



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① Número de publicación: **2 233 111**

② Número de solicitud: 200101305

⑤ Int. Cl.  
**G01F 25/00** (2006.01)

⑫

PATENTE DE INVENCION

B1

⑫ Fecha de presentación: **01.06.2001**

⑬ Fecha de publicación de la solicitud: **01.06.2005**

Fecha de la concesión: **23.06.2006**

⑮ Fecha de anuncio de la concesión: **16.07.2006**

⑯ Fecha de publicación del folleto de la patente:  
**16.07.2006**

⑰ Titular/es: **Universidad de Sevilla  
c/ Valparaíso 5 - 1ª Planta  
41013 Sevilla, ES**

⑱ Inventor/es: **Biscarri Triviño, Félix;  
Gómez Gutiérrez, Álvaro Ariel;  
Menéndez Martínez, Alberto y  
Sánchez Gómez, Ana Beatriz**

⑳ Agente: **No consta**

⑳ Título: **Procedimiento de estimación de la tolerancia de medida de los medidores de caudal en plantas industriales.**

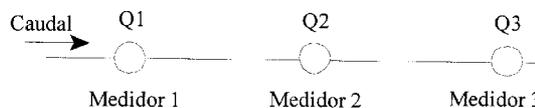
㉑ Resumen:

Dispositivo y procedimiento de estimación de la tolerancia de medida de los medidores de caudal en plantas industriales.

La presente invención consiste en un dispositivo y procedimiento de estimación de la tolerancia de medida de los medidores de caudal.

El dispositivo objeto de la invención consta de tres medidores de caudal dispuestos en serie sobre una tubería sin ramificaciones, o de tres medidores situados en sendas tuberías en serie sin ramificaciones. En el caso en el que la tubería tenga ramificaciones, el dispositivo consta de tres o más medidores de caudal dispuestos en las ramificaciones de la tubería principal siempre que exista al menos un medidor en cada derivación.

A partir de la distribución de diferencia de medida de caudal existente entre cada dos medidores de los que conforman el dispositivo, se estima la tolerancia de cada uno de ellos a partir de las varianzas de las diferencias entre medidas de cada dos medidores.



ES 2 233 111 B1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 37.3.8 LP.

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento de estimación de la tolerancia de medida de los medidores de caudal en plantas industriales.

5 **Objeto de la invención**

La medida de caudal es la base de la gestión técnica y económica de numerosos procesos industriales: industria petroquímica, industria química, industria papelera, redes de abastecimiento de agua, ...etc. En efecto, a partir de las medidas de caudal se pueden establecer toda una serie de indicadores fundamentales para el control industrial, como por ejemplo: cantidades producidas y consumidas, pérdidas, rendimientos, ...etc.

El control de calidad de dichas medidas de caudal, punto básico del control del proceso industrial y del establecimiento de balances de explotación coherentes, exige el conocimiento de las tolerancias de medida de los distintos medidores de caudal del proceso.

La presente invención consiste en un dispositivo y procedimiento que permiten estimar las tolerancias de medidores de caudal en sus propias condiciones de instalación y utilización en la planta industrial. Su campo de aplicación se extiende, por tanto, a todo el sector industrial en que se dé importancia a la medida de caudal, e incluso a los propios laboratorios de ensayo y verificación de medidores de caudal.

Bajo la denominación genérica de medidores de caudal, se engloba aquí todo tipo de caudalímetros (volumétrico o másico), así como de medidores volumétricos (contadores, limnómetros sobre depósitos de sección conocida, ...) y de medidores de pesada.

25 **Estado de la técnica**

Con respecto a la tolerancia de los medidores de caudal, el estado actual de la técnica propone un cálculo experimental de tolerancia en base a la desviación estándar de las medidas, calculando esta a partir de la comparación de unos valores medidos (observaciones) con respecto al "valor más probable" de la medida.

La estimación experimental de la tolerancia de los medidores de caudal resulta necesaria ya que su cálculo teórico a partir de los datos del fabricante del medidor conduce a resultados fuertemente erróneos e incluso inadmisibles. En efecto, las condiciones de instalación, de funcionamiento, de tipo de fluido, de mantenimiento y envejecimiento hacen que la tolerancia real pueda sufrir variaciones por encima del 100%.

