UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

Estimación del caudal a partir de la técnica de velocimetría por imágenes de partículas a gran escala aplicado en flujo a superficie libre

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Bach. Fredy Sandro Rosas Flores

Bach. Shirley Pamela Tejeda Flores

Asesor:

Ing. Ferrer Canaza Rojas

Lima, diciembre 2020

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Ing. Ferrer Canaza Rojas, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **"ESTIMACIÓN DEL CAUDAL A PARTIR DE LA TÉCNICA DE VELOCÍMETRIA POR IMÁGENES DE PARTÍCULAS A GRAN ESCALA APLICADO EN FLUJO A SUPERFICIE LIBRE"** constituye la memoria que presenta los Bachilleres Fredy Sandro Rosas Flores y Shirley Pamela Tejeda Flores para aspirar al título profesional de Ingeniero Civil, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en LIMA, a los 21, diciembre del 2020.

Ing. Ferrer Canaza Rojas

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los 21 días día(s) del mes de **diciembre** del año 2020 siendo las **9:00 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Ing. Reymundo Jaulis Palomino**, el secretario: **Ing. David Diaz Garamendi**… y los demás miembros: **Mg. Leonel Chahuares Paucar**…. y el asesor **Ing. Ferrer Canaza Rojas**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Estimación del caudal a partir de la técnica de velocimetría por imágenes de partículas a gran escala aplicado en flujo a superficie libre"

…….de las bachiller/es: a)…….....**FREDY SANDRO ROSAS FLORES**……..……..……....

…….……...b)……..……**SHIRLEY PAMELA TEJEDA FLORES**……..…..

Conducente a la obtención del título profesional de…….……..……..……..……..

…..…….……..……..……**INGENIERO CIVIL**……..……..……..……..……..…

con mención en……..……..……..……..……..

DEDICATORIA

Con mucho aprecio a Dios, por haberme guiado por el buen camino, a mis padres, hermanos, esposa e hijo por su apoyo incondicional y motivación y finalmente a mi asesor por haber dado parte de su tiempo para el término de esta tesis.

Fredy

Dedico esta investigación a Dios, por brindarme sabiduría y salud, a mis padres, esposo e hijo por su apoyo incondicional y motivación y finalmente a mi asesor por ayudarnos en este proceso desarrollado.

Shirley

AGRADECIMIENTOS

A mis padres: Fredy Meliton Rosas Ccoa y Valentina Flores Maqque por su apoyo incondicional, consejos y palabras de aliento para seguir adelante.

A mi centro de estudios: Universidad Peruana Unión, por haber sido lugar donde me he formado académicamente.

A mis queridos profesores: En especial a mi mentor Ferrer Canaza Rojas por haber compartido parte de su experiencia de vida hacia mi persona y darme buenos consejos.

Al programa de Becas Y Créditos (Pronabec), que me ha dado la oportunidad de estudiar una carrera profesional.

A mis amigos y compañeros de BECA 18, por su apoyo y estar en los momentos más importantes de mi vida.

Fredy

A mis padres: Samuel Tejeda Quincho y Inés Flores Lorenzo por su apoyo incondicional por sus consejos y palabras de aliento para seguir adelante.

A mi esposo e hijo: Fredy Sandro Rosas Flores y Benjamín Vector Rosas Tejeda por la ayuda incondicional.

Al programa de Becas Y Créditos (Pronabec), que me ha dado la oportunidad de estudiar una carrera profesional.

A mi amigos y compañeros de BECA 18, gracias por su apoyo.

Shirley

ÍNDICE

RESUMEN **4**

ABSTRACT **5**

1. INTRODUCCIÓN **5**

2. DESARROLLO **6**

2.1. Técnica experimental no intrusiva de velocimetría por imagenes de particulas 6

2.2. Velocimetría por imágenes de particulas a gran escala 6

2.3. Componentes del sistema LSPIV 6

3. METODOLOGIA **7**

3.1. Estudio de Campo 8

3.2. Extracción de Imagen 10

3.3. Procesamiento de imagenes 10

3.4. Cálculo del caudal 10

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN **11**

4.1. Área del Canal 11

4.2. Velocidad Superficial del flujo 11

4.3. Estimación del Caudal 14

5. CONCLUSIONES **15**

REFERENCIAS **15**

ESTIMACION DEL CAUDAL A PARTIR DE LA TÉCNICA DE VELOCÍMETRIA POR IMÁGENES DE PARTÍCULAS A GRAN ESCALA APLICADO EN FLUJO A SUPERFICIE LIBRE

ESTIMATE OF FLOW FROM VELOCYMETRIA TECHNIQUE BY LARGE-SCALE PARTICLE IMAGING APPLIED IN FREE-SURFACE FLOW

RESUMEN

La medición del caudal siempre ha sido una de las preocupaciones más importantes de los expertos en la hidrología. Las técnicas no intrusivas basadas en imágenes como la velocimetría por imágenes de partículas a gran escala (LSPIV), ofrecen la oportunidad de medir la velocidad en condiciones hidrológicas de crecidas o estiaje. Este estudio tiene como objetivo estimar el caudal a partir de la técnica de velocimetría por imágenes de partículas a gran escala (LSPIV) en flujo a superficie libre. El trabajo consistió en la grabación de videos en tres campañas, luego estas fueron extraídas y procesadas para el cálculo de la velocidad superficial media y finalmente la estimación del caudal, utilizando softwares de código abierto RIVeR y PIVlab. Se obtuvieron perfiles de velocidad para diferentes tipos de trazadores y alturas; los flujos con trazadores de espuma presentaron adecuados perfiles de velocidad, los flujos con trazadores de poli estireno fueron adecuados solo a 2,00m de altura y los flujos sin trazadores presentaron perfiles adecuadas solo a 1,50m, el producto de la velocidad superficial media, área y coeficiente de velocidad media da como resultados caudales para cada caso estudiados. En conclusión, los trazadores de espuma de jabón líquido presentó mayores caudales, debido a la adecuada definición de la curva de perfil de velocidad y las mayores magnitudes de vectores de velocidad. Por lo tanto, la técnica LSPIV mostró ser sencilla, adaptable y asequible para conocer velocidades y caudales del flujo.

