

El desafío de la correcta instalación del caudalímetro teniendo en cuenta las perturbaciones de flujo



En el campo de los contadores térmicos y de agua es bien sabido que la precisión de la medición del caudal puede verse comprometida por otros elementos de la instalación como codos y finales de tuberías, bombas, válvulas, etc. ubicados cerca del caudalímetro.

Estos elementos de instalación influyen en la distribución de la velocidad de caudal en el interior de la tubería, principalmente aguas abajo, aunque también aguas arriba. En función de la tecnología de medición, esto puede influir en la precisión del caudalímetro. Sin embargo, las predicciones teóricas sobre cómo estos elementos perturban realmente el flujo son a menudo imprecisas o, simplemente, no existen para todos los casos posibles. El conocimiento sistemático sobre cómo todas las distribuciones diferentes de la velocidad de caudal afectarán a la precisión de medición del caudalímetro es aún más raro. Por lo general, la influencia de las perturbaciones de flujo en la precisión de un caudalímetro solo se comprueba para un número limitado de elementos de instalación causantes de perturbaciones de flujo o para perturbadores de flujo estandarizados.

Esta guía está dirigida, por tanto, a todas aquellas personas que deseen obtener más información sobre los siguientes temas:

- ¿Qué son las perturbaciones de flujo?
- ¿Cómo garantiza Kamstrup con su diseño la precisión de medición de sus caudalímetros respecto a las perturbaciones de flujo?
- ¿Cómo prueba Kamstrup sus caudalímetros en lo relativo a las perturbaciones de flujo?
- ¿Qué experiencias tiene Kamstrup relativas a la precisión de sus caudalímetros y las perturbaciones de flujo más allá de las recomendaciones generales incluidas en la documentación técnica de Kamstrup?

Definición de perturbaciones de flujo

El flujo de agua a través de un sistema de tuberías cuantificado por un caudal medio indicado, p. ej., en l/h o m³/h, no nos dice nada sobre la falta de homogeneidad real de la distribución de la velocidad de caudal en la tubería. Conforme a la norma EN 1434, las distribuciones teóricas de la velocidad de caudal son la distribución HAGEN-POISEUILLE para flujo laminar y GERSTEN&HERWIG/SCHLICHTING para flujo turbulento. Por consiguiente, el flujo está caracterizado por perfiles y es, por tanto, un fenómeno tridimensional. Como ejemplo, la velocidad de caudal a lo largo del centro de la tubería, tanto en flujo laminar como turbulento, será máxima, mientras que la velocidad de caudal en las paredes de la tubería será de cero. Los perfiles de referencia mencionados para el denominado flujo plenamente desarrollado se encuentran en tuberías largas y rectas con una distribución homogénea de la temperatura. Cualquier desviación respecto a estas condiciones generará perfiles de flujo distorsionados.

[1] A modo de ejemplo, se muestra que el flujo arremolinado aguas abajo del generador de remolinos simétricos conforme a EN 1434:2015 necesitará aprox. 100 x DN para obtener nuevamente una distribución homogénea. Los perfiles de flujo pueden caracte-

rizarse por valores como asimetría de perfil y factor de turbulencia, así como por un ángulo de remolino [2] que puede determinarse también de forma empírica, p. ej., con métodos ópticos por láser. Cualquier desviación respecto a los valores característicos del flujo plenamente desarrollado puede considerarse una perturbación de flujo. El remolino y la asimetría pueden considerarse los 2 tipos principales de perturbaciones del flujo.

Kamstrup analiza los perfiles de flujo y su efecto en la precisión de medición tanto numérica como empíricamente. La figura 1 inferior muestra un ejemplo de mediciones internas de velocidad realizadas a diferentes distancias 10 x DN, 50 x DN y 100 x DN aguas abajo de un codo doble fuera de plano. El flujo a lo largo del eje de la tubería se presenta en la primera fila (flujo primario), mientras que el flujo en plano se presenta en la segunda fila (flujo secundario). Las flechas señalan la estructura del flujo secundario.