Así, el comité denominado "Fluid Flow Measurement" de la International Standards Organization (ISO/TC-30) adopta como estándar el siguiente procedimiento para la asignación de valores numéricos a las tolerancias:

- El valor numérico de la tolerancia debe ser el doble de la desviación estándar.
- La desviación estándar se calcula extrayendo la raíz cuadrada a la suma cuadrática de las desviaciones respecto al "valor más probable", dividida por el número de observaciones menos uno.

En base a esta definición, la especificación de la tolerancia asociada a cada medida de caudal se está exigiendo, en el sector industrial, cada vez más, e incluso como de obligado cumplimiento.

La dificultad de llevar a la práctica una valoración experimental de la tolerancia de una medida de caudal radica en que el procedimiento propuesto por ISO/TC-30 es aplicable cuando se conoce el "valor más probable" del caudal que se desea medir. A estos efectos, la aproximación más usada es asimilar el "valor más probable" a el "valor medio" de la medida, pero esto solo es correcto si el *caudal exacto* permanece constante durante todo el período de observaciones. En este caso el valor medio, es igual o muy próximo al valor exacto del caudal y la tolerancia del medidor se asigna mediante las diferencias entre los valores medidos y el citado valor medio.

Aquí, bajo la denominación de *caudal exacto*, se considera el valor ideal de la medida de caudal que se hubiere realizado mediante un medidor, igualmente ideal, con tolerancia nula.

De una manera general, en los procesos industriales el *caudal exacto* no es constante, sino que está sometido a cambios y fluctuaciones debidos a la propia naturaleza del proceso, por ejemplo: fluctuaciones debidas a un sistema de bombeo, variaciones del consumo, cambios de régimen de funcionamiento, ...etc. Si se toma el valor medio medido como "valor más probable", las fluctuaciones del *caudal exacto* se están tomando como fluctuaciones propias del medidor, es decir, contribuyen a incrementar la tolerancia estimada del medidor, lo cual no es correcto y suele originar errores de gran importancia.

La novedosa aportación de la presente invención consiste en la estimación experimental y precisa de las tolerancias de medida de los medidores de caudal de una planta industrial en sus propias condiciones de explotación (sin desmontar el medidor), a partir de las medidas reales de caudal efectuadas por los propios medidores. Mediante la presente invención se consigue una estimación de la tolerancia del medidor con errores residuales normalmente inferiores al 5%, mientras que utilizando técnicas convencionales (asimilando el "valor más probable" a el "valor medio", tal como

## ES 2 233 111 B1

se ha indicado anteriormente) las estimaciones de las tolerancias se realizan normalmente con errores superiores al 100%.

### Breve descripción de las figuras

5      Figura 1: Instalación de tres medidores de caudal en serie.

Figura 2: Disposición de los medidores de caudal en tuberías ramificadas.

10     Figura 3: Descomposición en subredes.

Figura 4: Ejemplo de red con múltiples ramificaciones.

15     Figura 5: Ejemplo de descomposición en sucesivas subredes.

### Descripción detallada

La presente invención tiene por objeto el dispositivo y procedimiento de estimación de la tolerancia de medida en medidores de caudal de plantas industriales.

20     El dispositivo consta de tres medidores de caudal en serie montados sobre una misma tubería sin derivaciones, tal como se indica en la Figura 1.

El procedimiento presentado consiste en la estimación de la tolerancia de cada uno de los medidores de caudal basándose en las diferencias de medida de caudal entre los medidores que conforman el dispositivo.

