

LABORATORIO DE FÍSICA EN EL CONTEXTO DE COVID-19: EXPERIMENTO DE TUBO DE VENTURI CONTROLADO REMOTAMENTE MEDIANTE APLICACIÓN PARA DISPOSITIVOS MÓVILES

Physics laboratory in the context of COVID-19: Venturi tube experiment controlled remotely through an application for mobile devices.

Alfredo Lisboa [alfredo.navarro@usm.cl]
Luis Rosales [luis.rosalesa@usm.cl]
Javiera Sánchez [javiera.sancheze@usm.cl]
*Universidad Técnica Federico Santa María
Av. España 1680, Valparaíso - Chile*

Recebido em: 31/08/2023

Aceito em: 25/11/2023

Resumen

En este reporte, presentamos una experiencia de laboratorio remoto diseñada en el contexto de la pandemia de COVID-19, en la cual se implementó un experimento altamente confiable de tubo de Venturi, controlado de manera remota a través de un dispositivo móvil. Aquí presentamos detalles técnicos, la configuración, los resultados experimentales obtenidos por los estudiantes y las metodologías de enseñanza-aprendizaje. Vale la pena mencionar la simplicidad de la configuración, el bajo costo de la implementación y la versatilidad del experimento propuesto, esto junto con el bajo porcentaje de errores experimentales en comparación con el experimento en el lugar físico.

Palabras clave: experimentos remotos, laboratorios remotos, fluidos, tubo de Venturi, COVID-19.

Abstract

In this report, we present a remote laboratory experience designed in the context of the COVID-19 pandemic, in which a highly reliable Venturi tube experiment, remotely controlled through a mobile device, were implemented. Here we present technical details, the setup, experimental results obtained by the students and teaching-learning methodologies. It is worth to mention the simplicity of the setup, the low cost of the implementation, and the versatility of the proposed experiment, this together with the low percentage of experimental errors, in comparison with the onsite experiment.

Keywords: remote experiments, remote labs, fluids, Venturi tube, COVID-19.

I. INTRODUCCIÓN

La educación a distancia y el teletrabajo han llegado antes de lo que podríamos haber planificado. El mundo entero se encontraba en una extensa pandemia que nos obligó a replantear las prácticas educativas y a reflexionar sobre cuáles son las habilidades científicas que deseamos que nuestros estudiantes desarrollen. En marzo de 2020, iniciamos un confinamiento como resultado del COVID-19. Sin embargo, en Chile las clases a distancia comenzaron unos meses antes. En octubre de 2019 una serie de manifestaciones sociales paralizó gran parte del país. El alto grado de violencia en las calles durante este llamado “estallido social”, provocó que las instituciones educativas comenzaran a implementar clases a distancia como medida de seguridad e integridad para sus estudiantes y trabajadores.

Con la suspensión de las actividades educativas presenciales, uno de los principales componentes de la educación científica, la formación experimental, se vio fuertemente afectado debido a que los estudiantes estaban imposibilitados de acudir a los laboratorios universitarios para llevar a cabo sus actividades prácticas. Fue así como las clases remotas fueron implementadas, donde variadas herramientas virtuales se adoptaron para facilitar la enseñanza ante esta interrupción inesperada. Esto representó un gran desafío para los profesores, quienes tuvieron que buscar alternativas y soluciones rápidas que permitieran promover el desarrollo de habilidades y destrezas científicas en los estudiantes para alcanzar los resultados de aprendizaje de cada asignatura, del mismo modo que señala Pérez, et al. (2013). En este contexto, una de las opciones más exploradas fue la utilización de las simulaciones computacionales *PhET* de la Universidad de Colorado (2020), que están disponibles de forma gratuita y abarcan una amplia gama de temas de Física. Otra alternativa plausible es *Pivot Interactive* (2021), que consta de una serie de videos grabados con diferentes valores de variables físicas y la posibilidad de incorporar instrumentos para llevar a cabo algunas mediciones.