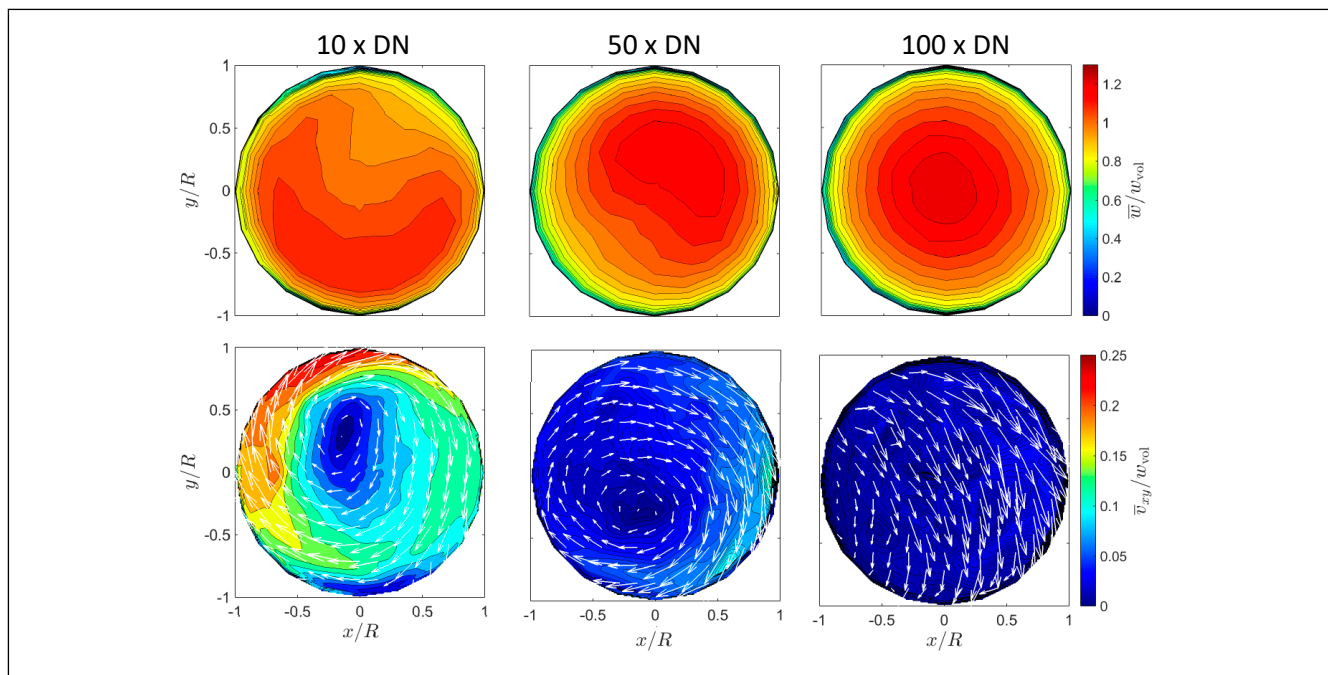


Figura 1. Perfiles de velocidad media de velocidades de fluido axial [primera fila] y en plano [segunda fila] medidas con velocimetría por láser doppler (LDV) en Kamstrup, en planos a diferentes distancias (indicado como función del diámetro de tubo DN en la parte superior de cada par de figuras) aguas abajo de un codo doble fuera de plano. El color representa los valores de la magnitud de velocidad como función de la velocidad axial media. Las flechas blancas [solo mediciones en plano] muestran la estructura del flujo.