***Palabras clave**: técnica LSPIV; medición hidrológica; hidrodinámica.*

ABSTRACT

Flow measurement has always been one of the most important concerns of hydrology experts. Non-intrusive image-based techniques such as Large-Scale Particle Imaging Velocimetry (LSPIV), offer the opportunity to measure velocity under hydrological conditions of flood or low water. This study aims to estimate the flow from the technique of large-scale particle imaging velocimetry (LSPIV) in free surface flow. The work consisted of recording videos in three campaigns, then these were extracted and processed to calculate the average surface velocity and finally the flow estimation, using open source software RIVeR and PIVlab. Speed profiles were obtained for different types of tracers and heights; flows with foam tracers presented adequate speed profiles, flows with polystyrene tracers were suitable only at 2.00m height and flows without tracers presented adequate profiles only at 1.50m, the product of the average surface speed, area and average speed coefficient gives the flow rate results for each case studied. In conclusion, liquid soap foam tracers presented higher flows, due to the adequate definition of the speed profile curve and the higher magnitudes of speed vectors. Therefore, the LSPIV technique proved to be simple, adaptable and affordable to know flow speeds and flows.

Keywords: LSPIV technique; hydrological measurement; hydrodynamics

1. INTRODUCCIÓN

El caudal es la medida de la hidráulica fluvial más común, siendo el principal parámetro para caracterizar la dinámica de un rio o un canal. Por ello una medición precisa de la velocidad es un asunto de importancia en los procesos hidrológicos. Las estaciones de medición de corrientes se han utilizado como un método de medición del flujo en canal abierto durante más de 100 años [1], utilizando tecnologías intrusivas basados en instrumentos mecánicos (Perfilador de Corriente Doppler Acústico, correntómetros, molinetes, etc.). Sin embargo, la medición del flujo en el campo puede ser bastante desafiante, según el sitio y las condiciones.

Las primeras aplicaciones de campo del método velocimetría de imágenes de partículas a gran escala (LSPIV, por sus siglas en inglés) fue en la década 1990. Desde entonces, es una técnica no intrusiva que se utiliza para medir velocidades instantáneas. Este método prevé el análisis euleriano del desplazamiento de los trazadores debido a que obtiene los campos de velocidades del flujo comparando el desplazamiento promedio de patrones o grupos de partículas en un sector definido de una imagen [2].

El procesamiento de la información se realiza utilizando los programas computacionales de RIVeR (Rectification of image velocity results) y PIVlab (Particle image velocimetry) para la caracterización del fluido. En ese sentido el objetivo de la investigación fue estimar el caudal a partir de la técnica de velocimetría por imágenes de partículas aplicado en flujo a superficie libre en tres campañas: c/s trazadores (poli estireno expandido de 1/2” y espuma de jabón

líquido) y a diferentes alturas (0.50, 1.00,1.50 y 2.00m).

2. DESARROLLO

2.1.Técnica experimental no intrusiva de velocimetría por imágenes de partículas

En la actualidad existen muchas técnicas experimentales denominadas técnicas no intrusivas como la Velocimetría por imágenes de partículas (PIV por su sigla en inglés). El PIV ha sido utilizado por más de 30 años en experimentos de laboratorio de hidráulica. Esta técnica permite medir el campo instantáneo de velocidades en un plano del fluido utilizando el procesamiento de imágenes. La primera etapa de análisis es el pre procesamiento que consiste en medir la velocidad de las partículas trazadores en al menos dos imágenes sucesivas [3]. La segunda etapa es la implementación del método de las interrogación de las imágenes, que consiste en extraer ventanas de interrogación de un par de imágenes [4].

2.2.Velocimetría de por imágenes de partículas a gran escala (LSPIV)

Velocimetría por imágenes de partículas a gran escala se desarrolló a partir del PIV. Desde entonces, se ha convertido en una herramienta ampliamente utilizada en la ingeniería de la hidráulica, debido a su sencilla adaptabilidad y costos razonables [5]. Esta técnica no intrusiva permite cuantificar el caudal del flujo de rio a partir de una grabación de video, realizadas principalmente en condiciones hidrológicas extremas (crecidas y estiaje), donde los métodos tradicionales ya no son aplicables [6].

2.3.Componentes del sistema LSPIV

Visualización, iluminación y grabación del flujo. Existen recomendaciones de estos componentes ya sean en ambientes externos o laboratorios. El primero corresponde al reflejo de la luz generado por la luz natural y el segundo al sembrado de trazadores naturales o artificiales (troncos, hojas, etc.), puede existir factores adversos al grabar durante fuertes vientos y estos pueden modificar los resultados [7]. La obtención de campos de velocidad y la precisión está en función de las condiciones ambientales, trazadores y la posición de la cámara.

Procesamiento de imágenes. El software de código abierto PIVlab, permite la aplicación del PIV clásico en una serie de imágenes, que dependerá de la información deseada y tipo de trazadores, este proceso incluirá filtros para la mejora de las imágenes (CLAHE), aumentando la probabilidad de detectar vectores válidos. Los desplazamientos de las partículas se calculan mediante el uso de algoritmo transformada de Fourier Discreta (DFT). El algoritmo DFT utiliza

múltiples pasadas y ventanas gradualmente deformadas de mayor a menor tamaño (128x128, 64x64 y 28x28 pixeles), hasta obtener campos distribuidos de velocidades entre pares de imágenes. [9]

Ortorectificacion de la imagen. En las imágenes registradas en la superficie de ríos o canales generalmente se utilizan un ángulo oblicuo al plano de la superficie. Para la ortorectificacion es necesario de los puntos de control (por ejemplo, arboles postes, piedras), y ser exportadas al software (RIVeR), esta es una herramienta que puede vincular el sistema de coordenadas del mundo real con su proyección 2d en el plano de la imagen [10].