Finalmente, existe la opción de realizar experimentos físicos controlados de forma remota, como los realizados por Koike (2018) y Mendes, et al (2016). Estos son experimentos reales controlados en tiempo real a través de internet, mediante una plataforma web en la que ciertas cantidades físicas pueden ser modificadas y manipuladas. Por ejemplo, nuestra institución forma parte del proyecto *World Pendulum Alliance*, co-fundado por el Programa *Erasmus+* de la Unión Europea y liderado por el Instituto Técnico de Lisboa (Santos, Rodríguez, et al, 2019), enmarcado en ámbito de la educación superior. El objetivo del proyecto es mejorar la calidad de la educación superior en los campos de las matemáticas y la ciencia, desplegando una red global de péndulos controlados de forma remota.

Los principales desacuerdos entre los educadores sobre el aprendizaje de las ciencias en línea versus el aprendizaje tradicional, se centran en la efectividad del proceso de enseñanza y aprendizaje entre los laboratorios tradicionales contra los no tradicionales, entendiendo los laboratorios tradicionales como actividades presenciales y los no convencionales como aquellos principalmente basados en una serie de actividades virtuales utilizando simulaciones computacionales, laboratorios remotos sincrónicos y asincrónicos, plataformas virtuales, entre otras estrategias. Existen varios informes que han demostrado que ambas estrategias tienen una efectividad similar. Por ejemplo, un estudio extenso y completo publicado por Brinston (2015), en el cual se analizaron 56 trabajos en términos de varios aspectos, tales como: conocimiento y comprensión del contenido científico, habilidades prácticas, percepción de los estudiantes e instructor y habilidades científicas, entre otros. Aunque no todos los trabajos evaluaron estos aspectos al mismo tiempo, la gran mayoría de ellos indican que el logro de los resultados de

aprendizaje de los estudiantes es igual o superior cuando se realizan laboratorios remotos en comparación con los laboratorios tradicionales.

La principal diferencia entre los laboratorios remotos y los presenciales radica en la distancia entre el experimento y el experimentador; tal como indican Ma y Nickerson (2006) en los experimentos remotos, la realidad está mediada por la distancia. Dentro de sus ventajas está el acceso a estos experimentos en cualquier momento y desde cualquier lugar que tenga conexión a internet. Estos recursos pueden ser compartidos en la web y con otras instituciones, al respecto se pueden mencionar trabajos como los de Alamo, et al (2002); Gillet, Crisalle & Latchman (2000); Harris & Dipaolo (1996); Shachar & Neumann (2010) y USDOE (2010). Además, los laboratorios remotos brindan la oportunidad para que los estudiantes realicen trabajos colaborativos, permitiendo la comunicación entre ellos de manera sincrónica y, por ende, fomentando el aprendizaje entre pares, lo cual no solo ha sido demostrado que mejora el rendimiento y el dominio del contenido (Slavin, 1989; Mohammed, 2021), sino que también contribuye al desarrollo de un buen ambiente en el aula (Kagan, 1989).

A partir de la idea de que el laboratorio deber ser lo más auténtico posible para los estudiantes y que el experimento debe presentarse como un experimento “real” llevado a cabo en un entorno de un laboratorio tradicional, como señalan Gröber, et al (2007), es que el Departamento de Física de la Universidad Técnica Federico Santa María, optó por implementar laboratorios remotos para la asignatura de Física General III (Calor y Ondas). En los experimentos remotos, un montaje experimental se lleva a cabo con equipos ubicados en un recinto físico de la universidad, pero que son manipulados a distancia, en tiempo real, a través del uso de internet y por medio de una plataforma web en la cual se pueden modificar y manipular parámetros del montaje experimental y medir resultados. Los montajes experimentales cuentan con una o varias cámaras que transmiten en tiempo real el fenómeno a estudiar y los cambios observados en el proceso de manipulación de variables. Investigaciones como la realizada por Castro, et al (2013) han encontrado soluciones bastante útiles en los laboratorios de física, utilizando un teléfono inteligente como instrumento de medición. Sin embargo, la particularidad de la experiencia que hemos desarrollado radica en que el experimento remoto se controla mediante una aplicación para dispositivos móviles, lo que facilita el acceso a la experiencia dado que en la actualidad todos nuestros estudiantes cuentan con este tipo de dispositivo (teléfonos inteligentes, tabletas, computadoras). El bajo costo de este experimento remoto lo hace asequible para su implementación de manera rápida.