25     Una vez instalados los tres medidores de caudal, partiendo de un conjunto de observaciones de las medidas de dichos tres medidores en serie, el algoritmo estadístico original que se detalla a continuación permite la estimación de la incertidumbre aleatoria y de la tolerancia de cada medidor:

30     - Se parte de un conjunto de N observaciones o muestras de las medidas de caudal:

Medidor 1:  $Q_{11}, Q_{12}, \dots, Q_{1k}, \dots, Q_{1N}$

35     Medidor 2:  $Q_{21}, Q_{22}, \dots, Q_{2k}, \dots, Q_{2N}$

Medidor 3:  $Q_{31}, Q_{32}, \dots, Q_{3k}, \dots, Q_{3N}$

40     donde k es la variable discreta de tiempo, y se calculan las varianzas de las diferencias entre medidas de cada dos medidores según:

$$45 \quad Sd_{12}^2 = \left( \sum_{k=1}^N [(Q_{1k} - Q_{2k}) - \mu dQ_{12}]^2 \right) / (N - 1)$$

$$Sd_{23}^2 = \left( \sum_{k=1}^N [(Q_{2k} - Q_{3k}) - \mu dQ_{23}]^2 \right) / (N - 1)$$

$$50 \quad Sd_{13}^2 = \left( \sum_{k=1}^N [(Q_{1k} - Q_{3k}) - \mu dQ_{13}]^2 \right) / (N - 1)$$

55     con:

$$60 \quad \mu dQ_{12} = \left( \sum_{k=1}^N [(Q_{1k} - Q_{2k})] \right) / N$$

$$\mu dQ_{23} = \left( \sum_{k=1}^N [(Q_{2k} - Q_{3k})] \right) / N$$

$$65 \quad \mu dQ_{13} = \left( \sum_{k=1}^N [(Q_{1k} - Q_{3k})] \right) / N$$

## ES 2 233 111 B1

Después, considerando que los errores de medida obedecen a una distribución normal, se realiza una estimación, con máxima probabilidad, de la desviación estándar de los medidores según:

$$\begin{aligned} S_{Q1} &= [0.5(Sd_{12}^2 + Sd_{13}^2 - Sd_{23}^2)]^{1/2} \\ S_{Q2} &= [0.5(Sd_{12}^2 + Sd_{23}^2 - Sd_{13}^2)]^{1/2} \\ S_{Q3} &= [0.5(Sd_{13}^2 + Sd_{23}^2 - Sd_{12}^2)]^{1/2} \end{aligned} \quad (\text{Ec. 1})$$

donde:

$S_{Q1}$  es la estimación de la desviación estándar del medidor 1.

$S_{Q2}$  es la estimación de la desviación estándar del medidor 2.

$S_{Q3}$  es la estimación de la desviación estándar del medidor 3.

Por último, siguiendo las recomendaciones de ISO/TC-30, se calcula la tolerancia o incertidumbre aleatoria de cada medidor como el doble de su correspondiente desviación estándar previamente calculada mediante la Ecuación 1.

En el caso en el que la tubería tenga ramificaciones, se puede aplicar el método descrito siempre que todas las derivaciones de la tubería principal tengan instalado un medidor de caudal. A modo de ejemplo, analizaremos esta situación que se presenta tal y como se muestra en la Figura 2.

Este caso, con P derivaciones, es equivalente a una instalación con tres medidores de caudal en serie:

$$Q_1 \quad Q_2 \quad Q_3 = Q_{31} + \dots + Q_{3P}$$

y por tanto realizando una serie de observaciones de las medidas ( $Q_{1k}$ ,  $Q_{2k}$ ,  $Q_{3k}$ ) se puede utilizar el proceso de estimación detallado anteriormente y calcular las tolerancias de los medidores  $Q_1$  y  $Q_2$ .

El siguiente paso es la estimación de la tolerancia de los medidores  $Q_{31}$ , ...,  $Q_{3P}$ . Para ello realizamos la descomposición de la red ramificada en P subredes, tal como se indica en la Figura 3, donde  $m_{3j}$  son unos coeficiente de reparto que hemos introducido para cada caudal en derivación  $Q_{3j}$ , y que calculamos, a partir de las observaciones de las medidas, según:

$$m_{3j} = 2 \times \sum_{k=1}^N Q_{3jk} / \sum_{k=1}^N (Q_{1k} + Q_{2k}) \quad \text{Ec.(2)}$$

Una vez calculados estos coeficientes de reparto, cada subred antes citada es equivalente a una instalación con tres medidores de caudal en serie y por tanto se puede aplicar el proceso de estimación detallado anteriormente, a partir de una serie de observaciones de las medidas ( $m_{3j} \times Q_{1k}$ ,  $m_{3j} \times Q_{2k}$ ,  $Q_{3jk}$ ), y calcular así la tolerancia de cada medidor  $Q_{3j}$ .