Resultados de la medición y precisión. La velocidad de superficie LSPIV junto con la batimetría puede proporcionar caudales. El caudal calculado Qs no es el caudal real Q porque se calcula utilizando los campos de velocidad superficial. La relación teórica que es utilizado para canales de concreto es el coeficiente de velocidad media α=0.90 [11].

3. METODOLOGIA

La zona de estudio se localiza en la progresiva 0+020 del "Canal de derivación Carapongo bajo". Ubicado en la margen derecha del rio Rímac, provincia de Lima-Perú. Su función es derivar parte del caudal del Rio Rímac para abastecer la zona agrícola de Carapongo. La estructura es de sección trapezoidal y revestida de concreto.

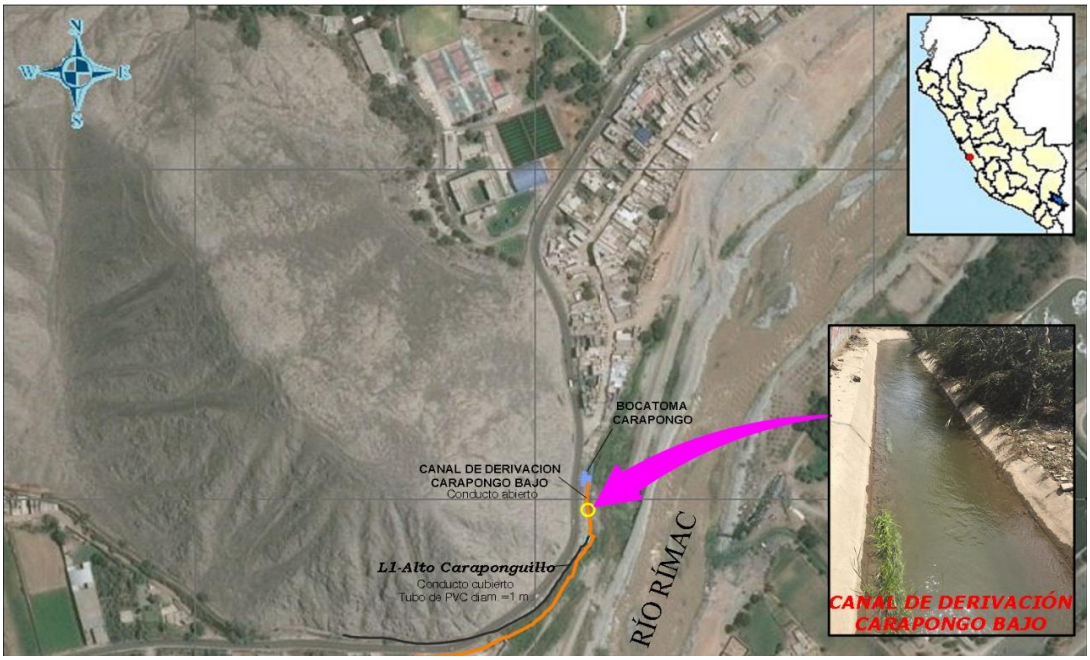

Figura 1. *Ubicación Geográfica de la zona de estudio. Fuente: Los Autores*.

La investigación presenta un diagrama de flujo de los procesos que se desarrollaron durante los estudios de campo, extracción de imagen, procesamiento de imágenes para la estimación de velocidades superficiales y finalmente obtenemos del caudal para cada caso.

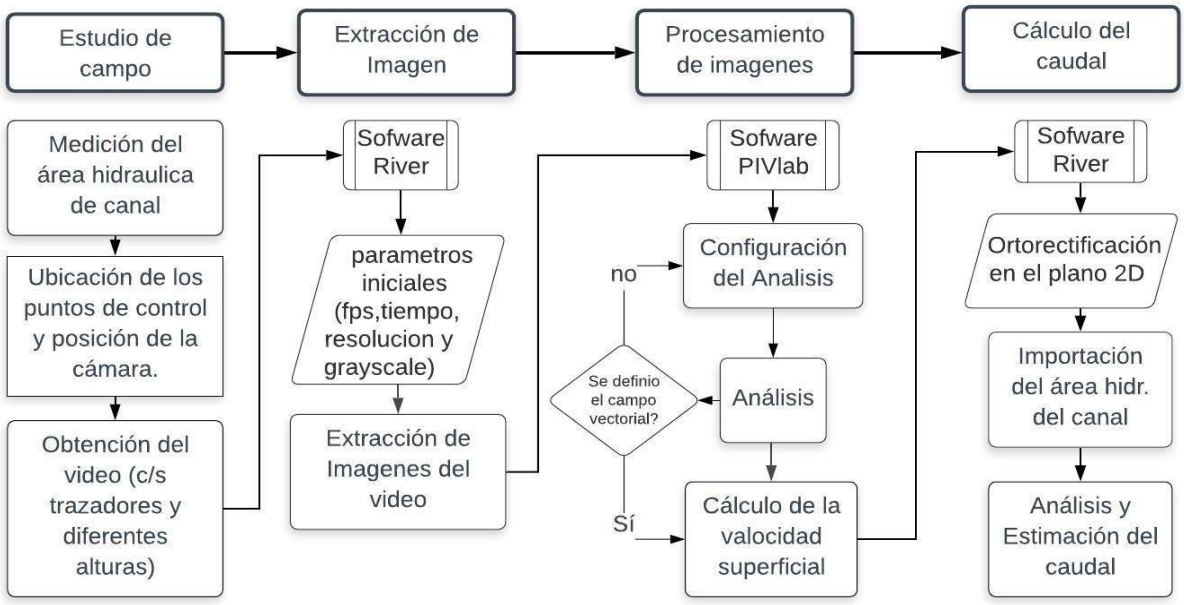

Figura 2. *Diagrama de Flujo de la Metodología para la Estimación del Caudal. Fuente: Los autores.*

3.1.Estudio de Campo

La primera fase del trabajo consistió en las mediciones de elementos geométricos de la sección transversal del canal y la identificación de los puntos de control. La ubicación de los puntos de control (CP), deben estar intersecado con el espejo del agua y la superficie del canal [12], estas distancias se midieron en campo incluyendo los diagonales (Figura 3b). La instalación de la cámara fue en el margen derecho del canal a alturas de 0.50, 1.00, 1.50 y 2.00 metros (figura 4a), adecuando una posición oblicua al plano de la superficie libre, para ello se utilizó un soporte universal de celular iPhone 6s que permite enfocar los puntos de control (CP). Durante el desarrollo de este proyecto se realizaron tres campañas de medición, como se observa en la tabla 1, donde las condiciones climáticas de viento y la luz solar fueron variables en la zona de estudio.