II. MODELO Y CONFIGURACIÓN EXPERIMENTAL

La experiencia implementada utiliza un tubo de Venturi por el cual circula agua. Es sabido que un tubo de Venturi es un dispositivo de medición de rapidez de un fluido dentro de un tubo, que tiene amplias aplicaciones en los campos de la ingeniería. Los aspectos teóricos para el análisis se pueden encontrar en los textos de Young & Freedman (2008) y Serway & Jewett (2004). El modelo de tubería que ha sido implementado se muestra en la Figura 1. Aplicando las ecuaciones de Bernoulli y continuidad para el análisis del sistema, se obtiene que la diferencia de altura Δh como función del caudal, genera una relación del tipo:

$$\Delta h(Q) = \frac{1}{2g} \left(\frac{1}{A_2^2} - \frac{1}{A_1^2} \right) Q^2 \quad (1)$$

Donde Q corresponde al caudal que circula a través del tubo de Venturi, g es la aceleración de gravedad, y A_1 y A_2 son las áreas de las secciones estrecha y ancha del tubo, respectivamente. Por lo tanto, es posible agrupar todos los términos constantes en:

$$k = \frac{1}{2g} \left(\frac{1}{A_1^2} - \frac{1}{A_2^2} \right) \quad (2)$$

Se contruyó un circuito cerrado de circulación de agua compuesto por un depósito de almacenamiento de agua, una bomba de agua, un sensor de caudal y en la salida un tubo de Venturi con dos capilares verticales, para medir la presión indirectamente, tanto en la sección ancha como en la estrecha, tal como se muestra en la Figura 1. La bomba extrae agua del depósito y la hace circular a través del sensor de caudal que está conectado a una interfaz que muestra en pantalla el valor instantáneo del caudal que circula a través del circuito. Finalmente, el agua sale horizontalmente a través del tubo de Venturi ubicado a pocos centímetros por encima del borde superior del estanque y cae libremente en el depósito, completando la circulación del circuito cerrado. Se han añadido un par de gotas de tinte vegetal azul al agua para mejorar el contraste durante el proceso de medición de presión, utilizando los capilares verticales conectados a ambas secciones del tubo de Venturi. El depósito tiene una longitud de 600mm, una altura de 300mm y una profundidad de 245mm, y se agrega agua hasta que alcanza un nivel de 80mm. La bomba es del tipo diafragma con un caudal máximo de funcionamiento de 6L/min a 12V y 6A.

A través de un sistema de control de velocidad gestionado por un controlador PWM de 40V y 10A, se varían las RPM del motor y, consecuentemente, el caudal que pasa a través del tubo de Venturi. El sensor de caudal es un modelo de efecto Hall YF-S201 que está conectado a un módulo de interfaz con pantalla LCD modelo ZJ-LCD; el cual puede medir un caudal máximo de 30L/min a presiones inferiores a 1.75MPa. El tubo de Venturi está hecho de vidrio transparente y los diámetros de las secciones ancha y estrecha son 16.30mm y 7.90mm, respectivamente. Los capilares verticales unidos al tubo tienen longitudes de 400mm y 230mm. Junto a cada capilar se colocó una regla para medir la altura alcanzada por el fluido de acuerdo con las diferentes tasas de caudal que circulan a través del tubo de Venturi.

