega al medidor volumétrico patrón (Tanque calibrado).

Ref.: Todo sobre medidores de agua, José Dajes Castro, 2da. Edición, Junio 2008.

CONTENIDO

Definición.	1
Error de indicación.	1
Curva de error de un medidor de agua	2
Incertidumbre de la medición.	2
Ejemplo práctico.	3

ERROR DE INDICACIÓN

Para la determinación del **error de indicación** se utiliza la siguiente expresión:

$$E_{\%} = \frac{(V_{MBP} - V_{PC})}{V_{PC}} * 100 \quad (1)$$

Donde:

$E_{\%}$ = Error porcentual relativo (al patrón de medición).

V_{MBP} = Volumen indicado por el medidor bajo prueba.

V_{PC} = Volumen corregido del recipiente patrón.

Asimismo se debe tener en cuenta que:

V_{MBP} = Lectura final – Lectura inicial (en el medidor).

V_{PC} = Volumen indicado en el patrón x $[1 + \alpha (t - 15 \text{ }^{\circ}\text{C})]$

Para obtener el volumen corregido del patrón:

t = Temperatura del agua en $^{\circ}\text{C}$.

α = Coeficiente de dilatación volumétrica del material del recipiente volumétrico patrón.

Acero inoxidable $\alpha = 5,1 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

Acero al carbón $\alpha = 5,1 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

El modelo matemático expresado en la ecuación (1) junto con sus correcciones, describe las condiciones de ensayo (temperatura y volumen de prueba, lecturas inicial y final, dilatación volumétrica, etc.) de tal manera que cumpliéndose estas condiciones se descartan su influencia y de esta manera, se permite efectuar la mejor determinación (estimación) del error de indicación de un medidor de agua.

El error de indicación encontrado permitirá establecer si un medidor de agua está operando dentro de los errores máximos permisibles, de acuerdo a lo siguiente:

Zona inferior de medición:

$$Q_1 \leq Q < Q_2 \quad \text{EMP: } \pm 5\% \quad (\pm 10\% \text{ en uso})$$

Zona superior de medición:

$$Q_2 \leq Q < Q_3 \quad \text{EMP: } \pm 2\% \quad (\pm 4\% \text{ en uso})$$

Donde:

Q_1 : Caudal mínimo.

Q_2 : Caudal de transición.

Q_3 : Caudal permanente.

Referencias:

NB ISO 4064

ISO 4064

OIML R 49

CURVA DE ERROR DE UN MEDIDOR DE AGUA

Para fines de determinación de los errores de indicación, la curva de error de un medidor de agua se presenta en el gráfico de la derecha.

Se puede apreciar que esta curva tiene 2 zonas de medición: Una zona inferior y una zona superior.

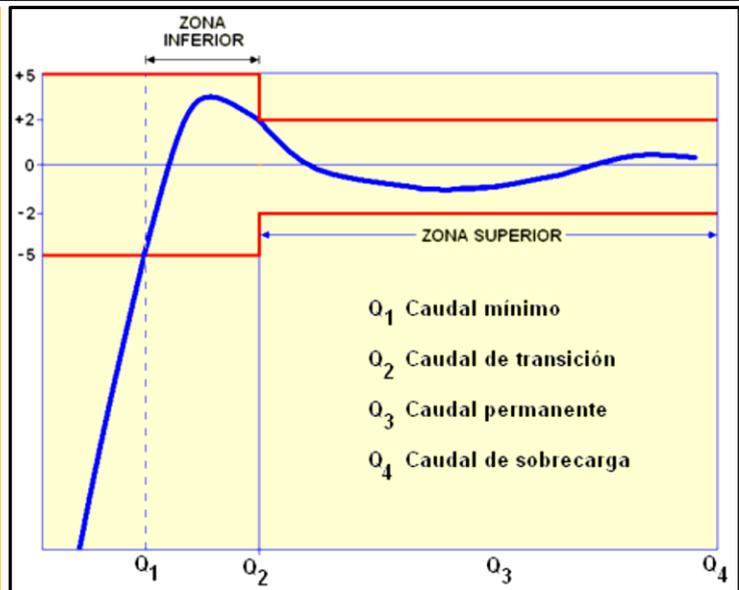
La curva de error se define por medio de los caudales del medidor, en general, caudal mínimo (Q_1), caudal de transición (Q_2), caudal permanente (Q_3) y caudal de sobrecarga (Q_4) Vs. E%.

Caudal mínimo (Q_1): Caudal a partir del cual el medidor empieza a proporcionar indicaciones de volumen.

Caudal de transición (Q_2): Caudal que divide en 2 zonas de medición el comportamiento del medidor, cada una de estas zonas se caracteriza por un error máximo permisible distinto.

Caudal permanente (Q_3): Caudal en el cual el medidor opera de manera satisfactoria y permanente bajo las condiciones de uso a flujo uniforme y/o intermitente.

