

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 692 368**

51 Int. Cl.:

**G01P 5/18** (2006.01)

**G01P 5/22** (2006.01)

**G01P 5/00** (2006.01)

**G01F 1/712** (2006.01)

**G01F 23/00** (2006.01)

**G01C 13/00** (2006.01)

**G01F 1/00** (2006.01)

**G06T 7/20** (2007.01)

**G01F 1/708** (2006.01)

**G06T 7/254** (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.11.2014 E 14192230 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.08.2018 EP 3018483**

54 Título: **Método y sistema para determinar la velocidad y nivel de una superficie de fluido en movimiento**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**03.12.2018**

73 Titular/es:

**PHOTRACK AG (100.0%)  
Am Wasser 148  
8049 Zürich, CH**

72 Inventor/es:

**LÜTHI, BEAT;  
PHILIPPE, THOMAS y  
PEÑA-HARO, SALVADOR**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 692 368 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Método y sistema para determinar la velocidad y nivel de una superficie de fluido en movimiento

La presente invención se refiere a un método y un sistema para determinar la velocidad de una superficie de fluido en movimiento por medio de al menos una cámara.

5 Medir la velocidad de un flujo es necesario en muchas aplicaciones, por ejemplo, cuando se determina el flujo en un canal abierto. Dichas mediciones son importantes, por ejemplo, en el ámbito del riego, el suministro de agua potable, la producción de energía hidroeléctrica, el control de inundaciones, el control de embalses, los sistemas de alcantarillado, la preservación de ecosistemas, etc. Los flujos de corriente pueden ocurrir en muchos tipos diferentes de estructuras, cursos naturales, canales artificiales, surcos, etc. Todos ellos son flujos de canal abierto, es decir, flujos que tienen una superficie libre.

Hay muchos sistemas diferentes disponibles para medir la velocidad. Los sistemas que se basan en imágenes poseen la ventaja de que no hay necesidad de instalaciones costosas y ofrecen más flexibilidad que otros sistemas de medición no intrusivos.

15 Una técnica establecida hace tiempo para las mediciones de velocidad es la técnica de la velocimetría de imágenes de partículas (PIV); véase, por ejemplo, R.J. Adrian, 1991, "Particle-imaging techniques for experimental fluid mechanics". Revisión anual de Mecánica de fluidos 23, 261-304. La PIV también es conocida desde el trabajo de Ichiro Fujita, Marian Muste y Anton Kruger (1998, "Large-scale particle image velocimetry for flow analysis in hydraulic engineering applications". Revista de investigación hidráulica 36 (3): 397-414) por ser aplicada a flujos de superficie libre a gran escala de toboganes de agua o canales abiertos. Este matiz de la PIV se conoce por la comunidad de investigación e ingeniería hidráulica como PIV de gran escala (LSPIV), véase, por ejemplo,

- Muste, M., I. Fujita, y A. Hauet. 2008. "Large-Scale Particle Image Velocimetry for Measurements in Riverine Environments". Investigación de recursos hídricos 44 (4), y

- Muste, M., H.-C. Ho y D. Kim. 2011. "Considerations on Direct Stream Flow Measurements Using Video Imagery: Outlook and Research Needs". Revista de investigación del entorno hidráulico 5 (4): 289-300.

25 Los ejemplos recientes de LSPIV que se aplican a los flujos de los ríos se describen, por ejemplo, en

- la solicitud de patente WO 2014/013064 A1,

- Kim, Y., M. Muste, A. Hauet, W. F. Krajewski, A. Kruger, y A. Bradley. 2008. "Stream Discharge Using Mobile Large-Scale Particle Image Velocimetry: A Proof of Concept". Investigación de Recursos Hídricos 44 (9),

30 - Dramais, Guillaume, Jérôme Le Coz, Benoît Camenen y Alexandre Hauet. 2011. "Advantages of a Mobile LSPIV Method for Measuring Flood Discharges and Improving Stage-discharge Curves". Revista de investigación del entorno hidráulico 5 (4): 301-12, y

- Tsubaki, Ryota, Ichiro Fujita y Shiho Tsutsumi. 2011. "Measurement of the Flood Discharge of a Small-Sized River Using an Existing Digital Video Recording System". Revista de investigación del entorno hidráulico 5 (4): 313-21.

35 - Creutin, J. D., M. Muste, A. A. Bradley, S. C. Kim, y A. Kruger. 2003. "River gauging using PIV techniques: a proof of concept experiment on the Iowa River". Revista de hidrología 277: 182-194, y

- Le Coz, J., A. Hauet, G. Pierrefeu, G. Dramais y B. Camenen. 2010. "Performance of image-based velocimetry (LSPIV) applied to flash-flood discharge measurements in Mediterranean rivers". Revista de hidrología 394: 42-52.

40 Todos estos métodos de PIV mencionados tienen en común que requieren tener un marcador de flujo de algún tipo que se pueda detectar bien. Sin embargo, el uso de marcadores naturales o artificiales posee algunas complicaciones para medir de forma práctica la velocidad, ya que los marcadores generalmente no están presentes y/o no se pueden agregar de forma permanente y continua.

45 En el método descrito en el documento WO 2014/013064 A1, la velocidad de los marcadores se determina restando dos imágenes para obtener una imagen compuesta y estableciendo un umbral para suprimir las zonas sin movimiento. Esto tiene el efecto de que la información de los patrones de movimiento de la superficie del fluido se suprime igualmente. Además, dado que el desplazamiento de los marcadores se determina dentro de la misma imagen compuesta, su dirección de movimiento es indefinida.

50 La profundidad del agua también se puede estimar utilizando imágenes. En el documento WO 2014/013064 A1, se propone analizar la colorimetría de los píxeles para determinar el nivel de agua. Sin embargo, utilizar la colorimetría de los píxeles puede tener algunas dificultades para analizar imágenes con condiciones pobres de luz. El método descrito en el documento WO 2014/013064 A1 también necesita que al menos un objeto de referencia visual esté parcialmente sumergido en el agua, lo que limita los lugares donde se puede instalar el sistema. Además, para la calibración de las cámaras se necesitan al menos 6 puntos de referencia que se deben

georreferenciar, con los cuales se obtienen los parámetros externos (es decir, la posición y la orientación y al menos la distancia focal del parámetro interno).

5 La solicitud de patente WO 01/51897 A1 describe un método para determinar el flujo volumétrico a lo largo de un canal abierto o a lo largo de un canal cerrado parcialmente lleno. Se analizan parejas de imágenes sucesivas utilizando una operación de correlación cruzada.

La patente US 6 098 029 se refiere a un método de medición de la altura de una superficie líquida utilizando placas.

La solicitud de patente JP 2001 041803 A se refiere a un método para medir el nivel de líquido mediante detección de bordes en las imágenes adquiridas.

10 La solicitud de patente JP 2007 223879 A se refiere a un método para medir el nivel de fusión de una superficie líquida fundida.

La solicitud de patente WO 2008/110909 A2 describe un método para medir las descargas de flujo máximo por medio de sensores de radar.

15 La solicitud de patente US 2006/0126933 A1 se refiere a una detección de primer plano utilizando imágenes intrínsecas. No se proporciona aplicación en el campo de la determinación de la velocidad de una superficie de fluido en movimiento.

Un objetivo de la presente invención es proporcionar un método y un sistema que permitan determinar de una manera fiable la velocidad de una superficie de fluido en movimiento sin necesidad de añadir marcadores de flujo.

20 Este objetivo se logra mediante el método y el sistema según se definen en las reivindicaciones 1 y 13, respectivamente. Las reivindicaciones adicionales especifican formas de realización preferidas del dispositivo y el sistema de acuerdo con la invención, así como un programa informático y un medio de datos.

La invención se explica a continuación por medio de formas de realización de ejemplo con referencia a las figuras. En los dibujos:

La Fig. 1 es un diagrama de flujo de las etapas de un método de acuerdo con una forma de realización de la invención;

25 La Fig. 2 muestra una vista esquemática de una primera forma de realización de un sistema para realizar el método ilustrado en la Fig. 1;

La Fig. 3 muestra una vista esquemática de una segunda forma de realización de un sistema para realizar el método ilustrado en la Fig. 1;

30 La Fig. 4 muestra una vista esquemática de una tercera forma de realización de un sistema para realizar el método ilustrado en la Fig. 1;

La Fig. 5 muestra una vista esquemática de la relación entre las coordenadas mundiales y de la cámara;

La Fig. 6 muestra una vista esquemática de una forma de realización para calibrar una cámara;

La Fig. 7 muestra una vista esquemática de otra forma de realización para calibrar una cámara;

35 La Fig. 8 es un diagrama de flujo de las subetapas de la etapa 500 del método de la Fig. 1, en donde en las imágenes adquiridas, las partes "húmedas" y "secas" de la escena se distinguen entre sí;

La Fig. 9 es un diagrama de flujo de las subetapas de la etapa 600 del método de la Fig. 1, en donde el nivel de agua se determina en base a las imágenes adquiridas;

La Fig. 10 es una ilustración esquemática del método para determinar el nivel de agua para la forma de realización de la Fig. 3;

40 La Fig. 11 es un diagrama de flujo de las subetapas de la etapa 700 del método de la Fig. 1, en donde se determina la velocidad del flujo de la superficie;

La Fig. 12 es un diagrama de flujo de las subetapas de la etapa 800 del método de la Fig. 1, en donde se determina la descarga, y

45 Las Fig. 13a-13c se refieren a un ejemplo de tres imágenes, que se procesan de acuerdo con la etapa 700 del método de la Fig. 1.

Las siguientes formas de realización descritas se refieren a un método y un sistema para obtener el campo de velocidad de la superficie y, si es necesario, el nivel de fluido en un canal abierto por medio de una o más cámaras

digitales. Las cantidades medidas se pueden combinar con un conocimiento a priori sobre la geometría del canal para determinar, por ejemplo, la descarga u otras cantidades. Las formas de realización se describen con respecto al agua que fluye, pero también son aplicables a otros fluidos que fluyan.

5 Un canal abierto es un conducto con una superficie libre, es decir, el fluido que fluye en el canal tiene una superficie libre (por ejemplo, un río, una corriente, un canal artificial, un surco, etc.). El flujo de la corriente o descarga,  $Q$ , se define como la velocidad volumétrica del flujo del fluido en el canal y se determina, por ejemplo, en unidades de metro cúbico por segundo. Un conocimiento a priori sobre la geometría del canal puede incluir, por ejemplo, información sobre el perfil en la dirección del canal. La información puede ser, por ejemplo, la altura  $H$  sobre la superficie que define el canal en función de  $y$ , donde  $y$  es la distancia en la dirección transversal del canal, véase la Fig. 2. En un caso simple, donde se puede considerar que el canal tiene un perfil rectangular, la información sobre la distancia entre las paredes laterales que limitan el canal y su profundidad puede ser suficiente. De manera similar, un canal que tenga un perfil parabólico o trapezoidal se puede parametrizar con solo unos pocos, por ejemplo, dos, parámetros.