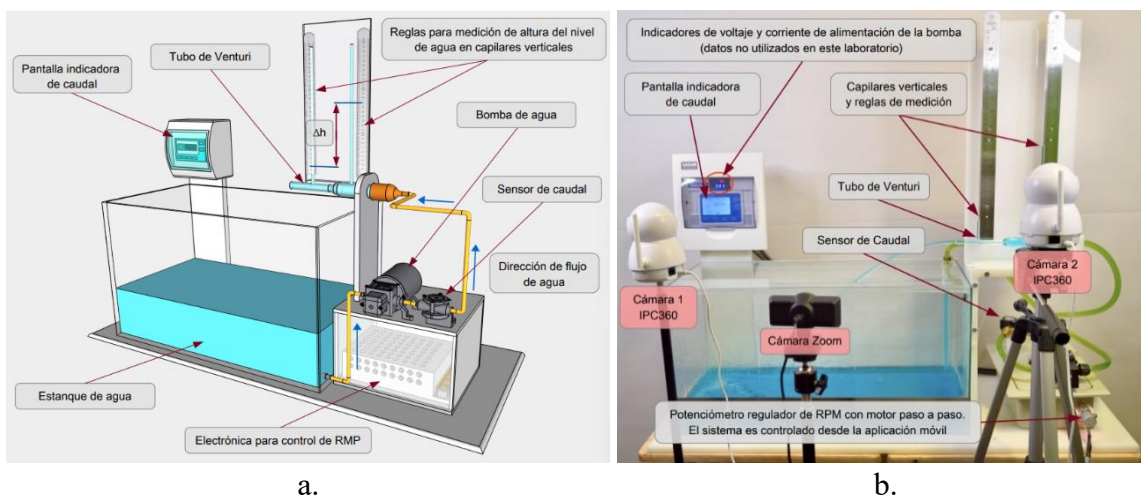


Figura 1. a. Esquema de la configuración experimental (las modificaciones para el control remoto no se consideran). Se detallan los componentes principales del sistema. b. Fotografía de la configuración experimental: muestra la ubicación de las cámaras de control variable (cámaras IPC360) y la cámara Zoom para una vista general del equipo.

III. INCORPORACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL VARIABLE REMOTO MEDIANTE LA APLICACIÓN IPC360

La aplicación IPC360, que puede instalarse en dispositivos móviles que cuenten con los sistemas operativos Android o iOS, es una aplicación originalmente diseñada para la vigilancia y seguridad doméstica. Esta aplicación permite controlar los movimientos azimutales, de latitud y de zoom digital de las cámaras SafeCom. En este laboratorio, se utilizaron dos cámaras portátiles Wi-Fi SafeCom, modelo SCPB mini PTZ de 2 MP, que tienen movimientos angulares de latitud de 350° y movimientos azimutales de 85° (aproximadamente). Para lograr el control variable (RPM / caudal), se intervino la cámara 2 y se retiró el motor paso a paso que facilita el movimiento horizontal.

Este motor fue conectado a un acoplamiento flexible de $5 \times 5 \times 25$ mm (utilizado principalmente en máquinas CNC) al potenciómetro del controlador PWM. En consecuencia, el movimiento horizontal de la cámara fue reemplazado por el control angular del potenciómetro, lo que permitió gestionar las RPM de la bomba y, de esta manera, el caudal que circula a través del tubo de Venturi. Por otro lado, la cámara 2 fue instalada en frente al tubo de Venturi para medir las alturas verticales de las columnas de agua de ambos capilares. Para la medición de las alturas, se utilizan reglas ubicadas junto a cada una de las columnas de agua y, en caso de que la visualización de las marcas esté defectuosa, se emplea el zoom digital de la cámara. La cámara 1 se dispuso frente a la pantalla que muestra la tasa de caudal instantánea. Sobre esta pantalla, se observan indicadores que muestran los valores de corriente y voltaje de suministro de la bomba de agua, sin embargo, estas cantidades no se usan en este experimento. Finalmente, una cámara web conectada a través del programa *Zoom* fue instalada con el objetivo de obtener una visión completa de la configuración experimental para estudiantes y profesores; el trabajo práctico se controla y orienta periódicamente. La manera de controlar el experimento desde la aplicación móvil se detalla en la Figura 2.