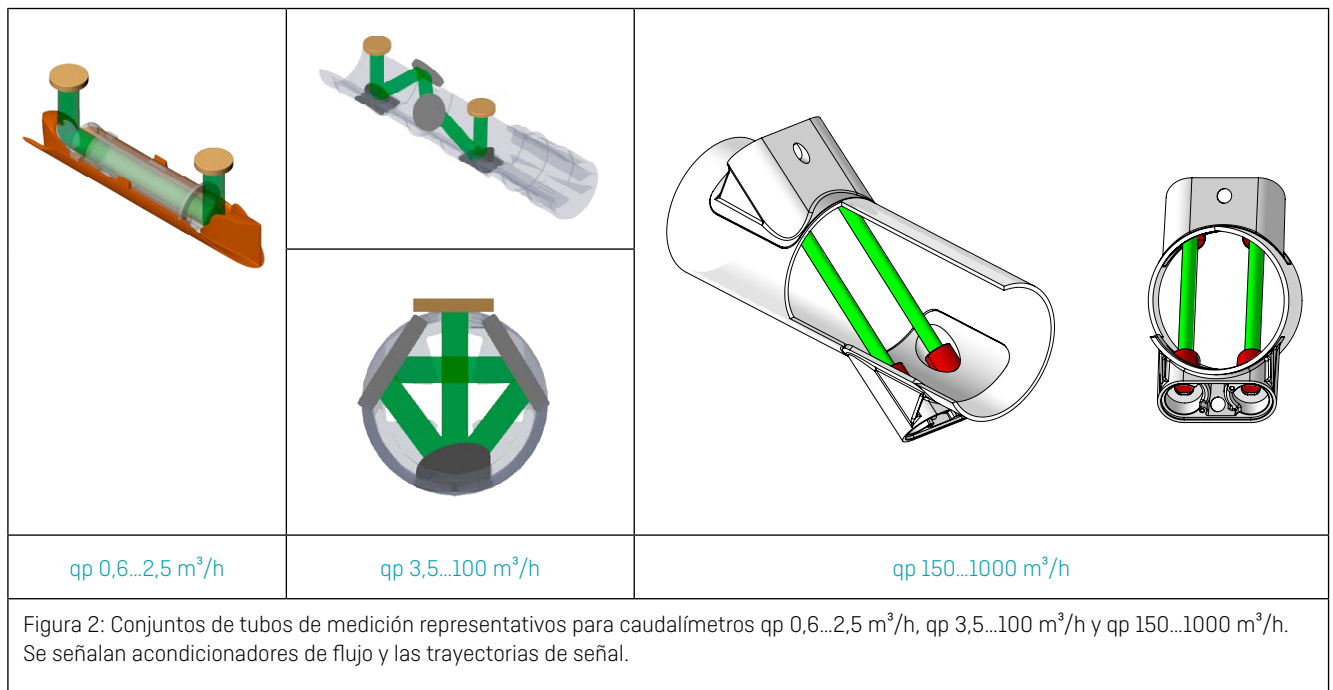
[1] Th. Eichler, Th. Lederer; Flow Measurement and Instrumentation 42, 2015, 89-97 (Medición de flujo e instrumentos; en inglés)

[2] Guidelines for the Fluid Mechanical Validation of Calibration Test-Benches in the Framework of EN 1434 (Guías para la validación mecánica de fluidos de bancos de ensayo de calibración en el marco de la norma EN 1434; en inglés) (marzo de 2007). Task force Laseroptical FLOW DIAGNOSTICS PTB-ME-TAS-BEV-OPTOLUTION-ILA

Diseño de los caudalímetros Kamstrup en lo relativo a las perturbaciones de flujo

Los caudalímetros de ultrasonidos de Kamstrup se basan en el método de tiempo de tránsito, esto es, medimos la diferencia del tiempo de tránsito de una señal ultrasónica con y contra el flujo para determinar una velocidad de caudal promedio que, integrada en el tiempo, da el volumen que pasa a través del caudalímetro en un tiempo dado. La diferencia de tiempo de tránsito detectada es el resultado de la superposición de la onda ultrasónica y la velocidad de caudal a lo largo de toda la trayectoria ultrasónica. En función de la trayectoria ultrasónica elegida, conforme al diseño correspondiente del caudalímetro, las diferentes distribuciones de la velocidad de caudal en la sección de medición pueden llevar, teóricamente, a diferentes resultados del tiempo de tránsito y, en consecuencia, del volumen medido. Aún así, para garantizar la precisión de sus caudalímetros, Kamstrup emplea diferentes principios de diseño. Los acondicionadores de flujo, p. ej., se utilizan para proporcionar perfiles de flujo suficientemente reproducibles en la sección de medición a un flujo promedio dado. Además, la trayectoria ultrasónica cubre la mayor parte posible del perfil de flujo en la sección de medición con un número determinado de transductores.