Esta estimación de la tolerancia de los medidores  $Q_{3j}$  tiene una buena precisión, aunque no es tan exacta como en el caso de estimación directa de  $Q_1$  y  $Q_2$  (realizada directamente a partir del método de los tres medidores en serie), ya que el cálculo de los coeficientes de reparto ( $m_{3j}$ ) conlleva una cierta aproximación.

La estimación de tolerancias de medidores de caudal instalados en tuberías ramificadas tal como se ha detallado anteriormente abre la posibilidad de la aplicación sucesiva a otros medidores instalados en tuberías, ramificadas o no, conectados a los tramos anteriormente considerados, consiguiéndose así la estimación de la tolerancia de todos los medidores de caudal de la planta industrial. Esta observación es muy interesante ya que nos va a permitir calcular la tolerancia de medidores de caudal en lugares donde es muy difícil disponer de tres medidores conectados en serie.

Así, a título ilustrativo, consideremos una red ramificada tal como la de la Figura 4.

En primer lugar, deberá verificarse que todas las derivaciones de la tubería principal tengan instalado un medidor de caudal. En caso negativo, deberá modificarse la instalación hasta cumplir con la anterior condición.

En segundo lugar se procederá a descomponer la red en subredes y se calculan las tolerancias de los medidores  $Q_1$ ,  $Q_2$  y  $Q_{3j}$  tal como se ha realizado anteriormente.

A continuación se procede a descomponer la red en las sucesivas subredes, tal como la descrita en la Figura 5.

## ES 2 233 111 B1

Ahora, de nuevo, se calculan los coeficientes de reparto y las tolerancias de los medidores  $Q_{3II}$  según el mismo procedimiento ya descrito. Y así sucesivamente hasta completar toda la planta industrial.

5 Esta invención constituye una solución innovadora a un problema existente: estimación de las tolerancias de medida de los medidores de caudal de una planta industrial.

10 Una de las principales ventajas de esta invención radica en la simplicidad de instalación, ya que para obtener el dispositivo sólo se precisa añadir algún medidor de caudal, sin importar el tipo ni la clase del medidor y sin requerir ningún otro equipamiento ni modificación costosa en las instalaciones industriales ya existentes.

15 Por otro lado, la puesta en marcha del método supone un mínimo coste de explotación ya que no requiere desmontaje de los medidores, ni calibraciones periódicas, ni otras posibles costosas actuaciones, simplemente, el proceso de estimación de las tolerancias se basa en la aplicación de un método analítico original a la observación de las propias medidas de los medidores implicados.

20 La estimación de las tolerancias de los medidores de caudal usando el dispositivo y el procedimiento expuestos se realiza con gran exactitud, ya que dicha estimación se basa en un criterio de máxima probabilidad y sin sesgo, en sus propias condiciones de explotación.

25 Además, la invención también puede utilizarse como base eficaz para el mantenimiento de los propios medidores. El proceso de estimación, dado su simplicidad y bajo coste, puede repetirse fácilmente (implantación on-line) permitiendo así el seguimiento de la evolución de las tolerancias de medida de los medidores de caudal de una planta industrial. Dicho seguimiento puede utilizarse como base para el mantenimiento preventivo de los propios medidores.