Tabla 1. *Campañas de medición con el método LSPIV.*

Fecha de Medición	**Sitio de medición**	**Clima**	**Tipo de Trazador**		**Sin trazador**
			Poli estireno expandido	Espuma de Jabón	
7/10/2020	Canal	Soleado, reflejo	x	x	x
8/10/2020	Canal	Sombra, viento	x	x	x
9/10/2020	Canal	Soleado, viento fuerte, reflejo	x	x	x

La grabación consta de 36 videos: sin trazador, esferas de poli estireno expandido de 1/2” y espuma de jabón líquido (Figura 3a), con duración de 40s cada uno. Los trazadores deben ser sembrado homogéneamente y sin aglomeración, con el objetivo de caracterizar la superficie del flujo (Figura 4) [13]. En todas las mediciones los trazadores de poli estireno expandido fueron recogidas aguas abajo posteriormente a la filmación.

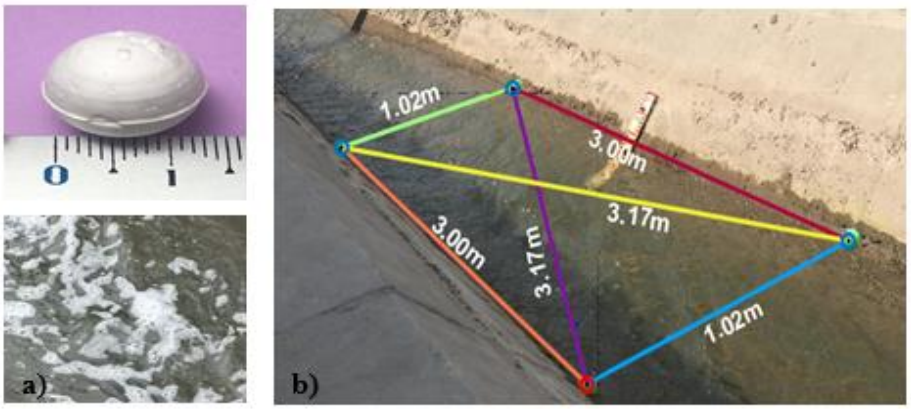

Figura 3. *a) Trazadores utilizados para caracterizar el campo de velocidad; b) Puntos de Control(PC), en la superficie del flujo en la fecha 9/10/2020. Fuente: Los Autores.*

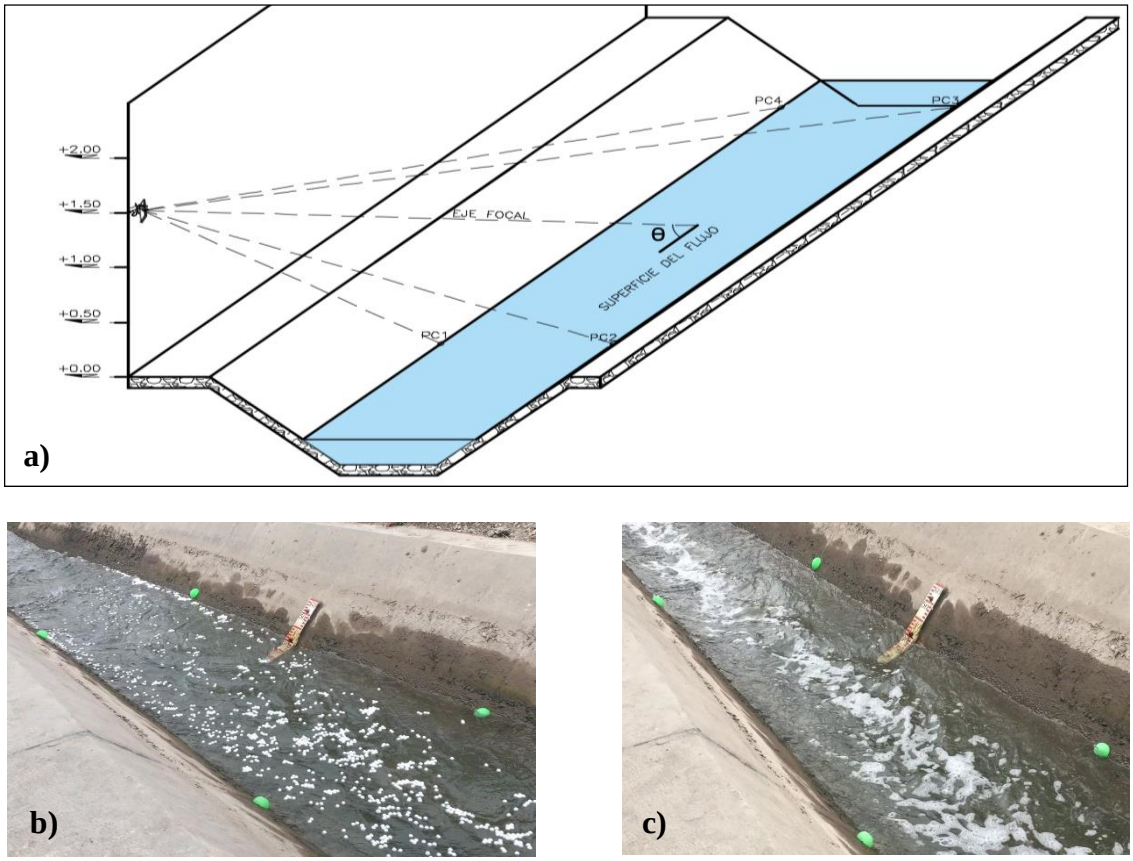

Figura 4. *a) Grabación a diferentes alturas- ángulos. b) Sembrado con trazadores de esferas de poli estireno expandido de ½” c) Sembrado con trazadores de espuma de jabón líquido. Fuente: Los autores.*

3.2.Extracción de imagen

La extracción de las imágenes del video se realizó con el software RIVeR considerando los parámetros iniciales que la cámara registra (video de alta definición con una resolución 3840:2100 pixeles a 30 fps). Esta fase consiste en convertir un video de 10s a 30fps obteniendo 300 imágenes para el procesamiento [10].