Caudal de sobrecarga (Q_4): Caudal en el cual el medidor opera satisfactoriamente por ciertos periodos cortos de tiempo sin deteriorarse.



Otras definiciones necesarias de conocer son:

Caudal: Cociente del volumen de agua que pasa por el medidor (Volumen registrado en el indicador) y el tiempo que demora en hacerlo.

Caudal de arranque: Caudal en el cual, el medidor empieza a funcionar de manera estable. Determina la "sensibilidad" del medidor.

Curva de error: Gráfico logarítmico (Caudal vs. E%) que muestra los errores de indicación del medidor en función de sus caudales.

INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN

La determinación del error de indicación no estaría completa sino va acompañada de su incertidumbre de medición. La incertidumbre estimada representa la calidad de la medición efectuada, de tal manera que a partir de este valor se puede apreciar la "confiabilidad" del error determinado.

Para determinar la incertidumbre de la medición partimos del modelo matemático definido en la ecuación (1):

$$E_{\%} = \frac{(V_{MBP} - V_{PC})}{V_{PC}} * 100 \quad (1)$$

$$V_{MBP} = L_F - L_I$$

$$E_{\%} = \frac{(L_F - L_I - V_{PC})}{V_{PC}} * 100 \quad (2)$$

Donde:

$$\text{Lectura final: } L_F = I_F + \delta_{LF}$$

$$\text{Lectura inicial: } L_I = I_I + \delta_{LI}$$

Además:

I_F Es la indicación que lee el observador en el medidor de agua, y δ_{LF} es la corrección que se debería aplicar a I_F por la aproximación en la lectura que realiza el operador. De manera similar se procede en la lectura inicial.

Por otro lado:

$$V_{PC} = I_P + \delta_{IP} + \delta_{Cert}$$

I_P Es la indicación que lee el observador en el recipiente volumétrico patrón corregido a la temperatura t °C

δ_{IP} Es la corrección que se debería aplicar a I_P por la aproximación en la lectura que realiza el operador.

δ_{Cert} Es la corrección del recipiente volumétrico patrón, que aparece en su certificado de calibración.

Finalmente el modelo matemático queda expresado de la siguiente manera:

$$E\% = \frac{[(I_F - I_I - I_P) + \delta_{LF} - \delta_{LI} - \delta_{IP} - \delta_{Cert}]}{I_P + \delta_{IP} + \delta_{Cert}} * 100$$

δ_{IP} y δ_{Cert} Son valores prácticamente despreciables.

Además "e" es el error que se encuentra directamente en cada medición.

$$e = \frac{(I_F - I_I - I_P)}{I_P} * 100$$

Finalmente reemplazando "e" se obtiene:

$$E(\%) = e + \left(\frac{\delta_{LF}}{I_P} - \frac{\delta_{LI}}{I_P} - \frac{\delta_{IP}}{I_P} - \frac{\delta_{Cert}}{I_P} \right) * 100$$

El mejor estimador para $\delta_{LF}, \delta_{LI}, \delta_{IP}$ y δ_{Cert} es cero, pero sus incertidumbres deben evaluarse.

Se asume que la incertidumbre aportada por la corrección de temperatura es despreciable.

Aplicando la Ley de propagación de incertidumbres y puesto que el modelo matemático está compuesto solo por sumas y restas de las demás variables, se tiene:

$$u_c^2 = u_e^2 + u_{\delta LF}^2 + u_{\delta LI}^2 + u_{\delta IP}^2 + u_{\delta Cert}^2$$

u_e Es la contribución debida a la repetibilidad de las mediciones. Este componente se evalúa asumiendo que la distribución de probabilidades de las indicaciones es una distribución normal. Esta estimación se obtiene a partir de "n" mediciones como por ejemplo N=3.

Finalmente, utilizando un factor de cobertura k=2 que representa un nivel de cobertura aproximadamente del 95%, la incertidumbre expandida queda expresada de la siguiente manera:

$$U = 2 * u_c$$

U representa la **incertidumbre de la medición**.

Ref.: Todo sobre medidores de agua, José Dajes Castro, Edición 2008.

Cálculo de $u_e, u_{\delta LF}, u_{\delta LI}, u_{\delta IP}$ y u_{Cert} :

$$u_e = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

S=Desviación estándar del error (%)

n=Número de mediciones.

Se estima que la división de escala "d" puede subdividirse (imaginariamente) para ofrecer una mejor estimación dividiéndolo en "p" partes.

La distribución de probabilidad asumida es rectangular con límites simétricos $\pm(d/p)$. Este componente se evalúa asumiendo que cualquier aproximación de la indicación dentro de estos límites, es igualmente probable, quedando expresado de la siguiente manera:

$$u_{\delta LF} = \frac{d}{p \sqrt{3}}$$

Expresado en las mismas unidades (litros). Como porcentajes del volumen promedio (V) del ensayo (recipiente volumétrico patrón), queda expresado de la siguiente manera:

$$u_{\delta LF} = \frac{d}{p \sqrt{3}} \frac{(100)}{V}$$

$u_{\delta LI}$ = Contribución debido a la lectura final de la indicación del medidor de agua.