10 El método para determinar la velocidad y, si es necesario, el flujo de la corriente en un canal abierto comprende las siguientes etapas, véase la Fig. 1:

- Etapa 200: Configuración del hardware, en particular la instalación de al menos una cámara. La cámara puede ser cualquier dispositivo de toma de imágenes que sea adecuado para proporcionar una secuencia de imágenes digitales. Aparte de las cámaras digitales habituales, es posible utilizar teléfonos móviles, tales como los teléfonos móviles inteligentes o las cámaras web.
- 20 - Etapa 300: Calibración de la(s) cámara(s).
- Etapa 400: Adquisición de imágenes.
- Etapa 500: Procesamiento de las imágenes adquiridas para distinguir entre las partes "húmedas" y "secas" de la escena.
- Etapa 600: Determinación del nivel de agua en función de las imágenes adquiridas.
- 25 - Etapa 700: Procesamiento de imágenes para determinar la velocidad del flujo de la superficie.
- Etapa 800: Cálculo del flujo de la corriente.

A continuación, se explican las etapas 200 a 800 con más detalle en relación a tres configuraciones de cámaras C1, C2, C3:

- Configuración de cámaras C1: utilización de una sola cámara 203, que es fija, véase la Fig. 2,
- 30 - Configuración de cámaras C2: utilización de dos cámaras 203 y 203a, que son fijas y se disponen para una medición estéreo, véase la Fig. 3.
- Configuración de cámaras C3: utilización de un dispositivo móvil 203b, por ejemplo, un teléfono móvil, sostenido por un usuario, véase la Fig. 4.

### **Etapas 200: Configuración general**

35 La Fig. 2 muestra esquemáticamente un canal abierto, que está definido por la superficie límite 201. El agua que fluye en el canal define una línea de agua 202a, que se determina por la intersección de la superficie de agua 202 con la superficie límite 201 del canal. Como el canal está abierto, la superficie del agua 202 también se indica como una superficie libre. Las flechas 202b ilustran la velocidad de la superficie del agua 202 en diferentes ubicaciones.

40 En la configuración de cámaras C1, una cámara 203 se instala en un lugar, donde puede ver una sección de la superficie del agua 202, que se está moviendo, y una sección que no se está moviendo, tal como una pared 201a que es una parte de la superficie límite 201 sobre la línea de agua 200a u otro objeto no móvil que esté en contacto con la superficie del agua 202. La cámara 203 no se necesita colocar sobre el canal abierto; se puede colocar en un lado del canal, lo que hace la instalación particularmente simple y barata.

45 Las imágenes adquiridas por la cámara 203 se pueden almacenar en una memoria 205, que puede ser, por ejemplo, una memoria interna de la cámara 203 o un disco duro externo. La unidad 204 en la Fig. 2 es un medio para transferir los datos a la memoria 205 y para alimentar la cámara 203. Si la memoria 205 es externa, la unidad 204 se puede conectar a la cámara 203 por medio de un cable, por ejemplo, un cable Ethernet y se puede configurar de tal manera que la energía eléctrica pase a través de este cable a la cámara 203, por ejemplo, en la forma de alimentación a través de Ethernet (PoE).

50 Para procesar las imágenes almacenadas, la memoria 205 se conecta a la unidad de procesamiento 206, que puede ser cualquier tipo de computadora que esté configurada para realizar los cálculos necesarios.

En la configuración C2 mostrada en la Fig. 3 dos cámaras 203 y 203b se disponen de manera que, por medio del procesamiento de imágenes estéreo, se pueda determinar el nivel de agua 202a sin hacer referencia a un objeto no móvil 201a. Por lo tanto, las dos cámaras 203, 203b se pueden disponer de manera que solo vean la superficie de agua en movimiento 202. Esta configuración hace que el sistema sea particularmente flexible.

- 5 Las cámaras 203 y 203b se pueden georreferenciar. Dependiendo de la anchura del canal, esto se logra con una configuración mecánica temporal para los marcadores con coordenadas mundiales conocidas. Para canales más grandes del orden de 100 m, donde la anchura puede vetar dicha configuración mecánica de este tipo, por ejemplo, se puede emplear un dron u otro vehículo aéreo, que se pueda visualizar con una cámara 203, 203b, y que pueda registrar su posición con un DGPS preciso (Sistema de posicionamiento global diferencial).
- 10 Las cámaras 203, 203b se configuran de tal manera que la velocidad se mida para el(los) campo(s) de visión disponibles. Puede o no cubrir toda la dirección transversal. En el último caso, se puede ajustar un perfil de velocidad transversal para todas las observaciones de velocidad disponibles. El orden de ajuste depende de la cobertura transversal y el ajuste obedece a las condiciones de límite no deslizante (es decir, velocidad cero) en las paredes laterales del canal.
- 15 Las dos cámaras 203 y 203a se conectan a la unidad 204a, que puede ser, por ejemplo, una caja de conexiones para transferir los datos a la memoria 205 conectada a la unidad de procesamiento 206 y para alimentar las cámaras 203 y 203a. Es posible que la memoria 205 y/o la unidad de procesamiento 206 sean partes integrantes de la cámara 203 y/o 203a.

20 En la configuración de cámaras C3 mostrada en la Fig. 4 un usuario sostiene una cámara móvil 203b, por ejemplo, un teléfono inteligente, de manera que una sección de la superficie del agua 202 y un objeto que no se mueva, por ejemplo, parte de la pared 201a, sean tomadas al mismo tiempo. Si se tiene que determinar la velocidad a lo largo del canal en toda la dirección transversal, la cámara 203b se dispone de manera que vea al menos un borde de la superficie 202.

25 Preferiblemente, la disposición de la cámara optimiza el intercambio entre la vista ortogonal a la pared del canal 201a y entre la vista ortogonal a la superficie del agua 202. El valor óptimo está cerca de los 45 grados de inclinación con respecto a la superficie del agua 200. Si es necesario, un perfil de velocidad transversal se ajusta a todas las observaciones de velocidad disponibles para obtener los datos de velocidad en toda la dirección transversal.

### Etapa 300: Calibración

30 Para determinar las cantidades deseadas (velocidad del flujo, descarga, etc.) se utiliza un modelo de cámara que describa la relación matemática entre las coordenadas de un punto en el espacio tridimensional ("espacio mundial") y su proyección sobre el plano de la imagen. Como ejemplo, la Fig. 5 muestra un punto P en el espacio 3D, que se define en el sistema de coordenadas 301 mediante coordenadas mundiales específicas (x, y, z) y P', que es el punto P tomado por una cámara en el plano de la imagen. La ubicación de P' en el plano de la imagen se puede dar mediante dos coordenadas cartesianas ("coordenadas de la imagen") 302 (i, j). El mapeo del sistema de coordenadas 301 en el sistema de coordenadas 302 se indica mediante la flecha 303.

Para ajustar un modelo de cámara a la vista de cámara, se calibra una cámara en la que se obtengan los parámetros externos, es decir, la posición y orientación de la cámara, y al menos un parámetro interno, tal como la distancia focal. A continuación, estos parámetros externos e internos se indican como "parámetros de calibración".

40 Una posibilidad habitual para determinar los parámetros de calibración es proporcionar al menos 4 puntos de referencia con coordenadas mundiales conocidas y evaluar los puntos tomados por la cámara. Para aplicaciones, donde la escala s del campo de visión sea grande, por ejemplo, s sea mucho más grande que 1 m, las coordenadas mundiales de los puntos de referencia se pueden determinar, por ejemplo, mediante DGPS (Sistema de posicionamiento global diferencial).

45 Como puntos de referencia, por ejemplo, se pueden utilizar marcadores fijos, que se colocan en ubicaciones definidas en el canal y que se configuran para ser tomados de una manera claramente distinguible del fondo. Para este fin, se pueden utilizar uno o más portadores que se dotan de puntos que tienen un color brillante, por ejemplo, blanco, y una forma circular o cualquier otra forma predeterminada.

A continuación, se explican varios ejemplos de métodos de calibración con respecto a las Fig. 2, 3, 4, 6 y 7:

50 a) Método de calibración utilizando 2 o más puntos de referencia:

Para una o más cámaras fijas, como en la configuración C1 y C2, se proporcionan al menos 4 puntos de referencia 382 con coordenadas mundiales conocidas, véanse las Fig. 2 y 3 y se toman con la(s) cámara(s). Un modelo de cámara adecuado, por ejemplo, se utiliza un modelo estenopeico para ajustar las coordenadas de los puntos de referencia en el espacio 3D a sus coordenadas en la imagen.

En el caso de que solo haya 4 puntos de referencia 382, se tiene que conocer a priori al menos uno de los siguientes parámetros: la distancia focal, la distancia vertical de la cámara con respecto a los puntos de referencia 382, la distancia horizontal de la cámara con respecto a los puntos de referencia 382.

- 5 En el modelo estenopeico, la apertura de la cámara se considera como un punto, en donde no se utilizan lentes para enfocar la luz. La distancia focal es la distancia entre el plano de la imagen y el orificio.

De manera similar, se pueden utilizar al menos 4 puntos de referencia 382 con coordenadas mundiales conocidas para calibrar una cámara móvil, véase la Fig. 4. Preferiblemente, los puntos de referencia 382 y la superficie libre 202 se toman al mismo tiempo. De esta manera, los parámetros de calibración están disponibles para las imágenes en función de que se tengan que determinar la velocidad, la línea de agua, etc.

Es posible que una información de la ubicación de la cámara esté disponible a priori. Por ejemplo, los dispositivos móviles, en particular los teléfonos inteligentes, pueden tener un sensor implementado, por ejemplo, un acelerómetro, que permite una medición directa de la orientación de la cámara 203b en relación con el vector de gravedad 322. En la Fig. 6 se representan tres ejes perpendiculares 321 que definen el marco de referencia 321 de la cámara 203b. Su orientación se define por los ángulos 321a, 321b, 321c entre el vector de gravedad 322 y los ejes del marco de referencia 321. Al utilizar la información sobre la orientación de la cámara, el modelo de la cámara no tiene que ajustar dos parámetros externos. Por lo tanto, el método de calibración se puede simplificar, ya que la distancia focal, o la distancia vertical u horizontal de la cámara con respecto a los puntos de referencia 382 ya no se necesita conocer a priori, y un conjunto de 4 puntos de referencia 382 es completamente suficiente para calibrar el modelo estenopeico.

Los métodos de calibración explicados hasta ahora tienen en común que proporcionan la posición de la cámara con respecto a un marco fijo, en el que se define la geometría del canal. Los siguientes métodos proporcionan solamente la posición de la cámara con respecto a la superficie libre.

b) Método de calibración sin utilización de puntos de referencia.

- 25 Es posible un procedimiento de calibración utilizando un cuerpo que tenga una escala de longitud conocida y que esté flotando en la superficie 202 cuando se adquieren las imágenes. Este cuerpo puede ser, por ejemplo, con forma de mancuerna: una barra de longitud definida que tiene extremos provistos de elementos flotantes, por ejemplo, esferas huecas.

#### Etapa 400: Adquisición de imágenes

30 En la configuración C1 y C2 se puede conectar una cámara 203, 203a, por ejemplo, a un cable Ethernet. La energía se suministra a las cámaras 203, 203a a través de PoE. Las imágenes se graban en la unidad de memoria 205 y se procesan mediante la unidad de procesamiento 206.