La figura 2 muestra ejemplos ilustrativos de conjuntos de tubos de medición para caudalímetros Kamstrup qp 0,6...2,5 m³/h, qp 3,5...100 m³/h y qp 150...1000 m³/h. Los caudalímetros qp 0,6...100 m³/h incluyen acondicionadores de flujo, y las tuberías de medición presentan una forma cónica. Para los caudalímetros qp 0,6...2,5 m³/h, se ha demostrado que una sola trayectoria ultrasónica es suficiente para la precisión requerida. Para los caudalímetros más grandes con qp 3,5...100 m³/h, la señal ultrasónica triangula por varios reflectores para cubrir prácticamente toda la distribución tridimensional de la velocidad del flujo. Los caudalímetros grandes de Kamstrup con qp 150...1000 m³/h utilizan 4 transductores, de modo que cuentan con dos trayectorias ultrasónicas separadas. Ambos pares de transductores de ultrasonidos están ubicados en el flujo para proporcionar trayectorias diagonales a través de la sección de medición. Los resultados de las mediciones de los dos pares de transductores se tienen en cuenta a la hora de realizar el cálculo del flujo final.



Testado de los caudalímetros Kamstrup en lo relativo a las perturbaciones de flujo

Ensayo de tipo – perturbaciones de flujo aguas arriba (por codo doble fuera de plano)

Los caudalímetros Kamstrup para contadores de calefacción y refrigeración se someten a ensayos de tipo conforme a las normas EN 1434:2015 y EN 1434:2022 en lo relativo a las perturbaciones de flujo. Tomando este ensayo como base, "los caudalímetros Kamstrup no precisan (están cualificados para ello) de una toma recta de entrada ni de salida para cumplir con la Directiva sobre instrumentos de medida (MID) 2014/32/UE, la norma OIML R75:2002 y la norma EN 1434:2015" según se indica en la documentación técnica de Kamstrup. Los ensayos de tipo pretenden simular una instalación situada directamente detrás de un codo doble fuera de dos planos. No obstante, el ensayo conforme a la norma EN 1434:2022 emplea un generador de remolinos asimétricos (ASG) que parece simular el flujo aguas abajo de un codo doble real incluso mejor que el generador de remolinos simétricos. Por lo general, el ASG expone el caudalímetro a una combinación de flujo arremolinado y asimétrico. Se

prueban las diferentes orientaciones relativas y un flujo adicional. En este sentido, se puede considerar que el nuevo ensayo es incluso más riguroso. Kamstrup puede suministrar caudalímetros desde qp 0,6 hasta 1000 m³/h que ya han superado este nuevo ensayo.

"El motivo por el cual el grupo de trabajo CEN/TC176/WG2 tras la EN1434 ha incluido un ensayo de perturbación de flujo en el ensayo de tipo de los caudalímetros para contadores de calefacción reside en el hecho de que los codos de tuberías situados antes del contador son los únicos obstáculos que no pueden evitarse en la vida real. La mayor parte del resto de obstáculos ubicados directamente antes del contador pueden evitarse (moviendo los obstáculos de la posición delante del contador a una posición detrás del mismo), y las válvulas situadas antes del contador pueden sellarse en posición completamente abierta para impedir las perturbaciones de flujo graves que pueden provocarse por válvulas parcialmente abiertas. [3]"

Ensayo de tipo – perturbaciones de flujo aguas abajo (p. ej., mediante sondas de temperatura montadas)

A menudo, los caudalímetros Kamstrup con qp 0,6...10 m³/h permiten montar directamente una sonda de temperatura en la salida (conexión M10x1). Por consiguiente, pueden estar expuestos a perturbaciones de caudal, que pueden generarse aguas arriba de la sonda de temperatura montada. No obstante, los ensayos comparativos efectuados durante la homologación de tipo con y sin sonda de temperatura montada en la salida del caudalímetro no

han revelado diferencias significativas en el error del caudalímetro correspondiente. Ha de tenerse en cuenta que los elementos de instalación externos se montarán más alejados de la sección de medición, es decir, cerca del caudalímetro, pero no como parte del mismo. Esto muestra, en resumen, que las instalaciones montadas aguas abajo del caudalímetro tienen un efecto aún menor en la precisión de medición del caudalímetro.