3.3.Procesamiento de imágenes

El procesamiento de imágenes consistió en importar todas las imágenes extraídas para el análisis en el software PIVlab. Se configuró el análisis, seleccionando la región de interés donde sea visible los puntos de control (CP) [14]. Se definió las dimensiones de las áreas de interrogación, con tres pasadas gradualmente (256 x 256, 128x128 y 64 x 64 píxeles), para una mayor precisión del método. Luego, se seleccionó las velocidades que estuvieron dentro del rango común, eliminando los vectores erróneos, finalmente se calculó el campo vectorial promedio también llamado vectores de velocidad promedio (velocidad media superficial del flujo (px/fr)).

3.4.Cálculo del caudal

El cálculo del caudal se trabajó con el software RIVeR donde se ortorectifica la velocidad superficial media del flujo (px/fr a m/s), para ello se requiere importar los puntos de control (CP) Figura 3b, seleccionar el región de interés y definir el tiempo de frecuencia entre imágenes [12], en la Figura 5 se presenta un ejemplo de ortorectificacion de los vectores de velocidad, obteniendo el vector de velocidad promedio(m/s), luego se importó el área de la sección del canal y se empleó el coeficiente de velocidad media α=0.90 para canales de concreto [15]. Finalmente, se estima el caudal.

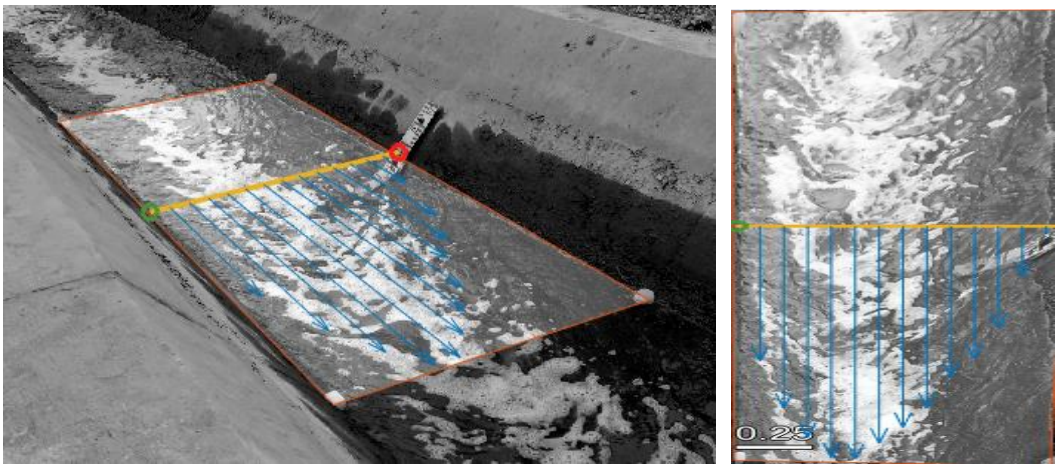

Figura 5. *Ejemplo de ortorectificacion en la zona de interés con el software RIVeR. Fuente: Software RIVeR.*

4. RESULTADOS

4.1.Área del canal

En la Tabla 1 se expresa los elementos geométricos e hidráulicos medidos del canal, las cuales son importantes para la determinación del caudal.

Tabla 2. *Elementos geométricos e hidráulicos del canal trapezoidal.*

Fecha de medición	Base del canal(m) b	Profundidad total del canal(m) H	Talud (m) z	Ancho de Corona(m) C	Tirante (m) y	Espejo de Agua (m) T
7/10/2020	0,60	0,85	1	0,55	0,23	1,05
8/10/2020	0,60	0,85	1	0,55	0,22	1,04
9/10/2020	0,60	0,85	1	0,55	0,21	1,02

4.2.Velocidad Superficial del flujo

La figura 6 y 7 son perfiles de velocidad media con tendencia hacia la derecha, debido a la progresiva del punto de estudio, ésta se encuentra ocho metros después de una curva horizontal, formando fuerzas de inercia en el flujo de recuperación lenta. Además, las curvas de los perfiles no fueron detectadas en todo el ancho del espejo de agua, debido a las diferentes condiciones para la grabación durante las campañas.

La figura 6 muestra la comparación de los flujos con trazadores (ESPU, POLI) y sin trazadores (SINT) en cada altura grabada. El flujo sin trazadores SINT a 0.50m presenta un perfil de velocidad achatada y magnitudes de velocidad menores, sin embargo, los flujos con la adición de trazadores como: ESPU y POLI, presentaron vectores de velocidad con mayores valores, pero con una caracterización poco precisa en los perfiles de velocidad. Los flujos estudiados a 1.00m de altura mejora significativamente en la descripción de los perfiles de velocidad, sin embargo, las magnitudes de velocidades se ven reducidas en cada punto de la estación. Los flujos estudiados a 1.50m de altura presentan buena caracterización en los perfiles de velocidad, mejorando los valores de las magnitudes de velocidad en todos los casos estudiados. Los flujos estudiados a 2.00m de altura presentan curvas perfectas como perfiles de velocidad para los casos ESPU y POLI, sin embargo, la curva SINT sigue siendo achatada y con menores valores de magnitud de velocidad. Cabe destacar que a esta altura se encuentran las máximas velocidades encontradas en todo el estudio.