35 Para determinar, por ejemplo, el nivel del agua, no solo se analiza una imagen, sino una secuencia de imágenes. El número de imágenes adquiridas es de al menos dos y puede ser, normalmente, hasta 100 o más. Las cámaras digitales habituales pueden tomar 30 fotogramas por segundo, por lo que la secuencia de imágenes puede durar unos segundos.

Las imágenes se pueden grabar en valores de gris. Dependiendo de la aplicación, una cámara con una resolución de píxeles moderada puede ser suficiente, por ejemplo. 640x480 píxeles.

Durante la noche, la escena se puede iluminar con un proyector de infrarrojos.

40 Para permitir una medición estéreo en la configuración C2, las cámaras 203, 203a se disponen de manera que tomen imágenes de la misma escena. Preferiblemente, también se sincronizan de tal manera que tomen imágenes al mismo tiempo. Sin embargo, se puede aceptar una diferencia de tiempo de un fotograma, por ejemplo. 1/30 s, para su posterior análisis.

45 En la configuración de cámaras C3, las imágenes necesarias se pueden obtener grabando unos segundos de película, por ejemplo, 5 s. En esta configuración C3, la cámara 203b no es fija. Los procedimientos posteriores para la determinación del nivel de agua y las mediciones de velocidad de la superficie pueden requerir que la posición y la orientación de la cámara de grabación sean lo suficientemente constantes durante el tiempo de la secuencia y lo suficientemente idénticas a la posición y la orientación de la cámara durante la calibración. Para las grabaciones de teléfonos inteligentes de mano, este puede no ser el caso. El procesamiento de imágenes se puede utilizar para estabilizar la secuencia de imágenes. Un posible método para una estabilización de este tipo es el siguiente:

50 La cámara 203b se sostiene de manera que las imágenes adquiridas contengan una parte significativa que no sea la superficie del agua 202, es decir, que contenga el paisaje de la línea de costa seca 201a y, preferiblemente, los puntos de referencia 382 para la calibración u otros marcadores fijos, véase las Fig. 4 o 6. En la aplicación para

teléfonos inteligentes que se describe a continuación, el software se configura para guiar al usuario de manera que los cuadrantes superior e inferior de las imágenes, es decir, la región en las cuatro esquinas de la imagen, contenga solo paisajes secos. A partir de estos cuadrantes "secos", el movimiento relativo entre fotogramas individuales se mide mediante una correlación cruzada de imágenes. La correlación cruzada se puede facilitar mediante marcadores fijos en la línea de costa. Preferiblemente, estos marcadores son puntos de referencia 382, que también se pueden utilizar para calibración. Los vectores de movimiento resultantes permiten una detección y compensación del movimiento entre fotogramas mediante el registro de imágenes (transformación de los datos en un sistema de coordenadas) o más simple mediante una combinación de rotación y translación de imágenes. Alternativamente, y para ahorrar energía de la CPU, solo se utilizan para el procesamiento posterior las imágenes que se encuentren aproximadamente en la misma posición y orientación que durante la calibración.

**Etapas 500: Distinción entre regiones de imagen "húmedas" y "secas"**

La Fig. 8 es un diagrama de flujo de las diferentes subetapas 501-507 de la etapa 500.

Analizar no solo una única imagen, sino de una secuencia de imágenes permite discriminar entre la región "húmeda" 202 de la imagen (es decir, con agua que fluye) y la región "seca" 201a, que ve paisajes sin movimiento (por ejemplo, la línea de costa, las rocas, parte de un pilar de puente, etc.). Cualesquiera píxeles que observen las partes "secas" de la escena experimentarán un pequeño cambio en sus valores de gris, mientras que las partes "húmedas" están sometidas a un cambio constante, provocado por pequeñas ondas y perturbaciones de la superficie del flujo. En una cámara ideal y en una situación de iluminación ideal, el cambio de píxeles en la región seca sería cero. Sin embargo, en realidad, existe un nivel de ruido finito debido a la ganancia de la cámara electrónica no constante, debido a las situaciones cambiantes de luz (por ejemplo, cuando las nubes están cruzando el cielo) así como debido a las vibraciones mecánicas. El ruido electrónico aumenta en situaciones oscuras, especialmente durante la noche cuando fuentes de luz adicionales como, por ejemplo, diodos infrarrojos son necesarios para que las cámaras vean cualquier cosa.

Por lo tanto, después de leer las imágenes de la memoria, etapa 501 en la Fig. 8, se filtran para obtener los datos  $im\_f$ , etapa 502. El ruido se puede filtrar adecuadamente utilizando, por ejemplo, un filtro de la mediana espacial de dos dimensiones. La anchura del núcleo del filtro se elige para que sea mayor que el ruido, que puede ser del orden de 1 o más píxeles, y más pequeño que los patrones afectados en la superficie 202, que puede ser del orden de 10 o más píxeles. Por ejemplo, un núcleo de 5 píxeles x 5 píxeles es posible.

Para obtener una medida escalar del cambio de cada valor de gris de píxel sobre una secuencia definida, el máximo y el mínimo se determinan para cada píxel en la etapa 503. Esto proporciona datos de imagen  $max(im\_f)$  y  $min(im\_f)$ , respectivamente.

En la etapa 504, la diferencia entre los valores de gris máximos y mínimos para una secuencia de imágenes dada se toma para obtener los datos de imagen  $De\_im$ . En el modo cuasi continuo, en el que los datos se tienen que obtener durante un período de tiempo más largo, se emplean los máximos y mínimos de deslizamiento con una anchura de núcleo de una duración de tiempo determinada. Por ejemplo, los datos se obtienen durante un período que puede durar una o más horas, por lo que la anchura del núcleo puede ser de varios minutos. Una anchura de núcleo típica tiene, por ejemplo, un período de 10 minutos. Cualquier suceso extremo para un píxel se desvanecerá después de ese período determinado por la anchura del núcleo y se reemplaza gradualmente por su correspondiente valor promedio de deslizamiento, véase la etapa 505.

Dependiendo del tipo de escena tomada, se puede aplicar un procesamiento de imágenes adicional para filtrar los artefactos. Por ejemplo, la región seca puede tener transiciones relativamente abruptas entre áreas brillantes y oscuras, por ejemplo, puede haber gradientes locales abruptos en valores de gris. Dichos gradientes se pueden aumentar por el ruido de píxeles o las vibraciones mecánicas de la cámara. Los ejemplos que pueden llevar a dichas situaciones son paredes de ladrillo, raíles, árboles y otros objetos, que sean planos no completamente planos. Dichas transiciones pueden conducir a una señal no deseada en la región "seca" en las imágenes  $De\_im$ , de manera que la línea de agua no se pueda determinar correctamente. Para tratar con dichos artefactos, los datos de imágenes promedio,  $Av\_im$ , se obtienen en la etapa 505 promediando la secuencia de imágenes sin filtrar, o, en modo casi continuo, determinando el promedio de deslizamiento sin filtrar sobre la secuencia de imágenes con una anchura de núcleo específica, que puede ser de varios minutos.

En la etapa 506, se obtiene el gradiente de  $Av\_im$ , indicado por  $grad(Av\_im)$  en la Fig. 8. En la etapa 507, este gradiente se resta de la "diferencia máx-mín",  $De\_im$ , para obtener los datos de imágenes procesadas  $DG\_im$ , es decir,  $DG\_im = De\_im - grad(Av\_im)$ . La distinción entre regiones húmedas y secas se mejora utilizando los datos de imágenes procesadas  $DG\_im$ , ya que los artefactos mencionados anteriormente se filtran al menos parcialmente.

**Etapas 600: Determinación del nivel de agua.**

La Fig. 9 es un diagrama de flujo de las diferentes subetapas 601-608 de la etapa 600.

Para la configuración de cámaras C1 o C3, el nivel de agua se puede determinar de la siguiente manera:

- Como la geometría de la línea de costa y los parámetros de calibración son conocidos, cada nivel posible de agua en el mundo real,  $h$ , se puede asignar al espacio de la imagen,  $c(h)$ , véase la etapa 601 en la Fig. 9. Para paredes de canales planas, esto da como resultado líneas rectas a través del espacio de las imágenes. Sin embargo, las geometrías de línea de líneas de costa arbitrarias se pueden mapear igualmente en curvas generales a través del espacio de las imágenes. Para el cálculo, la altura se discretiza, es decir, el cálculo se realiza para un valor inicial de la altura y luego se repite con un aumento consecutivo en la altura, véase el rombo "si líneas < líneas de agua posibles" en la Fig. 9.
- En la etapa 602, se determina la suma de los valores de gris de todos los píxeles que pertenecen a una  $c(h)$  particular. Preferiblemente, a continuación, se aplica un filtro, véase la etapa 603. Un filtro adecuado es, por ejemplo, un filtro Savitzky-Golay, que puede ser de segundo orden y tener una anchura de núcleo,  $w$ , correspondiente a la altura de las ondulaciones de la superficie. En un ejemplo,  $w$  es 5 mm.
- La suma de los valores de gris se puede representar frente a  $h$ , lo que da como resultado una suma de relación unidimensional ( $c(h)$ )  $\leftrightarrow h$ , véase la etapa 604.
- En la etapa 605, se determina la derivada,  $d[\text{suma}(c(h))]/dh$ , que es negativa y extrema, donde  $h$  corresponde al nivel del agua, véase la etapa 607 que define que se debe encontrar la pendiente máxima de la suma de la función ( $c(h)$ ). Preferiblemente antes de esta etapa 607, la suma de la señal ( $c(h)$ ) así como la derivada  $d[\text{suma}(d(h))]/dh$  se filtran con una anchura de filtro  $k$ , véase la etapa 606. Si  $k$  no es mayor que la altura de onda en la línea de la línea de costa, la señal relevante no se filtra y no se fuerza en ninguna dirección, es decir, se puede utilizar como un indicador robusto para la posición de la línea de agua.
- Para la configuración de cámaras C2, se puede utilizar un enfoque diferente para determinar el nivel de agua.
- Una medición estéreo puede requerir que las dos cámaras observen a la misma sección de la superficie del agua, es decir, que sus vistas se superpongan, que preferiblemente las cámaras se sincronicen en el tiempo y que se pueda establecer una correspondencia espacial entre las dos vistas de las cámaras, es decir, los ángulos entre los dos ejes de las cámaras no sean demasiado grandes, preferiblemente no mayores de 45 grados.
- Una imagen  $\tilde{A}$  se genera aplicando un filtro específico. Este filtro separa la superficie con movimiento de la información de la imagen de la información de la imagen fija asociada con sombras, objetos sin movimiento y el fondo del canal. Se puede utilizar el mismo filtro que en las etapas 702, 703 descrito con más detalle a continuación.
- La imagen filtrada  $\tilde{A}$ , que contiene solo la parte con movimiento de la superficie, se proyecta en varios planos horizontales  $202, 202', 202''$ , cada uno de los cuales representa niveles posibles de agua. Cada proyección se compara con su proyección correspondiente de la imagen  $\tilde{B}$  que es la imagen filtrada de la segunda cámara. Esto se ilustra en la Fig. 10 de una manera simplificada con una escena que contiene solo dos características, una característica "completa" F1 y una característica "vacía" F2. Las proyecciones de cada función se solapan solo para la proyección con la altura correcta,  $h$ . En la Fig. 10 las características F1 y F2 según se ven en la imagen  $\tilde{A}$  se representan mediante círculos rellenos y vacíos, F1a y F2a, respectivamente. Las mismas características en la imagen  $\tilde{B}$  se representan mediante cuadrados rellenos y vacíos, F1b y F2b, respectivamente. Según se puede ver, al proyectar F1a, F2a, F1b, F2b en un plano que tiene una altura incorrecta, por ejemplo, los planos  $202', 202''$ , la proyección de F1a está separada de F1b y la proyección de F2a está separada de F2b. Se determina una superposición de F1a y F1b, así como de F2a y F2b, cuando se proyectan en el plano 202 que tiene la altura correcta.
- Para cuantificar la calidad de la superposición en general, se puede medir la correlación entre todos los valores de grises proyectados de la imagen  $\tilde{A}$  con sus correspondientes proyecciones de la imagen  $\tilde{B}$ . Por lo tanto, la comparación entre las proyecciones en el plano horizontal con la altura correcta produce una correlación máxima y una diferencia de valores de gris media mínima entre los píxeles correspondientes. Estos puntos extremos identifican de este modo el nivel de agua correcto.
- Para reducir el tiempo necesario de procesamiento de la computadora, este enfoque se puede modificar trabajando solo en un subconjunto de píxeles. Desde la imagen  $\tilde{A}$  se proyecta un subconjunto en un posible plano horizontal, y desde este plano se proyecta el conjunto en el chip de imagen virtual de la otra cámara. De nuevo, la correlación en las posiciones del subconjunto proyectado de  $\tilde{A}$  con los píxeles de  $\tilde{B}$  es máxima para la altura correcta del plano horizontal. De forma equivalente, la diferencia de los dos conjuntos de puntos es mínima. Trabajar con un subconjunto de píxeles reduce el tiempo de procesamiento en la proporción de los tamaños entre el subconjunto de la imagen y la imagen completa.