Ensayo adicional (p. ej., codos dobles fuera de plano, codos sencillos, válvulas parcialmente abiertas, zonas mixtas)

Además de los ensayos de homologación de tipo (obligatorios), nuestros caudalímetros del grupo qp 0,6...2,5 m³/h se han sometido con éxito a ensayos exhaustivos realizados tanto por Kamstrup [4] como por un reputado laboratorio alemán especializado en análisis de flujo (MID-Cert) y en los que se han verificado diferentes tipos de perturbaciones de flujo. Los resultados se han publicado parcialmente en [4], y Kamstrup puede facilitar bajo pedido los resultados del ensayo de MID-Cert. En resumen, muestran que los errores detectados se encontraban siempre dentro del margen de error máximo permisible de la clase metrológica 2. Nuestros caudalímetros son, por tanto, bastante resistentes a numerosas perturbaciones

de flujo graves generadas por diferentes elementos de instalación montados aguas arriba de los caudalímetros como, p. ej., codos dobles fuera de plano, codos sencillos, válvulas parcialmente abiertas y zonas mixtas abastecidas por dos tuberías. Esto hace que estos caudalímetros resulten especialmente aptos para la instalación en subestaciones de calefacción/refrigeración de distrito compactas donde, a menudo, el espacio para secciones de tomas rectas largas de entrada o salida es limitado.

[3] Breve resumen de los debates del grupo de trabajo CEN/TC176/WG2 elaborado por el participante de Kamstrup en dicho grupo.

[4] EuroHeat&Power, versión en inglés, Vol. 15 III/2018

Experiencias con perturbaciones de flujo


Numerosos aspectos de la instalación de caudalímetros, incluidas las consideraciones relativas a las perturbaciones de flujo, están recogidos, p. ej., en la norma EN 1434-6 "Contadores de energía térmica. Parte 6: Instalación, puesta en servicio, control del funcionamiento y mantenimiento" y la CEN TR 13582, "Instalación de contadores de energía térmica. Instrucciones de selección, instalación y uso de contadores de energía térmica".

Debido a los derechos de propiedad intelectual, Kamstrup no puede proporcionar estos documentos directamente. Para adquirir la norma CEN TR 13582 (y otras normas EN), le rogamos consulte, por ejemplo, la tienda online de la organización de normalización danesa [aquí](#).

Como alternativa, [aquí](#) puede encontrar su organización de normalización nacional. La documentación técnica de Kamstrup, no obstante, cumple estas recomendaciones generales, y en ella pueden encontrarse guías para la instalación.

Según lo mencionado anteriormente sobre la caracterización del flujo en sí y el conocimiento sobre la interacción de perfiles de flujo específicos con diferentes acondicionadores de flujo y trayectorias de señal, las predicciones precisas y la categorización de las perturbaciones del flujo son un asunto complejo. Por lo tanto, las recomendaciones cuantitativas deben considerarse como una guía basada en muchos años de experiencia como, p. ej., la recomendación de que "una tubería de entrada recta de al menos 5 x DN y una tubería de salida de 2 x DN con las mismas dimensiones que el caudalímetro" reducirán "cualquier efecto en la desviación de la medición provocada por el perfil de flujo". [5].

Se aplican las siguientes reglas generales:

- En general, se recomiendan siempre tomas rectas largas de entrada y salida donde sea posible.
- Los elementos de instalación montados aguas abajo del caudalímetro pueden considerarse menos críticos en comparación con instalaciones montadas aguas arriba a la misma distancia del caudalímetro. En consecuencia, una toma recta de entrada debería ser, por lo general, más larga que una toma recta de salida.
- En particular, se pueden esperar "perturbaciones de caudal fuertes" después de un doble codo fuera del plano y en la proximidad de válvulas de regulación y bombas. Para las válvulas y bombas, en la tabla 1 de la siguiente página pueden encontrarse las recomendaciones de Kamstrup para sus caudalímetros. Para consultar recomendaciones de instalación generales, lea los apartados correspondientes de la documentación técnica de Kamstrup.
- La norma EN 1434 propone un paquete de acondicionador de caudal compuesto por un alisador de caudal de tipo NEL (Spearman) seguido de una sección de tubería recta de 5 x DN aguas arriba del caudalímetro y una sección de tubería recta de 3 x DN aguas abajo del caudalímetro. Este paquete ayudará a reducir las perturbaciones de caudal intensas y puede resultar útil en instalaciones donde el espacio para tuberías rectas largas es limitado.
-  En caso de utilizar nuestros caudalímetros para la supervisión de fugas y el control permanente del rendimiento (p. ej., para comparar los resultados de dos caudalímetros independientes en una línea común), los requisitos relativos a la toma recta de entrada son más rigurosos para limitar al máximo posible cualquier influencia procedente de perturbaciones de flujo en el resultado de los caudalímetros por separado. Para consultar requisitos específicos, véase la documentación técnica correspondiente.

[5] CEN TR 13582, 8.3.2 Tuberías de entrada y salida

El desafío de la correcta instalación del caudalímetro teniendo en cuenta las perturbaciones de flujo

Seguir las directrices generales estableciendo los tramos rectos recomendados de tuberías de entrada y salida, como se indica en la Tabla 1, optimizará el rendimiento metrológico del sensor de flujo en la instalación. Sin embargo, en casos específicos, por ejemplo, simulaciones de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) o pruebas experimentales podrían demostrar que tramos más cortos de tuberías rectas de entrada y salida también pueden ser suficientes para el rendimiento metrológico necesario.

	Caudalímetros DN15...80	Caudalímetros DN100...300
Distancia de tubería mín. desde codos dobles fuera de plano montados aguas arriba	0 x DN ¹⁾	0 x DN ¹⁾
Distancia de tubería mín. desde codos dobles fuera de plano montados aguas abajo	0 x DN	0 x DN
Distancia de tubería mín. desde válvula parcialmente abierta montadas aguas arriba	20 x DN	40 x DN
Distancia de tubería mín. desde válvula parcialmente abierta montadas aguas abajo	5 x DN ²⁾	5 x DN ²⁾
Distancia mínima de tubería desde el lado de presión de las bombas (bomba montada aguas arriba)		
sin depósito de compensación ³⁾	20 x DN	20 x DN
con depósito de compensación	10 x DN	10 x DN
Distancia de tubería mín. desde aspiración de bomba ⁴⁾ (bomba montada aguas abajo)	3 x DN	3 x DN
Distancia de tubería mín. después de "cualquier tipo de formación de ramales provocada por la combinación de dos circuitos de flujo con diferentes temperaturas del fluido" [6]	10 x DN	10 x DN
Distancia mín. entre 2 caudalímetros (medición de caudal inverso) ⁵⁾	0 x DN	0 x DN

Tabla 1: Directrices generales para tramos rectos de entrada y salida. Tramos rectos de entrada y salida más cortos también podrían ser suficientes, dependiendo del caso específico.

- 1) Conforme a EN 1434:2015 y EN 1434:2022. Si fuera posible, por lo general se recomienda una toma recta de entrada.
- 2) La distancia mínima a los obstáculos que perturban el flujo en la instalación depende de si el obstáculo se encuentra aguas arriba o aguas abajo del caudalímetro. La distancia mínima puede ser menor para una instalación aguas abajo que para una instalación aguas arriba.
- 3) Las bombas tienen el riesgo de generar pulsaciones de presión, las cuales pueden reducirse mediante depósitos de compensación adecuados.
- 4) Tenga en cuenta la presión estática mínima requerida (presión estática en la salida del caudalímetro).
- 5) Los caudalímetros Kamstrup no miden el caudal inverso. Sin embargo, con 2 caudalímetros, estando uno montado siempre en la dirección de flujo, es posible medir el caudal inverso. En los casos en que se monten 2 sensores de flujo en la dirección del flujo, donde uno se utiliza para control, las condiciones de entrada de los sensores de flujo deben ser, en general, lo más similares posible.

[6] CEN TR 13582, 8.3.3 Efecto en la precisión de medición de una mezcla insuficiente de temperatura