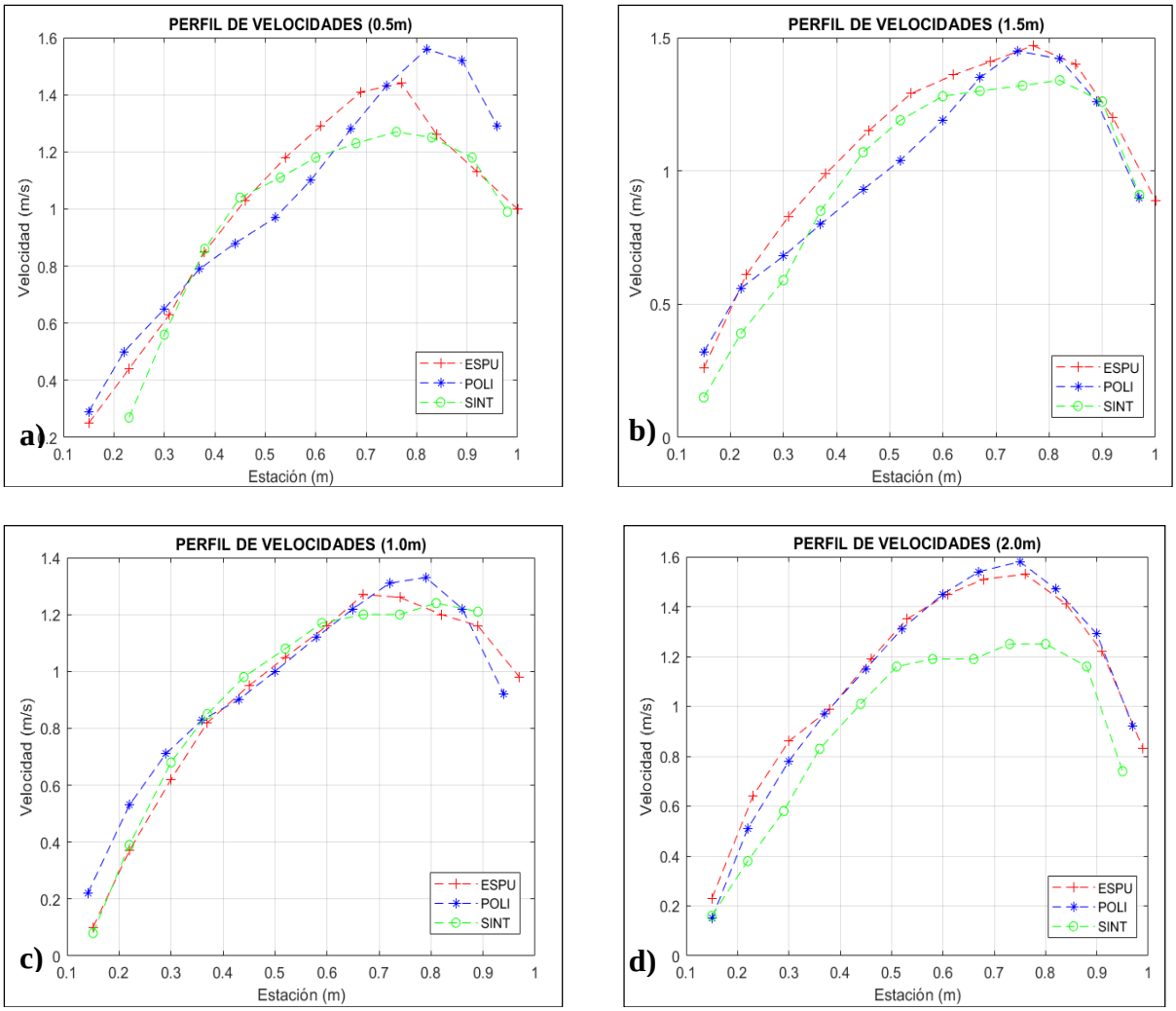

Figura 6. *Ejemplo de Perfiles transversales de velocidades superficiales medidos con espuma de jabón líquido, sin trazadores y poli estireno expandido de 1/2" en el canal trapezoidal en el día 9/10/20. Fuente: Los autores.*

La figura 7 muestra el comportamiento de los perfiles de velocidad superficial media del flujo para los trazadores ESPUMA, POLI y ESPU para alturas de (0.50, 1.00, 1.50 y 2.00m). Se observa qué en la figura 7a las curvas de 1.50 y 2.00m presentan un perfil de velocidades mejor definidas y con magnitudes vectoriales mayores en cada punto de la estación. La figura 7b muestra las curvas de 0.50, 1.00 y 1.50m con un comportamiento similar de curvas poco precisas, sin embargo, en 2.00m se observa una curva adecuada para el flujo, garantizando una estimación confiable de velocidad. La figura 7c muestra curvas similares, ni una de ellas tiende a ser parabólica, todas son achatadas y con un punto en común en la estación de espejo de agua en 0.75m debido a la sombra que presentaba la región grabada, sin embargo, de todas ellas la que presenta mayores magnitudes vectoriales es la curva 1.50m debido a la adecuada oblicuidad de la cámara que detecta las turbulencias, rugosidad y ondas del flujo.