**Etapa 700: Campo de velocidad de la superficie**

La Fig. 11 es un diagrama de flujo de las diferentes subetapas 701-705 de la etapa 700.

El método según se explica a continuación permite que se mida el campo de velocidad de la superficie. Este método también se designará como velocimetría por imágenes delta filtradas (FDIV).

5 Si el fondo del canal es visible a través de la fase de agua, si las sombras o los reflejos del paisaje son visibles en la superficie del agua y/o si los objetos sin movimiento, como las olas estacionarias o las rocas sólidas o los pilares de puentes, "contaminan" la escena de la imagen, la PIV estándar no funciona, ya que mediría algún valor entre cero y la velocidad de la superficie real.

La FDIV es capaz de separar de forma robusta los contenidos de imágenes con movimiento de los contenidos de imágenes fijas. La funcionalidad de la FDIV no requiere la adición de marcadores de flujo.

10 La secuencia de imágenes tomada por una cámara se agrupa en tripletes de imágenes, conteniendo cada uno una primera imagen A, una segunda imagen B y una tercera imagen C, véase la etapa 701.

15 Por ejemplo, en el instante  $t_1$  se adquiere una imagen  $I_1$ , en un instante posterior  $t_2$  una imagen  $I_2$ , en un instante posterior  $t_3$  una imagen  $I_3$ , etc. Esto da una serie de imágenes  $I_1, I_2, I_3$ , etc. El primer triplete puede estar formado, por ejemplo, por  $(I_1, I_2, I_3)$ , el segundo triplete por  $(I_2, I_3, I_4)$ , el tercer triplete por  $(I_3, I_4, I_5)$ , etc. Sin embargo, es posible que los tripletes se formen de una manera diferente: Por ejemplo, ninguna de las imágenes de un triplete puede estar contenida en el siguiente triplete, por ejemplo,  $(I_1, I_2, I_3)$ ,  $(I_4, I_5, I_6)$  y/o puede haber espacios dentro de un triplete, por ejemplo,  $(I_1, I_3, I_5)$ . Cada triplete proporcionará datos sobre el campo de velocidad durante un instante de tiempo. En general, un triplete se forma por  $(I_i, I_j, I_k)$ , en donde  $i < j < k$ .

20 A continuación se explica el procesamiento de un triplete (A, B, C).

En la etapa 702, la diferencia absoluta entre A y B y la diferencia absoluta entre B y C se forman determinando  $im_1$  e  $im_2$ , respectivamente.

25 En la etapa 703,  $im_1$  e  $im_2$  se filtran para producir  $im_{1f}$  e  $im_{2f}$ . Un núcleo gaussiano espacial se puede, por ejemplo, utilizar como filtro. La anchura del filtro se elige lo suficientemente grande con el fin de eliminar el ruido de la diferencia de  $im_1$  e  $im_2$  y para distribuir o difuminar las características pequeñas en sus proximidades respectivas desde  $im_{1f}$  a  $im_{2f}$ . Por otro lado, la anchura del filtro se elige lo suficientemente pequeña para no eliminar completamente la señal de movimiento en  $im_{1f}$  e  $im_{2f}$ . El límite superior para la anchura del filtro puede corresponder al tamaño mínimo de la subventana que se define para la siguiente etapa de procesamiento 704. Para detectar el desplazamiento del movimiento de la escala  $d$  en unidades de píxeles, la escala de la subventana  $s$  en unidades de píxeles se elige de modo que sea al menos dos veces  $d$  o más grande:  $s \geq 2d$ .

30 En la etapa 704, se determina el cambio espacial de los patrones de  $im_{1f}$  a  $im_{2f}$ .

35 Las imágenes  $im_{1f}$  y  $im_{2f}$  se dividen en subventanas con tamaño  $n \times m$  ("ventana de interrogación"). Básicamente, una subventana de  $im_{1f}$  se compara con la subventana de  $im_{2f}$  para encontrar un desplazamiento que determine la mejor coincidencia entre las dos subventanas. El grado de coincidencia se puede determinar por medio de la función de correlación cruzada de  $im_{1f}$  e  $im_{2f}$ :

$$R(x, y) = \sum_k \sum_l im_{1f}(k, l) \times im_{2f}(k + x, l + y)$$

Para calcular la función de correlación cruzada, los datos de la imagen se convierten al dominio espectral, es decir, espacio de Fourier utilizando, por ejemplo, una transformada rápida de Fourier.

40 La transformada de Fourier de  $im_{1f}$  se multiplica por la transformada conjugada de Fourier de  $im_{2f}$  y a continuación se aplica la transformada inversa de Fourier. Esto determina para cada subventana una función similar a un impulso para  $R(x, y)$ . La ubicación del impulso con respecto al centro de una subventana se relaciona con el desplazamiento relativo de píxeles entre las subventanas de  $im_{1f}$  y  $im_{2f}$ . Los vectores de desplazamiento obtenidos en posiciones discretas finalmente se mapean desde el espacio de los píxeles al espacio mundial empleando un modelo de cámara que se obtiene con uno de los métodos de calibración descritos anteriormente.

45 Alternativamente,  $im_{1f}$  y  $im_{2f}$  se pueden registrar primero en el espacio mundial, es decir, las coordenadas de la imagen se convierten en coordenadas mundiales. Posteriormente, el máximo de la función de correlación cruzada para cada subventana y la velocidad de la superficie correspondiente se determinan de una manera análoga a como se explicó anteriormente. Este último matiz permite elegir relaciones de aspecto más flexibles para las subventanas de tamaño  $n * m$ , ya que ahora los lados de la subventana se pueden elegir exactamente paralelos

y ortogonales a la dirección del flujo. Por otro lado, el registro de imágenes en el espacio mundial es más costoso para la CPU que solo mapear los vectores de velocidad del espacio de píxeles al espacio mundial.

Las Fig. 13a-13c muestran un ejemplo de las imágenes procesadas por la etapa 700 para determinar la velocidad de la superficie. Las tres imágenes A, B, C en la Fig. 13a muestran parte de un río y de una línea de costa en tres instantes de tiempo consecutivos. La Fig. 13b son las dos imágenes  $im_{1f}$  e  $im_{2f}$  obtenidas después de aplicar las etapas 702 y 703. El procesamiento de estas dos imágenes de acuerdo con las etapas 704 y 705 determina la velocidad de la superficie en diferentes ubicaciones en el río, según se muestra en la Fig. 13c.

En un método alternativo de las etapas 701 y 702, se toma un grupo de cuatro imágenes diferentes de la secuencia de imágenes para determinar la diferencia:  $im_{1} = |A-B_{1}|$  y  $im_{2} = |B_{2}-C|$ , donde  $B_{2}$  es una imagen adquirida después de que se hayan adquirido la imagen A y, preferiblemente, también  $B_{1}$ .

#### **Etapas 800: Cálculo del flujo de la corriente a partir del nivel del agua y la velocidad de la superficie**

La Fig. 12 es un diagrama de flujo de las diferentes subetapas 801-805 de la etapa 800.

Para determinar la descarga Q, se necesita información sobre el perfil de velocidad a lo largo de la dirección vertical. Dicha información se puede obtener utilizando un modelo, por ejemplo, un modelo de longitud de mezcla dependiente de la rugosidad según lo sugiere R. Absi, "A roughness and time dependent mixing length equation", Revista de hidráulica, Ingeniería medioambiental y de costas, Sociedad Japonesa de Ingenieros Civiles, vol. 62, 2006, páginas 437-446. En este modelo, el perfil de velocidad a lo largo del perfil vertical se estima integrando un llamado modelo de longitud de mezcla dependiente de la rugosidad desde el fondo del canal todo el camino hasta la superficie del agua. La longitud de mezcla y la energía cinética se modelan como funciones de la altura sobre la parte inferior y definen la pendiente local del perfil de velocidad. La pendiente inicial en el fondo del canal, es decir, la condición de límite inferior, es una función de la llamada velocidad de rugosidad y de la altura de rugosidad inferior. Para alcanzar la superficie del agua, es decir, para satisfacer la condición de límite superior, la integración se itera para encontrar la velocidad de rugosidad correcta.

El campo del nivel del agua y de la velocidad de la superficie se combinan con el modelo para obtener perfiles de velocidad vertical y, sucesivamente, los valores de descarga Q buscados.

La dirección transversal, y, del flujo de la superficie abierta se divide en n segmentos, etapa 801 en la Fig. 12.

En la etapa 802, para cada segmento, el perfil de velocidad vertical se modela con las condiciones límite de la velocidad de la superficie libre  $v(y)$  medida (etapa 705'), la condición de no deslizamiento en la parte inferior (es decir, velocidad cero) y la altura de rugosidad inferior. El promedio de cada perfil de velocidad da como resultado una velocidad masiva  $v_b(y)$  en la etapa 803 que, multiplicada con su correspondiente área de sección transversal del segmento, produce la descarga  $Q_s$  para cada segmento transversal, etapa 804. La suma de todos los  $Q_s$  finalmente es la descarga Q, etapa 805.