30

35

40

45

50

55

60

65

# ES 2 233 111 B1

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de estimación de la tolerancia de medida de un sistema de tres caudalímetros situados en tuberías de canalización dispuestos en serie **caracterizado** porque comprende las etapas de:

- toma de N observaciones o muestras de las medidas de caudal que pasa por cada uno de los caudalímetros:

$$\text{Caudalímetro 1: } Q_{11}, Q_{12}, \dots, Q_{1k}, \dots, Q_{1N}$$

$$\text{Caudalímetro 2: } Q_{21}, Q_{22}, \dots, Q_{2k}, \dots, Q_{2N}$$

$$\text{Caudalímetro 3: } Q_{31}, Q_{32}, \dots, Q_{3k}, \dots, Q_{3N}$$

donde k es la variable discreta de tiempo;

- cálculo de las varianzas de las diferencias de medidas de cada dos caudalímetros según:

$$Sd_{12}^2 = \left( \sum_{k=1}^N [(Q_{1k} - Q_{2k}) - \mu dQ_{12}]^2 \right) / (N - 1)$$

$$Sd_{23}^2 = \left( \sum_{k=1}^N [(Q_{2k} - Q_{3k}) - \mu dQ_{23}]^2 \right) / (N - 1)$$

$$Sd_{13}^2 = \left( \sum_{k=1}^N [(Q_{1k} - Q_{3k}) - \mu dQ_{13}]^2 \right) / (N - 1)$$

con:

$$\mu dQ_{12} = \left( \sum_{k=1}^N [(Q_{1k} - Q_{2k})] \right) / N$$

$$\mu dQ_{23} = \left( \sum_{k=1}^N [(Q_{2k} - Q_{3k})] \right) / N$$

$$\mu dQ_{13} = \left( \sum_{k=1}^N [(Q_{1k} - Q_{3k})] \right) / N$$

- cálculo de la desviación estándar  $S_{Q_j}$  (j= 1 a 3) de cada caudalímetro obtenido según la ecuación:

$$S_{Q_1} = [0.5(Sd_{12}^2 + Sd_{13}^2 - Sd_{23}^2)]^{1/2}$$

$$S_{Q_2} = [0.5(Sd_{12}^2 + Sd_{23}^2 - Sd_{13}^2)]^{1/2}$$

$$S_{Q_3} = [0.5(Sd_{13}^2 + Sd_{23}^2 - Sd_{12}^2)]^{1/2}$$

- cálculo de la estimación de la tolerancia de cada caudalímetro como el doble de su correspondiente desviación estándar.

2. Procedimiento según reivindicación 1, **caracterizado** porque al menos uno de los conjuntos tubería-caudalímetro ( $Q_3$ ) es un caudalímetro idealizado equivalente a un sistema de P derivaciones en paralelo de conjunto tubería-caudalímetro, donde  $Q_3$  es igual a la suma de caudales parciales y cada derivación se idealiza mediante un sistema de tres caudalímetros ( $Q_1^*$ ,  $Q_2^*$  y  $Q_3^*$ ) donde

$$Q_1^* = m_{3j} Q_1$$

$$Q_2^* = m_{3j} Q_1$$

$$Q_3^* = Q_{3j}$$

## ES 2 233 111 B1

donde  $j = 1$  a  $P$  y  $m_{3j}$  es un coeficiente de reparto según la ecuación

$$m_{3j} = 2 \times \sum_{k=1}^N Q_{3j} / \sum_{k=1}^N (Q_{1k} + Q_{2k})$$

donde  $j = 1$  a  $P$  y  $N$  es el número de muestras de las medidas de caudal que pasa por cada uno de los caudalímetros.

3. Procedimiento según reivindicación 1 ó 2, **caracterizado** porque el sistema de tres caudalímetros se ha obtenido mediante la agrupación de caudalímetros de un sistema general de  $N$  caudalímetros o por adición de caudalímetros externos cuando  $N$  sea menor que 3.