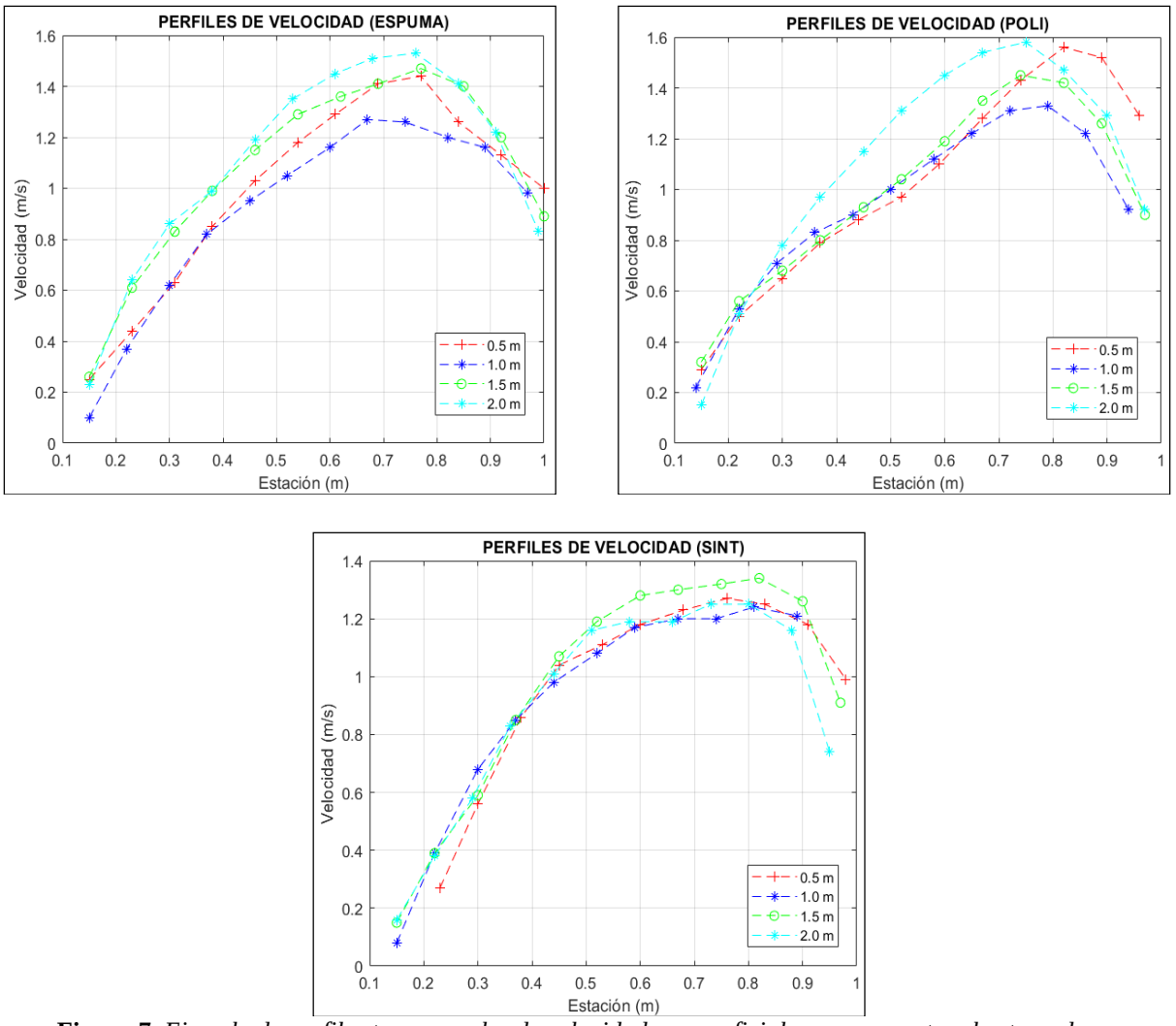

Figura 7. *Ejemplo de perfiles transversales de velocidades superficiales con respecto a los trazadores y alturas. Fuente: Los autores.*

La caracterización de los perfiles de velocidad superficial media depende de factores como la adecuada siembra de trazadores, ángulo oblicuo de la cámara y la iluminación.

Las partículas esparcidas en la superficie del flujo son utilizadas para calcular el vector de velocidad. El resultado de las curvas de velocidades de poli estireno expandido muestra una curva con cambios súbditos, pendientes pronunciados poco precisos de velocidad por la presencia de aglomeración de partículas inducidas por la fuerza de atracción electrostática y por las bajas velocidades del flujo en los extremos del espejo de agua. S. F. Dal Sasso [16] indica que las fuentes de error no solo están en la aglomeración de los trazadores, sino también en la influencia de resistencia del aire en dirección opuesta al flujo.

Las curvas sin trazadores presentan menores magnitudes de velocidad debido principalmente al seguimiento inexacto de las partículas naturales, reflejos de luz en el agua que durante el procesamiento se identifican como partículas de trayectorias irregulares y perdidas de patrón

de movimiento en los siguientes fotogramas, además las condiciones de iluminación en el estudio no fueron homogéneas (la sombra del canal divide el campo de visión en dos regiones, la derecha más brillante y la izquierda más oscura). Así mismo F.Tauro [17] menciona que la iluminación puede sesgar las estimaciones y dar lugar a velocidades irreales.

Las alturas y la orientación de la cámara generan campos de visión oblicuo en este estudio. En alturas de 1.50m y 2.00m muestran curvas de perfiles adecuadas para flujos con trazadores de espuma y poli estireno, sin embargo, para alturas de 0.50m y 1.00m los errores se reflejan no solo en la caracterización inadecuada de los perfiles de velocidad sino también en las bajas magnitudes de vectores de velocidad. Estos mismo errores encontró AA. Harpold [18], sobre la posición de la cámara para ángulos menores a 15° debido a las pérdidas de vectores fuera de plano.

4.3.Estimación del Caudal

La tabla 4 muestra los resultados de la medición de velocidades medias y caudales, realizadas en distintas fechas, utilizando dos tipos de trazadores y sin trazador, grabadas a diferentes alturas.

Tabla 3. *Resumen velocidades y caudales medidos en diferentes casos.*

Altura (m)	**Tipo de trazador**	**MEDICIONES**								
		07/10/2020			08/10/2020			09/10/2020		
		Área (m2)	Vm (m/s)	Q (m3/s)	Área (m2)	Vm (m/s)	Q (m3/s)	Área (m2)	Vm (m/s)	Q (m3/s)
0,50	Espuma	0,19	0,90	0,17	0,18	0,90	0,16	0,17	0,90	0,15
	Poli est.	0,19	0,88	0,16	0,18	0,66	0,12	0,17	0,91	0,15
	Sin trazad.	0,19	0,89	0,16	0,18	0,79	0,14	0,17	0,83	0,14
1,00	Espuma	0,19	0,97	0,18	0,18	1,04	0,19	0,17	0,84	0,14
	Poli est.	0,19	0,90	0,17	0,18	0,93	0,17	0,17	0,85	0,14
	Sin trazad.	0,19	0,94	0,17	0,18	0,94	0,17	0,17	0,91	0,15
1,50	Espuma	0,19	1,00	0,19	0,18	1,06	0,19	0,17	0,98	0,17
	Poli est.	0,19	0,84	0,16	0,18	0,81	0,15	0,17	0,90	0,15
	Sin trazad.	0,19	0,95	0,18	0,18	0,96	0,17	0,17	0,90	0,15
2,00	Espuma	0,19	0,97	0,18	0,18	1,03	0,19	0,17	1,02	0,17
	Poli est.	0,19	0,84	0,16	0,18	0,86	0,16	0,17	1,02	0,17
	Sin trazad.	0,19	0,97	0,18	0,18	0,94	0,17	0,17	0,84	0,14