La altura de la rugosidad del fondo afecta tanto al nivel del agua como a la velocidad de la superficie de un flujo de superficie abierta. El presente método permite medir ambas de estas cantidades de forma independiente. Para las secciones de corrientes con un cambio lo suficientemente pequeño en la dirección de la corriente, la rugosidad de la superficie del fondo también se puede determinar mediante el presente método, en lugar de utilizarse "solo" para la determinación de la descarga resultante.

En las siguientes aplicaciones específicas del método se describen con más detalle:

#### **Cámara(s) fija(s), y cámara(s)(-web) con capacidad de rotación horizontal, rotación vertical y zoom:**

En una aplicación, tres cámaras web montadas de forma fija midieron el nivel del agua y el campo de velocidad de la superficie en todo el río a intervalos casi continuos de 2 segundos. A intervalos regulares de 10 minutos, la información se ha combinado para estimar la descarga. Se utilizaron tres cámaras para resolver mejor la anchura del canal y la pared del canal. Alternativamente, se puede utilizar solo una cámara, que tenga un campo de visión más grande y/o que pueda controlar la rotación horizontal, la rotación vertical y el zoom.

Utilizando por ejemplo un proyector de infrarrojos de 70 vatios para iluminación, el método también funcionó durante la noche. Por lo tanto, el método se puede configurar para una utilización durante todo el año, es decir, 24 horas x 7 días, para determinar la velocidad de la superficie y la descarga de flujos de superficies libres. La adición de marcadores de flujo no fue necesaria y no se requirieron construcciones particulares para el montaje de las cámaras sobre el río. Basta con que las cámaras se monten en el lado del río y que puedan "ver" la superficie del agua y la línea de costa.

Para mayor flexibilidad en lugar de cámaras web dispuestas sin movimiento, las cámaras se pueden utilizar con posiciones controlables de panorámica, inclinación y zoom. Siempre que cada posición se pueda guardar y alcanzar de nuevo de forma fiable, la calibración se puede realizar para cada posición y de aquí en adelante, el método es el mismo que el método de cámara fija descrito anteriormente.

Sin embargo, el número de cámaras se puede reducir a solamente una única cámara.

**Cámaras(-web) fijas estéreo y cámaras(-web) con capacidad de rotación horizontal, rotación vertical y zoom**

Con el método descrito anteriormente para la medición estéreo, véase la Fig. 3, se puede alinear una pareja de cámaras para ver una sección común de la superficie abierta para determinar directamente el nivel de agua sin la necesidad de ver la línea de costa.

- 5 Con cámaras que permitan controlar las posiciones de panorámica, inclinación y zoom, es posible escanear sucesivamente la totalidad de la anchura del flujo de la superficie. Por lo tanto, es posible medir con solo 2 cámaras el nivel de agua y la velocidad de la superficie de la totalidad del flujo de superficie, lo que permite determinar la descarga independientemente de la visibilidad de la línea de costa.

**Implementación con teléfonos inteligentes**

- 10 Los métodos anteriores, preferiblemente combinados con una forma adecuada tanto de estabilizar imágenes como de identificar aquellos tripletes de imágenes que sean relativamente estables, se pueden implementar con una aplicación de teléfono inteligente. La calibración se debe realizar cada vez, pero por otro lado, la calibración también se simplifica gracias a la utilización del sensor acelerómetro que es estándar incluso en los teléfonos inteligentes más económicos. Además, a través del GPS, también estándar en todos los teléfonos inteligentes, la ubicación de la medición se determina automáticamente y, por lo tanto, es sencillo utilizar la misma aplicación para cualquier número de ubicaciones de medición.

Para la calibración, cada sitio de medición del canal estará equipado con n marcadores de escala fijos, que pueden ser del orden de 1 cm o más. Las posiciones de los marcadores entre sí y en relación con la geometría del canal se deben medir una vez. También la geometría del canal se debe medir una vez. El programa de computadora para el dispositivo móvil ("aplicación") se diseña para guiar al usuario hacia una posición aproximada con respecto al canal y a las marcas de calibración para la calibración. La grabación real se produce durante un período de tiempo que es del orden de 1 segundo o más. Esto es suficiente para determinar el nivel del agua y la velocidad de la superficie del agua, a partir de la cual se puede determinar la descarga.

El método y el sistema descritos hasta ahora tienen varias ventajas:

- 25 - La medición no requiere la adición de marcadores de caudal ni la presencia de estructuras permanentes en el fluido. La medición también es posible en condiciones donde las sombras sin movimiento, los reflejos, las ondas estacionarias o los objetos sólidos sean una parte importante de la imagen.
- Es suficiente adquirir imágenes monocromáticas, por ejemplo, imágenes en escala de grises. Dichas imágenes son más adecuadas para condiciones difíciles de luz que las imágenes en color.
- 30 - La medición es posible incluso durante la noche utilizando, por ejemplo, un proyector de infrarrojos.
- La determinación del nivel de agua es función de la separación de partes húmedas y secas de la imagen mediante el análisis de una secuencia de imágenes en lugar de una sola imagen.
- La calibración utiliza un mínimo de 4 puntos de referencia en el caso de una cámara móvil con una distancia focal fija; y, si el ángulo de visión de la cámara con respecto al plano horizontal está disponible, solo se necesitan 2 puntos.
- 35 - La medición se puede hacer también por medio de una cámara móvil, por ejemplo, una cámara en un teléfono móvil.
- El método y el sistema se pueden aplicar en áreas ambientales, hidráulicas, hidrológicas y otras áreas.

40 A partir de la descripción anterior, están disponibles muchas modificaciones para el experto sin apartarse del alcance de la invención, que se define en las reivindicaciones.

El método para determinar la velocidad de una superficie de agua en movimiento se puede aplicar para cualquier tipo de fluido, no solo agua.

Dependiendo de la aplicación, el método se puede realizar sin las etapas para determinar el nivel de fluido y/o la descarga.

- 45 La iluminación por medio de un dispositivo de iluminación, por ejemplo, un proyector de infrarrojos generalmente es posible en los casos en los que la luz ambiental sea insuficiente, por ejemplo, también en un entorno cerrado como un sistema de alcantarillado.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para determinar la velocidad (202b) de una superficie de fluido en movimiento (202), que comprende las siguientes etapas S1 a S5:
  - 5 S1) tomar una secuencia de imágenes de la superficie de fluido en movimiento mediante al menos una cámara (203, 203a, 203b);
  - S2) comparar una primera imagen de la secuencia tomada en el instante t1 con una segunda imagen de la secuencia tomada en el instante t2 para distinguir los patrones de movimiento de la superficie de fluido de las partes sin movimiento y obtener una primera imagen procesada (im\_1f) que comprenda los patrones con movimiento, en donde t2 es posterior a t1;
  - 10 S3) comparar una tercera imagen de la secuencia tomada en el instante t3 con una cuarta imagen de la secuencia tomada en el instante t4 para distinguir los patrones de movimiento de la superficie de fluido de las partes sin movimiento y obtener una segunda imagen procesada (im\_2f) que comprenda los patrones con movimiento, en donde t3 y t4 son posteriores a t1 y en donde t4 es posterior a t3;
  - 15 S4) comparar la primera y la segunda imágenes procesadas para determinar los desplazamientos espaciales de los patrones de movimiento; y
  - S5) determinar a partir de los desplazamientos espaciales la velocidad.
2. El método de la reivindicación 1, en donde, para obtener la primera imagen procesada (im\_1f) y/o la segunda imagen procesada (im\_2f) en la etapa S2 y/o S3, se realiza al menos una de las siguientes etapas:
  - la segunda imagen se utiliza como la tercera imagen, de manera que t2 corresponde a t3,
  - 20 - las imágenes primera, segunda, tercera y cuarta se proporcionan como imágenes monocromáticas,
  - la diferencia absoluta entre la primera imagen y la segunda imagen se construye y se filtra preferiblemente aplicando un filtro pasabanda, en particular un filtro gaussiano;
  - la diferencia absoluta entre la tercera imagen y la cuarta imagen se construye y se filtra preferiblemente aplicando un filtro pasabanda, en particular un filtro gaussiano.
- 25 3. El método de la reivindicación 1 o 2, en donde en la etapa S4 los desplazamientos espaciales se determinan evaluando una correlación cruzada entre subventanas de las imágenes procesadas primera y segunda (im\_1f, im\_2f).
4. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el fluido fluye a través de un canal abierto (201), comprendiendo el método además al menos una de las siguientes etapas:
  - 30 - determinar el perfil transversal de la velocidad en sentido de la corriente (v(y)),
  - determinar el nivel de la superficie de fluido (202),
  - determinar la descarga (Q) del fluido a través del canal.
5. El método de la reivindicación 4, que comprende además las siguientes etapas (500, 600) para determinar el nivel de la superficie de fluido (202):
  - 35 - comparar al menos dos imágenes de la secuencia tomada en diferentes instantes para obtener una imagen comparativa (DG\_im) que distinga las partes mojadas tomadas de las partes no mojadas tomadas,
  - mapear un límite de una posible transición de las partes mojadas a las partes no mojadas definido en coordenadas mundiales (x, y, z) a diferentes alturas a las coordenadas de la imagen (i, j) de la al menos una cámara (203, 203b) por medio de un modelo de cámara (303) para obtener límites mapeados,
  - 40 - comparar los límites mapeados con el límite tomado en la imagen comparativa (DG\_im) que define la transición desde las partes mojadas a las partes no mojadas, y
  - determinar fuera de los límites mapeados el límite que mejor se ajusta al límite tomado.
6. El método de la reivindicación 5, en donde al menos se realiza una de las siguientes etapas:
  - 45 - determinar los valores extremos (max(im\_f), min(im\_f)) de los píxeles correspondientes en al menos dos imágenes o en al menos dos imágenes procesadas (im\_1f, im\_2f) obtenidas en las etapas S2 y S3 y construir la diferencia entre los valores extremos para obtener una imagen de diferencias (De\_im), que comprenda píxeles que tienen un valor por encima de un umbral dado que define una parte mojada y píxeles que tienen un valor por debajo del umbral que define una parte no mojada,