Esta contribución es igual a la hallada para la lectura inicial, por lo tanto, tenemos:

$$u_{\delta LI} = u_{\delta LF} = \frac{d}{p \sqrt{3}} \frac{(100)}{V}$$

Para $u_{\delta IP}$ se estima que la división de escala puede realizarse con una aproximación de $\pm L$ % y se asume que la distribución de probabilidades es rectangular. Este componente se evalúa asumiendo que cualquier aproximación de la indicación dentro de estos límites del recipiente volumétrico patrón es igualmente probable, quedando expresado de la siguiente manera:

$$u_{\delta IP} = \frac{L}{\sqrt{3}}$$

u_{Cert} Es la contribución debido a la calibración del recipiente volumétrico patrón. Su certificado de calibración indica una incertidumbre expandida (U_{Cert}) con un factor k=2. Así tenemos:

$$u_{Cert} = \frac{U_{Cert}}{2}$$

EJEMPLO PRÁCTICO

Para el desarrollo del presente ejemplo práctico se debe asumir las siguientes abstracciones:

- Se cuenta con un procedimiento donde se describen las condiciones para el ensayo (la variación máxima de temperatura, de presión y de caudal) así como también se tienen definidos los caudales de prueba.
- Toda instrumentación asociada a la medición está debidamente calibrada (Recipiente volumétrico patrón, termómetro, manómetro, rotámetros, presión en línea evaluada, caudales evaluados, etc.).

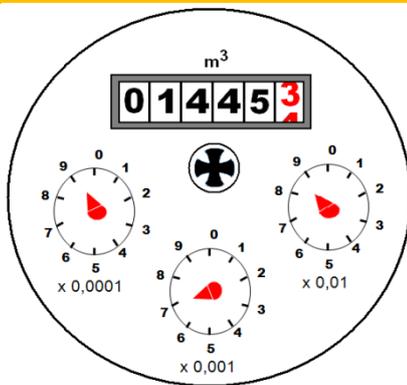
Información complementaria para el desarrollo del ejemplo práctico:

MEDIDOR DE AGUA

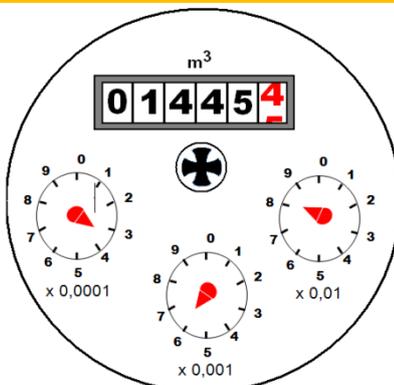
- Caudal de prueba: 1500 L/h
- División escala del medidor: 0,0001 (100 ml).
- Temperatura del agua 25 °C.

RECIPIENTE VOLUMÉTRICO PATRÓN

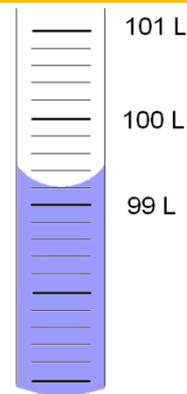
- Incertidumbre de calibración: $U = 0,02\%$; $k=2$
- División de escala: 0,2 L (0,2%)
- Volumen nominal: 100 L
- Material acero inoxidable: $\alpha = 5,11 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$



Lectura inicial del medidor de agua



Lectura final del medidor de agua



Indicación del Recipiente Patrón

Ultimas lecturas final e inicial del medidor de agua y última indicación del recipiente patrón para el desarrollo del ejercicio práctico.

Cálculos para la medición y estimación de incertidumbre

LECTURAS DEL MEDIDOR			LECTURAS EN EL PATRÓN		Error encontrado	Error relativo	
No.	Lectura Inicial	Lectura Final	Volumen medidor	Indicación patrón			
			L	L	L	%	
1	1445186,92	1445286,72	99,8	100,1	100,13	-0,33	-0,33
2	1445286,72	1445386,92	100,2	100,4	100,43	-0,23	-0,23
3	1445386,92	1445486,32	99,4	99,2	99,53	-0,13	-0,13
Promedio			99,8	100,0	100,03	-0,03	-0,03

Finalmente, luego de proceder con los cálculos para la estimación de la incertidumbre anteriormente descritos, se obtiene:

$$E_{\%} = [-0,03 \pm 0,22] \%$$

Se deja como tarea a los lectores, el cálculo de la estimación de la incertidumbre de la medición de este ejemplo.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

Todo sobre medidores de agua, José Dajes Castro, Edición Junio 2008.

DEL AUTOR

Ing. Julio Casilla Gutiérrez

jcasilla@ibmetro.gob.bo

Responsable de Laboratorio de Temperatura y Flujo.

Instituto Boliviano de Metrología – IBMETRO

Tel.: (591-2) 237 2046 214 7945

La Paz - Bolivia