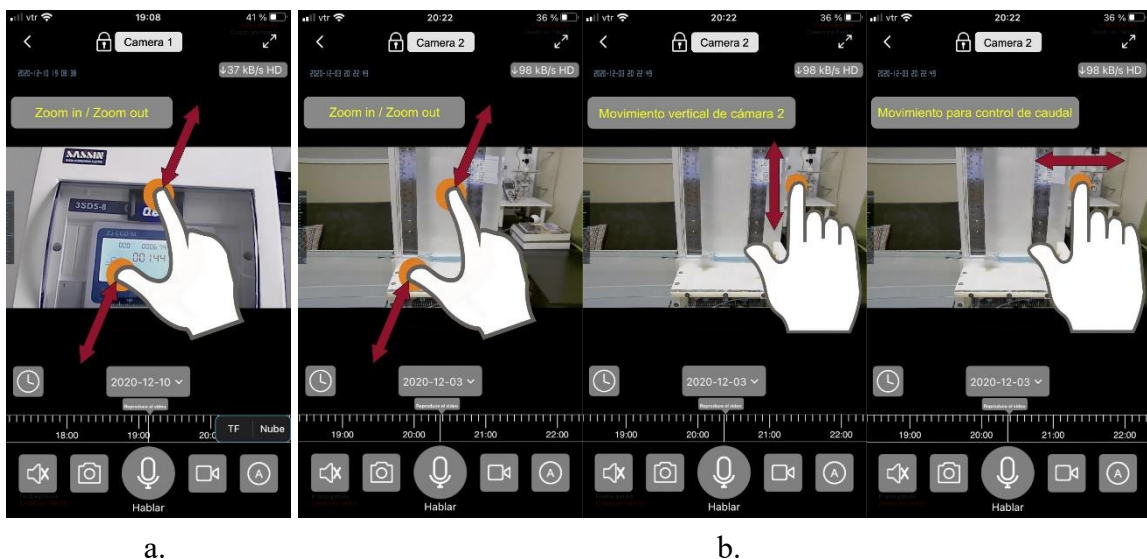


Figura 2. Gestos en la aplicación móvil para el control remoto del equipo con tubo de Venturi.
(a) Gestos para hacer zoom en la cámara 1. (b) Gestos para hacer zoom en la cámara 2, movimiento vertical de la cámara y control de caudal.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección, nos centraremos en una metodología educativa que contempla dos aspectos fundamentales para la construcción del aprendizaje de los estudiantes: i) una estructura de trabajo cuyo objetivo es la interacción permanente entre estudiantes y profesor en una clase con modalidad virtual, ii) los resultados prácticos obtenidos por los estudiantes después de llevar a cabo los experimentos.

A. Importancia del aprendizaje colaborativo en el modo de experimentación remota:

Durante un experimento presencial, la colaboración entre compañeros es esencial y para la UTFSM. La construcción de aprendizajes en colaboración es altamente relevante hasta el punto de formar parte de su modelo educativo institucional, corroborado por el DEA (2017). En este sentido, el equipo ha sido configurado para operar y adquirir datos experimentales de tal manera que esta modalidad de aprendizaje se potencie y refuerce el logro de los resultados de aprendizajes declarados para cada curso.

Para este laboratorio, las actividades deben desarrollarse en parejas; se denominarán estudiante 1 (E1) y estudiante 2 (E2), a quienes se les han asignado roles de trabajo bien definidos:

- Estudiante E2, está a cargo de operar la cámara 2 y controlar la tasa de caudal (RPM de la bomba) que circula a través del tubo de Venturi, hasta que el valor de medición deseado es obtenido. Se recomienda al grupo obtener 10 datos experimentales en un rango de valores entre 1L/min y 3.6L/min.
- Estudiante E1, encargado de la cámara 1, observa atentamente la pantalla de información y debe notificar al estudiante E2 cuando haya alcanzado el valor requerido de la tasa de caudal. La advertencia puede realizarse utilizando la propia aplicación como medio de comunicación, ya que incorpora un sistema de voz, o a través de la clase en Zoom. En este caso, el profesor solicita que la comunicación se realice a través de la clase para tener coherencia en los datos y participar activamente en el trabajo del grupo. El estudiante E2 tiene la posibilidad de mover libremente la cámara y observa la operación completa del equipo. Además, hay una cámara Zoom que proporciona una vista general de todo el montaje experimental.
- Una vez que el valor del caudal es alcanzado, el estudiante E2 mide las alturas de ambas columnas de agua de los capilares verticales conectados a la sección ancha y estrecha del tubo de Venturi, moviendo la cámara verticalmente y utilizando la opción de zoom proporcionada por la aplicación.
- Con los datos de caudal y las diferencias de altura respectivas, son construidas las tablas de datos experimentales y los resultados son graficados utilizando un software adecuado.
- Una vez que los gráficos se hayan obtenido y el trabajo práctico haya sido completado, el grupo de trabajo junto con el profesor discuten el modelo de regresión más apropiado.