- construir el gradiente del promedio sobre las al menos dos imágenes (grad (Av\_im)) y restarlo de la imagen de diferencias (De\_im),
  - determinar (607) la pendiente máxima de la función, que viene dada por las sumas construidas al sumar los valores de los píxeles que definen un límite mapeado.
- 5 7. El método de acuerdo con la reivindicación 4, en donde, para determinar el nivel de la superficie de fluido (202), una primera cámara (203) y al menos una segunda cámara (203a) se utilizan para tomar al menos una sección de la superficie de fluido en el canal abierto (201) mediante medición estéreo, en donde las etapas S1 y S2 se llevan a cabo para al menos dos cámaras (203, 203a) para obtener una imagen procesada ( $\tilde{A}$ ) para la primera cámara y una Imagen ( $\tilde{B}$ ) para la segunda cámara, comprendiendo las imágenes procesadas patrones de movimiento de la
- 10 superficie de fluido (202), en donde al menos parte de las imágenes procesadas se proyectan en un plano a diferentes alturas para obtener imágenes proyectadas, comparando las imágenes proyectadas para encontrar el plano para el cual la imagen proyectada de la primera cámara se ajusta mejor con la imagen proyectada de la segunda cámara.
- 15 8. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 7, en donde la variación de la velocidad del fluido en la dirección vertical se modela utilizando un modelo matemático, el método comprende además al menos una de las siguientes etapas:
- determinar la descarga (Q) en base al modelo matemático con la velocidad determinada en la etapa S5 como condición límite y en base a la información obtenida para el nivel de la superficie de fluido,
  - determinar al menos un parámetro relacionado con la rugosidad hidrodinámica del canal por medio del modelo
- 20 matemático, la información sobre la velocidad determinada en la etapa S5 y la información obtenida para el nivel de la superficie de fluido.
9. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde se establece una relación entre las coordenadas mundiales y las coordenadas de la imagen por medio de al menos una de las siguientes etapas:
- 25 - al menos dos marcadores de referencia (382) con una distancia determinada entre los mismos se toman por la al menos una cámara (203, 203a, 203b), estando dispuestos los al menos dos marcadores de referencia en el canal por encima de la superficie de fluido o estando dispuestos de manera flotante en la superficie de fluido,
- se utiliza la información proporcionada por un sensor que mide la orientación de la al menos una cámara (203b),
  - se utiliza la información proporcionada por un receptor GPS que mide la ubicación de la al menos una cámara
- 30 (203b).
10. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde en la etapa S1 se utiliza al menos uno de los siguientes elementos:
- al menos una cámara (203, 203a), que se dispone de forma fija o de forma móvil sobre una superficie fija,
  - un dispositivo móvil (203b), en particular un teléfono móvil, sostenido por un usuario.
- 35 11. El método de acuerdo con la reivindicación 10, en donde los marcadores de corrección fijados junto con el fluido se toman mediante un dispositivo móvil (203b) en la etapa S1, en donde, para reducir el efecto de un movimiento del dispositivo móvil durante la toma de imágenes, las posiciones de los marcadores de corrección tomados se comparan para transformar las imágenes utilizadas para las siguientes etapas S2 a S4, de manera que se reduzca el desplazamiento espacial de los marcadores de corrección tomados y/o para ignorar en las
- 40 siguientes etapas S2 a S4, aquellas imágenes para las que el desplazamiento espacial de los marcadores de corrección tomados esté por encima de un umbral determinado.
12. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde en la etapa S1 el fluido se ilumina por medio de un dispositivo de iluminación, en particular un proyector de infrarrojos.
- 45 13. Un sistema que comprende al menos un dispositivo de toma de imágenes (203, 203a, 203b) para tomar una secuencia de imágenes y un dispositivo informático que comprende una memoria (205) y una unidad de procesamiento (206), caracterizado por que el dispositivo informático se equipa con un programa informático, en cuyo funcionamiento se puede llevar a cabo el método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes.
- 50 14. El sistema de acuerdo con la reivindicación 13, que comprende un dispositivo móvil (203b), en particular un teléfono celular o una tableta, el dispositivo móvil comprende al menos uno de los siguientes componentes:
- una cámara incorporada;

- un receptor GPS para determinar la ubicación del dispositivo móvil;
- un sensor para determinar la orientación (321) del dispositivo móvil;
- un acelerómetro;
- el programa informático, que es preferiblemente en forma de una aplicación.

5 15. El sistema de acuerdo con la reivindicación 13 o 14, en donde la dirección y/o el zoom de al menos un dispositivo de toma de imágenes se puede controlar, preferiblemente el al menos un dispositivo de toma de imágenes es una cámara con capacidades de movimiento horizontal, vertical y zoom.

10 16. El sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 13 a 15, que además comprende un cuerpo de calibración, que comprende una escala de longitud predeterminada y se configura para flotar en la superficie del fluido, preferiblemente el cuerpo de calibración tiene la forma de una mancuerna.

17. Un programa informático, en donde durante el funcionamiento del mismo en un ordenador, se lleva a cabo el método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12.