15

20

25

30

35

40

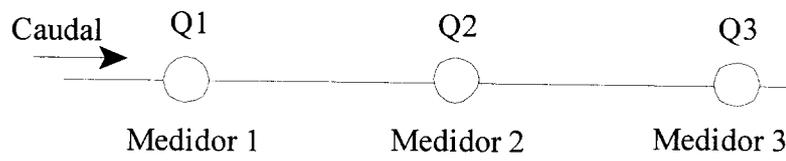
45

50

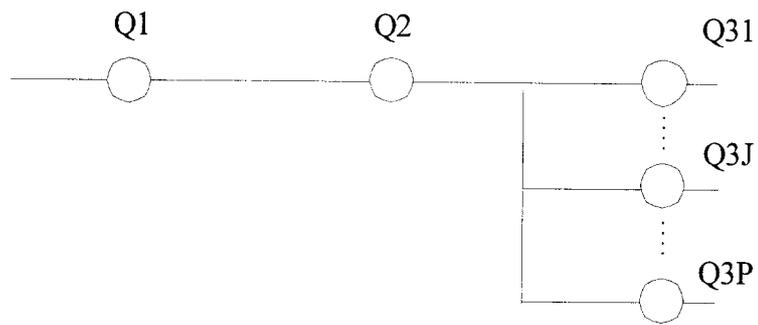
55

60

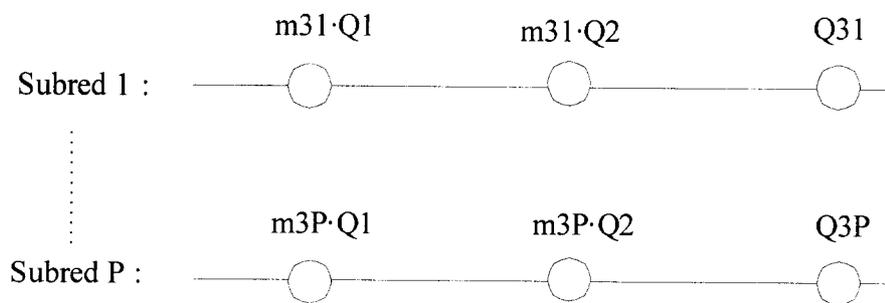
65



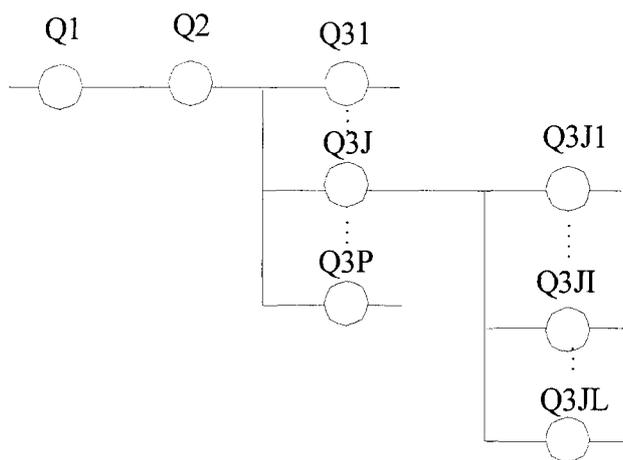
**Figura 1**



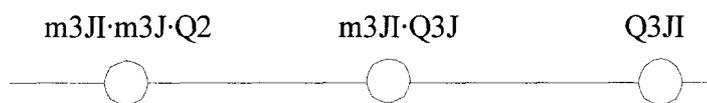
**Figura 2**



**Figura 3**



**Figura 4**



**Figura 5**



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① ES 2 233 111

② Nº de solicitud: 200101305

③ Fecha de presentación de la solicitud: 01.06.2001

④ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤ Int. Cl.7: G01F 25/00

DOCUMENTOS RELEVANTES

| Categoría | Documentos citados  | Reivindicaciones afectadas |
|-----------|---|----------------------------|
| A         | Sensors And Actuators B, Elsevier Sequoia S.A., Lausanne, CH, Vol. 36, Nº 1, páginas 522-527, "Calibration method of flow meters for a divided flow humidity generator" (TAKAHASHI et al.), octubre 1996. | 1-3                        |
| A         | Measurement, Institute Of Measurement And Control. London, GB, Vol. 20, Nº 02, páginas 97-101, "Standard uncertainty in each measurement result explicit or implicit"(GODEC), febrero 1997.               | 1                          |

**Categoría de los documentos citados**

X: de particular relevancia  
Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría  
A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita  
P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud  
E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

**El presente informe ha sido realizado**

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

|   |  |                       |
|---|--|-----------------------|
| <p><b>Fecha de realización del informe</b><br/>29.04.2005</p> | <p><b>Examinador</b><br/>J. Olalde Sánchez</p> | <p>Página<br/>1/1</p> |
|---|--|-----------------------|