El producto de velocidad superficial media, coeficiente de velocidad media y el área de la sección da como resultado el caudal en cada caso de este estudio. La variación de los valores en caudales por campaña, se debe principalmente a dos factores: la altura de grabación y el sembrado de trazadores, sin embargo, también hay otras como: viento y el reflejo del sol, que incidieron directamente al flujo, estos factores reducen los valores de velocidad media y por consiguiente al caudal.

5. CONCLUSIONES

La aplicación de la técnica LSPIV, requiere una comprensión completa de principios y parámetros involucrados en el procesamiento, orientación de la cámara y sembrado de trazadores, así como el flujo sometido con el ambiente (reflejos y vientos). Los resultados obtenidos con la técnica de velocimetría por imágenes a gran escala muestran características similares con los diferentes casos evaluados.

La determinación del área de interrogación para imágenes de resolución 4K fueron de suma importancia reduciendo cuadros de 512px hasta los 64px, para aminorar vectores de velocidad erróneos y aumentar la precisión del método estudiado.

LSPIV, demostró ser más efectivo utilizándose partículas trazadoras de espuma de jabón líquido, presentado perfiles de velocidad media de parábolas regulares y con magnitudes mayores en distintas condiciones climáticas y de altura. La altura de grabación del video es un factor muy importante si se va realizar la grabación sin el uso de partículas trazadoras, sin embargo, en los casos de flujos con trazadores y condiciones climáticas poco agresivas pueden ser poco importantes.

6. REFERENCIAS

[1] F. P. H. John E. Costa, Kurt R. Spicer, Cheng, “Measuring stream discharge by non-contact methods: Aproof-of-concept experiment,” vol. 5, no. 4, pp. 1–2, 2000.

[2] A. Mag, I. Nicolás, and F. Guillén, “Optimización del diseño hidrológico e hidráulico utilizando LSPIV Optimización del diseño hidrológico e hidráulico utilizando LSPIV,” 2019.

[3] R. Bardera Mora, Aplicación del PIV a la medida del coeficiente de resistencia aerodinámica, Madrid. Universidad Complutense de Madrid, 2009.

[4] J. E. C. Gutiérrez, “Evaluacion y Aplicación de la Tecnica de LSPIV para estimar la velocidad superficial en obras hidráulicas,” Inst. Politec. Nac., p. 117, 2012.

[5] R. J. Adrian, “Twenty years of particle image velocimetry,” Exp. Fluids, vol. 39, no. 2, pp. 159–169, 2005.

[6] Hidrologia and E. e I. Hidrologicas, Estudios Hidrológicos del Senamhi, © Servicio. 2020.

[7] F. Tauro, “Particle tracers and image analysis for surface flow observations,” Wiley

Interdiscip. Rev. Water, vol. 3, no. 1, pp. 25–39, 2016.

[8] M. Schuth and W. Buerakov, Particle Image Velocimetry. 2017.

[9] W. Thielicke and E. J. Stamhuis, “PIVlab – Towards User-friendly, Affordable and Accurate Digital Particle Image Velocimetry in MATLAB,” J. Open Res. Softw., vol. 2, 2014.

[10] A. Patalano, C. M. García, and A. Rodríguez, “Rectification of Image Velocity Results (RIVeR): A simple and user-friendly toolbox for large scale water surface Particle Image Velocimetry (PIV) and Particle Tracking Velocimetry (PTV),” Comput. Geosci., vol. 109, no. December, pp. 323–330, 2017.

[11] W. Plant, “Streamflow Properties from Time Series of Surface Velocity and Stage,” vol. 9429, no. May, 2020.

[12] F. M. Crivello, “Caracterizacion de flujos en modelos fisicos y prototipos usando tecnicas de velocimetria avanzadas(LSPIV, LSPTV Y ADV),” no. 1, pp. 1–2, 2018.

[13] J. C. G. Serge Tamari, “Informe final del Proyecto de Evaluación de la técnica de LSPIV para estimar la velocidad superficial del agua en obras hidráulicas,” p. 56 p, 2011.

[14] S. Creëlle, R. Roldan, A. Herremans, and Meire, “Validation of large-scale particle image velocimetry to acquire free-surface flow fields in vegetated rivers,” J. Appl. Water Eng. Res., vol. 6, no. 3, pp. 171–182, 2018, [Online].

[15] A. P. Lobo, “Implementacion de la tecnica experimental de velocimetria por sequimiento departiculas(PTV) para cuantificar el recurso hidrico superficial en cursos fluviales de la provincia de catamarca,” p. 240, 2019.

[16] S. F. Dal Sasso, A. Pizarro, C. Samela, L. Mita, and S. Manfreda, “Exploring the optimal experimental setup for surface flow velocity measurements using PTV,” Environ. Monit. Assess., vol. 190, no. 8, 2018.

[17] F. Tauro, G. Olivieri, A. Petroselli, M. Porfiri, and S. Grimaldi, “Flow monitoring with a camera: a case study on a flood event in the Tiber River,” Environ. Monit. Assess., vol. 188, no. 2, pp. 1–11, 2016.

[18] T. D. A.A. Harpold, S. Mostaghimi, P.P. Vlachos, K. Brannan, “Stream discharge measurement using a large-scale particle image Velocimetry(LSPIV) prototype,” vol. 49, no. 6, pp. 1791–1806, 2006.