18. Un medio de datos en el que se almacena el programa informático de acuerdo con la reivindicación 17.

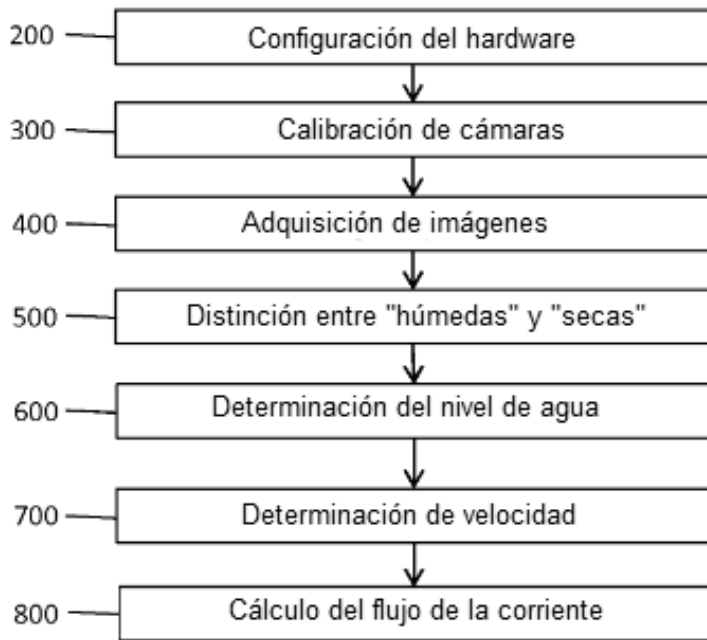


FIG. 1

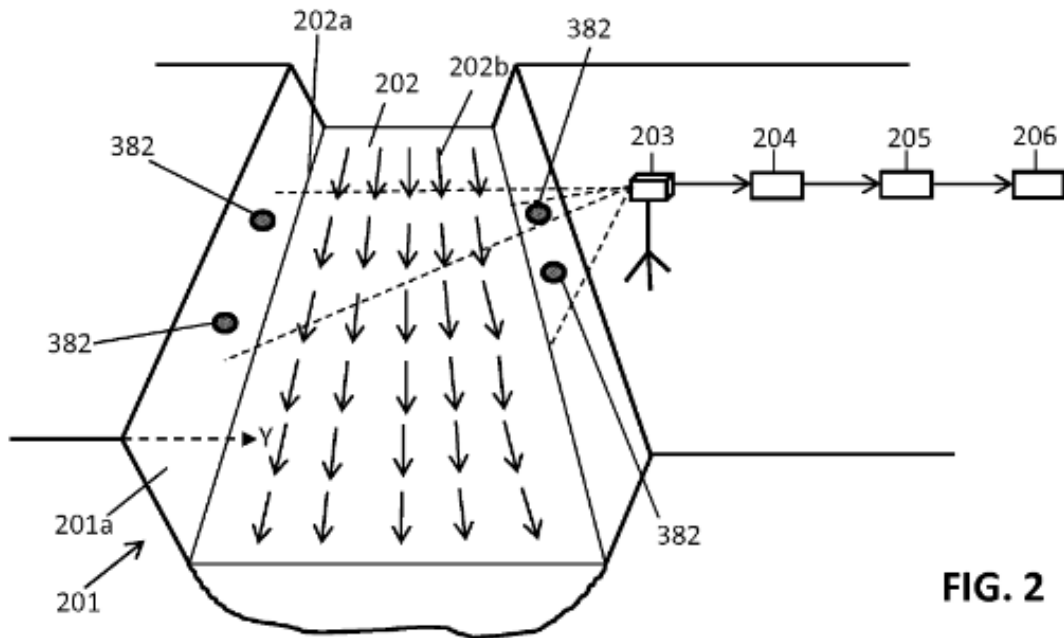


FIG. 2

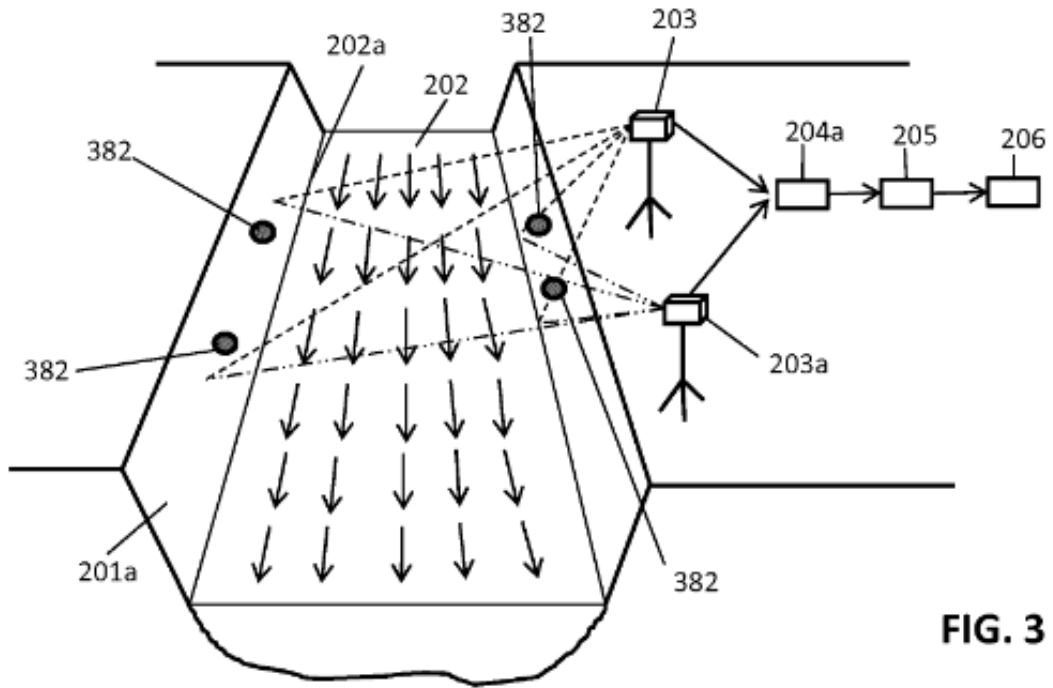


FIG. 3

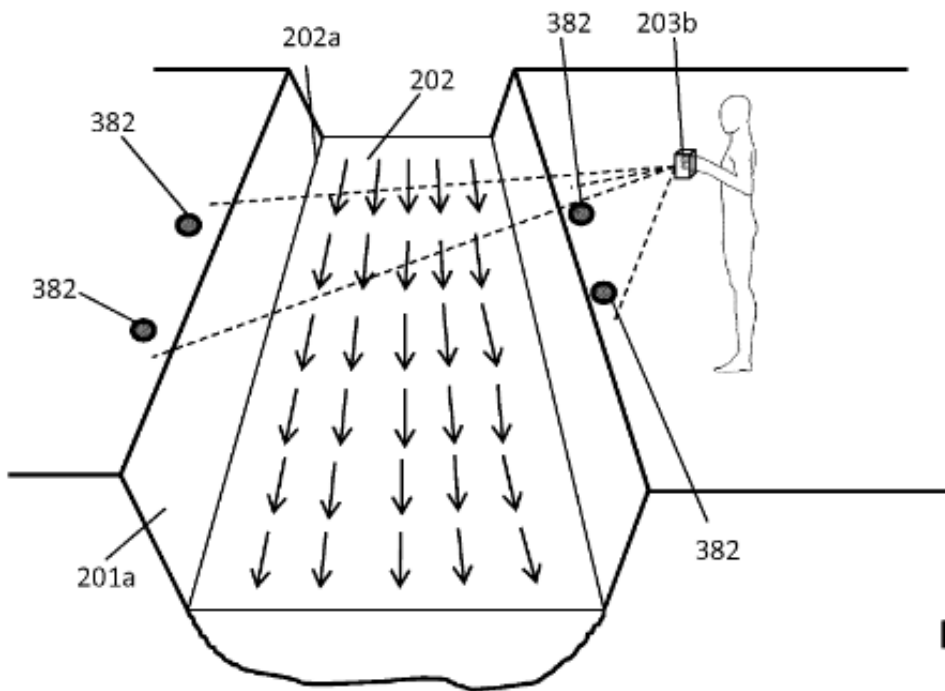


FIG. 4



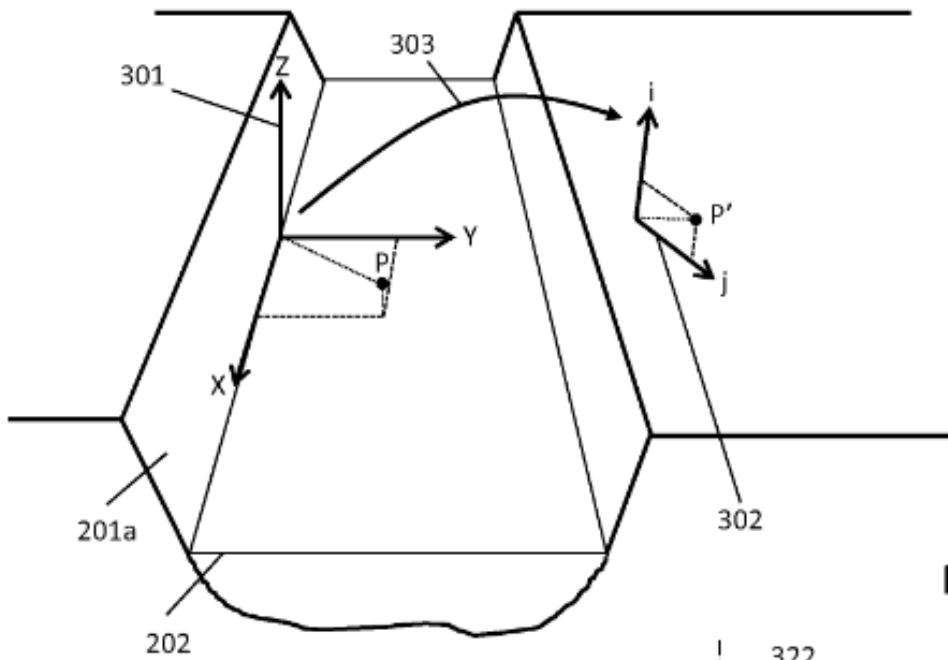


FIG. 5

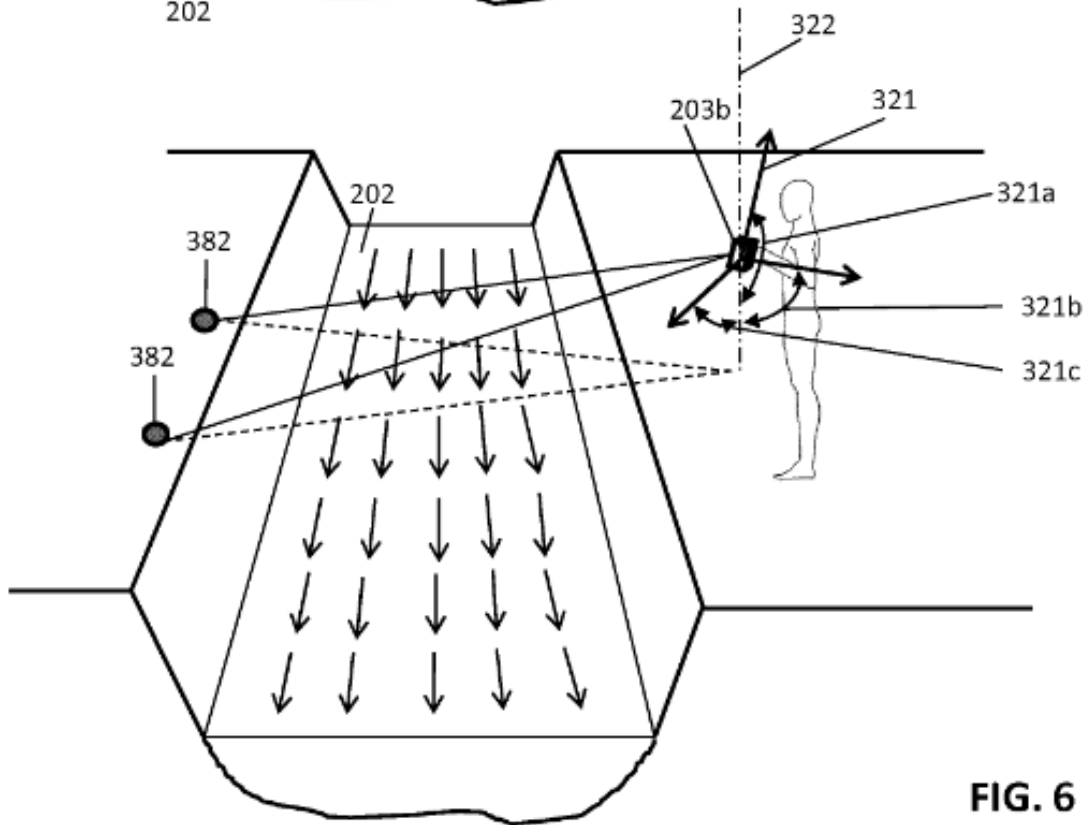


FIG. 6

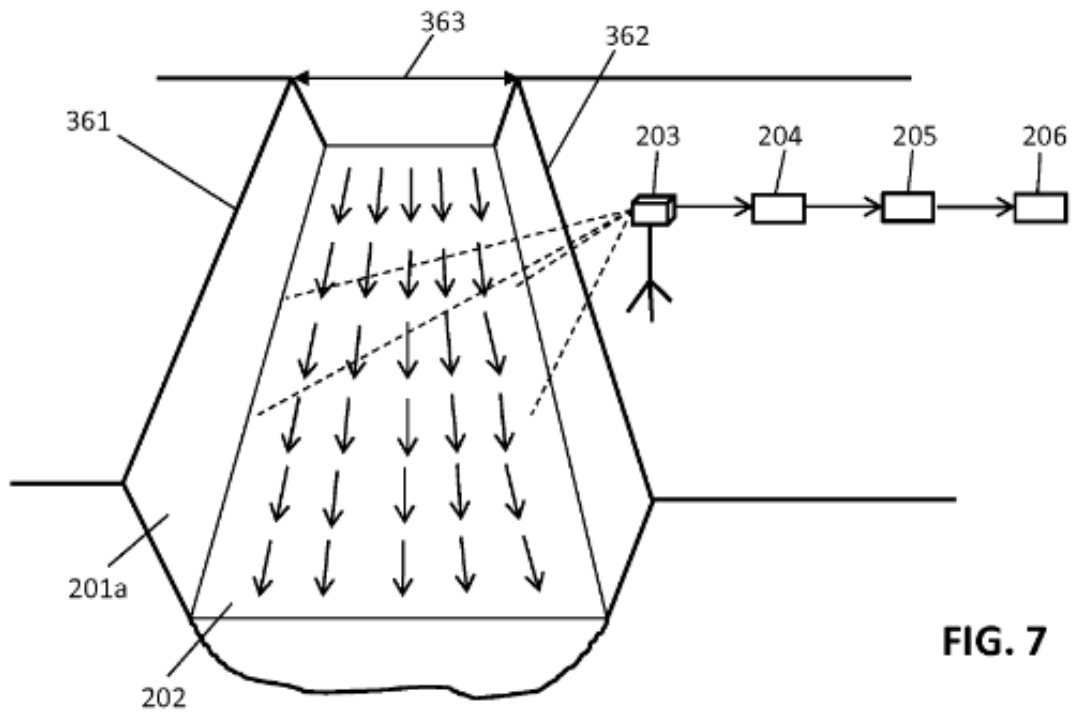