Esta actividad requiere comunicación hablada e interacción permanente en tiempo real de todos los participantes de la clase. Además, el apoyo del profesor se vuelve esencial durante la sesión de laboratorio.

B. Resultados técnicos del experimento:

Trabajamos con 12 grupos de laboratorio (en pares) y los resultados obtenidos se muestran en el gráfico de la Figura 3. El gráfico presenta los datos de calibración del equipo en puntos morados y los datos de los estudiantes en puntos azules.

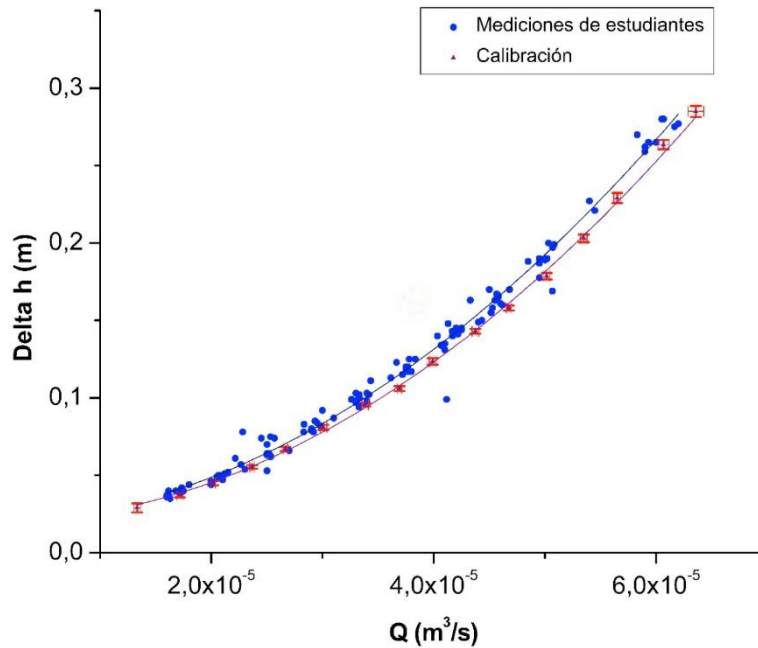


Figura 3. Gráfico de Δh vs. Q . El gráfico muestra las nubes de puntos para los datos de calibración del equipo (puntos morados) y los datos adquiridos por los estudiantes (puntos azules). Se han agregado barras de error (barras de color rojo) solo para los datos de calibración. En ambos casos, se propone un modelo de regresión cuadrática. El valor informado para la calibración corresponde a $(6.5 \pm 0.3) \times 10^7 \text{ s}^2/\text{m}^5$ y el valor obtenido por los estudiantes corresponde a $6.6 \times 10^7 \text{ s}^2/\text{m}^5$.

La constante experimental k se generó aplicando un modelo de regresión polinomial cuadrático de tipo $Y = AX^2 + BX + C$ al gráfico de Δh vs. Q , tanto para los datos de calibración como para los datos de los estudiantes, con un ajuste r-cuadrado de 0.999 y 0.99, respectivamente. Los coeficientes del ajuste para la calibración son: $A_{cal} = 6.5 \times 10^7$, $B_{cal} = 8.2$ y $C_{cal} = 1.9 \times 10^{-2}$, mientras que los coeficientes del ajuste de los estudiantes son: $A_{est} = 6.6 \times 10^7$, $B_{est} = 1.7 \times 10^2$ y $C_{est} = 1.9 \times 10^{-2}$. Al comparar el modelo de regresión con la ecuación (1), los términos B y C , además de sus órdenes de magnitud, no son relevantes.

Ajustando los resultados, hemos obtenido que:

$$\Delta h_{cal} = (6.5 \times 10^7 \text{ s}^2/\text{m}^5)(Q^2 \text{ m}^6/\text{s}^2), \quad (3)$$

$$\Delta h_{est} = (6.6 \times 10^7 \text{ s}^2/\text{m}^5)(Q^2 \text{ m}^6/\text{s}^2), \quad (4)$$