FIG. 7

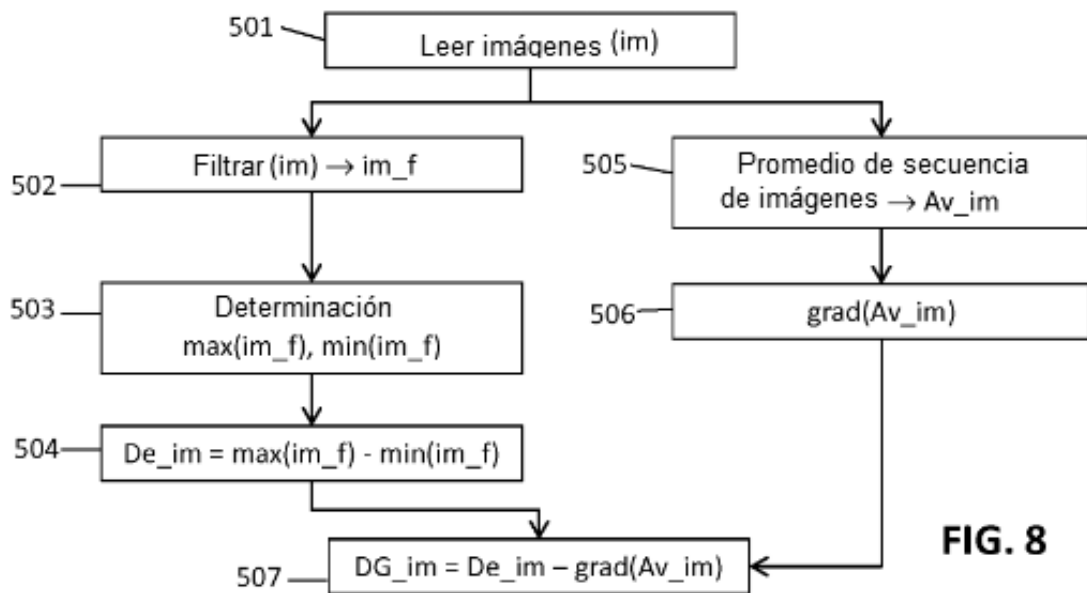
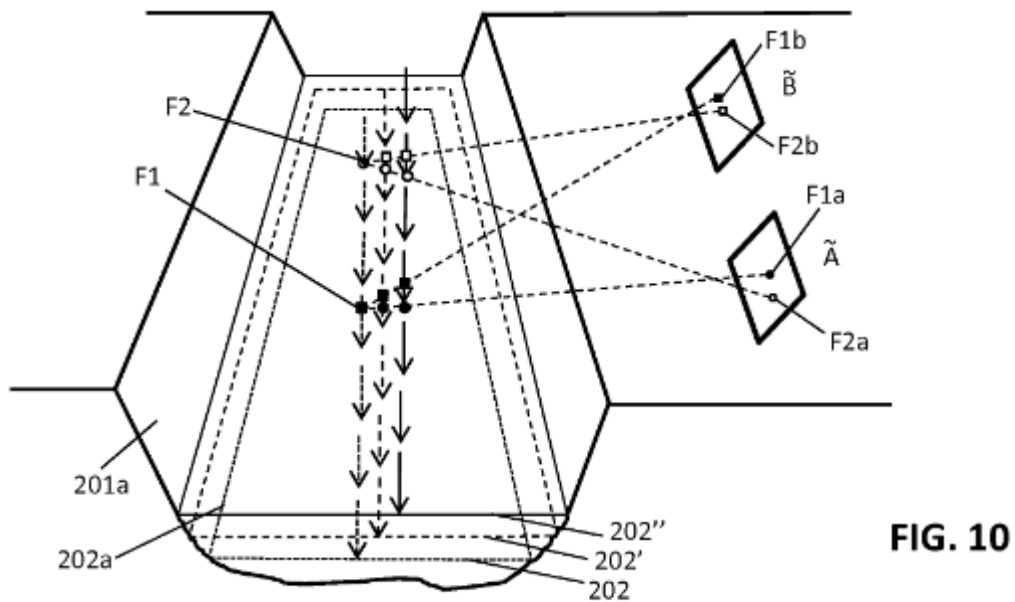
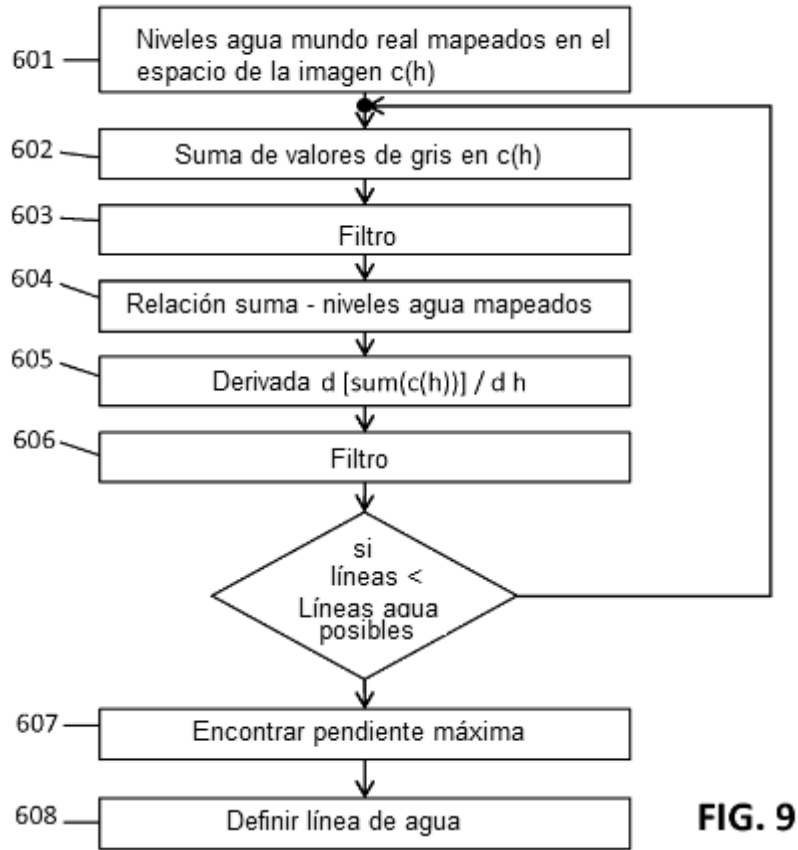
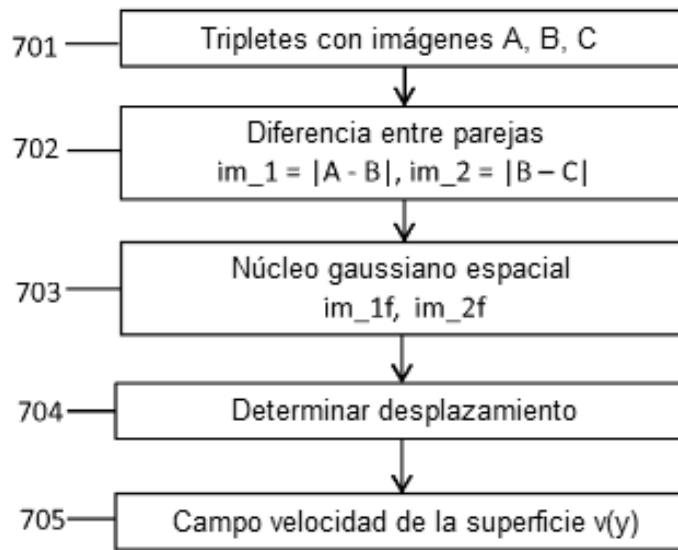
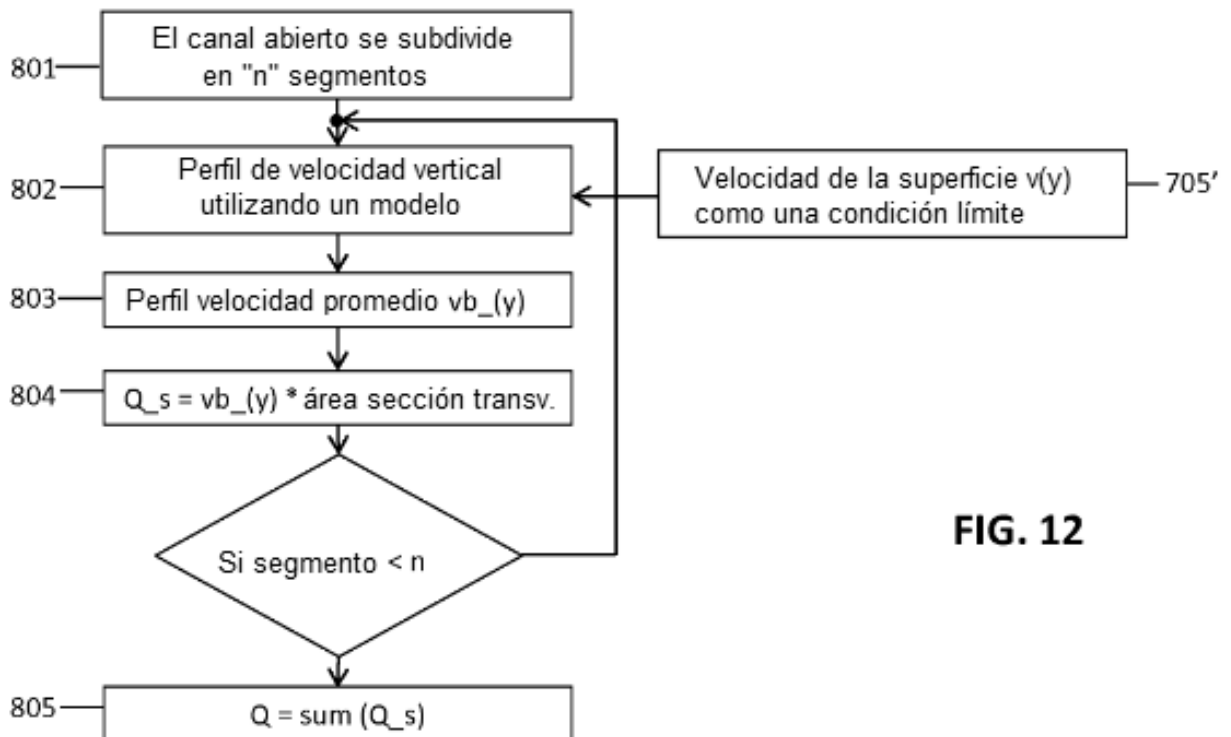


FIG. 8

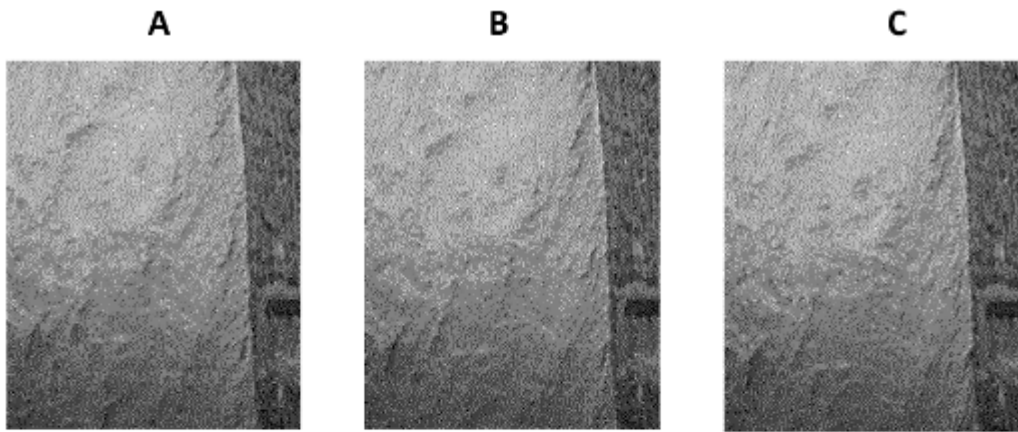




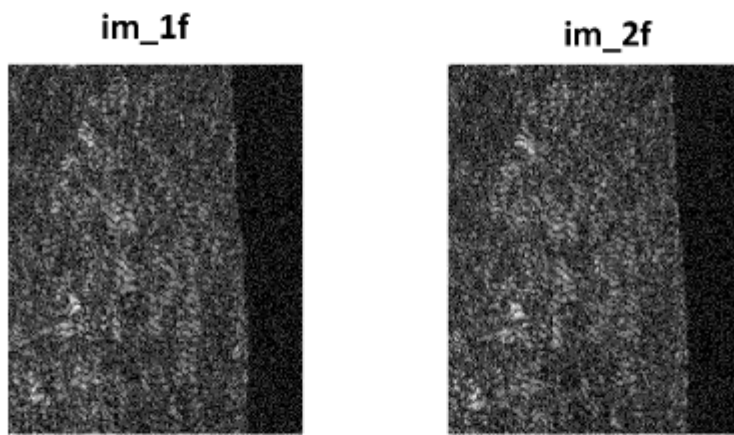
**FIG. 11**



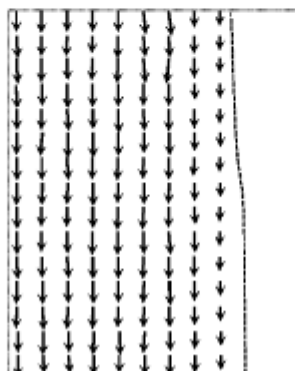
**FIG. 12**



**FIG. 13a**



**FIG. 13b**



**FIG. 13c**