Para determinar las discrepancias entre el modelo de regresión y el valor obtenido para la constante k , calculado a través de las cantidades físicas proporcionadas por el profesor,

incluyendo ambos diámetros internos del tubo de Venturi y el valor de la aceleración debida a la gravedad aceptado como válido en nuestra institución. El valor promedio, llamado Δh_{real} , de todos los grupos de trabajo corresponde a:

$$\Delta h_{real} = (6.3 \times 10^7 \text{ s}^2/\text{m}^5), \quad (5)$$

Para el análisis del resultado, se les pide a los estudiantes que realicen una comparación entre el valor del modelo, la que llamaremos valor medido v_m (Δh_{est}) y el valor considerado verdadero v_r (Δh_{cal} y Δh_{real}), generado a partir de la aplicación de la ecuación (1). Esta comparación se realiza calculando el error relativo y expresándolo en forma de porcentaje.

$$\xi = \left| \frac{v_r - v_m}{v_r} \right| \quad (6)$$

En consecuencia, el valor del error al comparar ambos casos es $\xi_{cal-est} = 1.5\%$ y $\xi_{real-est} = 4.6\%$. Las fuentes de error más importante detectadas en este experimento corresponden a errores de paralaje y estimación del último número significativo en las mediciones de las alturas de agua de las columnas verticales. Como se muestra en la Figura 1(b) y la Figura 4, la cámara 2 está en una posición fija y para realizar las mediciones de altura, se debe cambiar el ángulo de visión, lo que provoca un error de paralaje. Por otro lado, la resolución de la cámara y la luminosidad influyen en una lectura adecuada de las reglas en mediciones del orden de milímetros. Otro factor que contribuye a la propagación del error es causado por la variación de los niveles de agua y la variación en la lectura del caudal. La bomba, al estar compuesta por membranas, mantiene una variación (de tipo vibración) en el caudal del líquido.

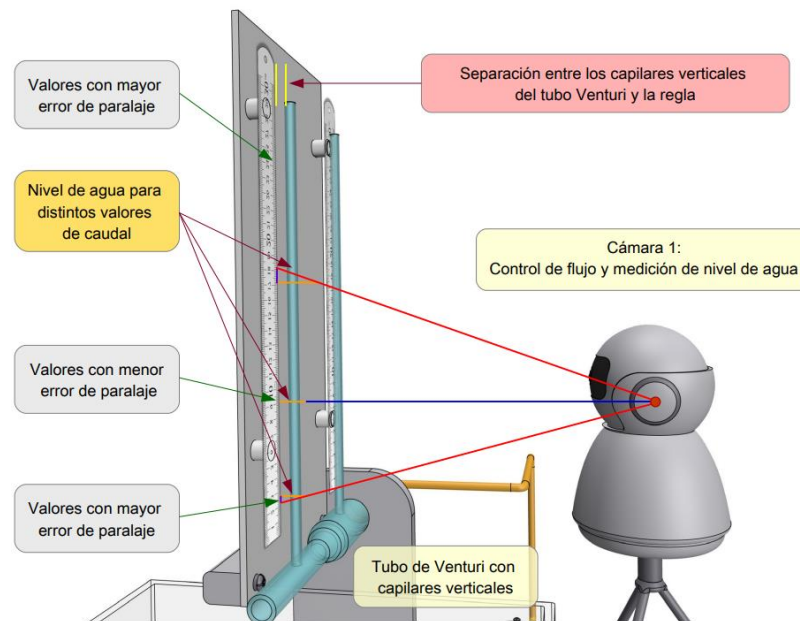


Figura 4. El diagrama muestra la separación entre la regla y los capilares verticales del tubo de Venturi. Esta separación contribuye en gran medida a incrementar el error de paralaje en las mediciones de caudal bajo y alto.

V. CONCLUSIONES

Se diseñó e implementó una experiencia de laboratorio con un tubo de Venturi para ser utilizada en el contexto de la pandemia de COVID-19. El objetivo principal de nuestra adaptación es permitir que los estudiantes controlen el experimento desde sus hogares a través de una aplicación para dispositivos móviles utilizando internet. Con estas modificaciones, es posible manipular variables y medir cantidades físicas a distancia.

La configuración experimental propuesta consiste en un tubo de Venturi con dos secciones transversales diferentes, una ancha y la otra estrecha, a través del cual circula agua con colorante a velocidades de caudal en el rango de 1L/min a 3.7L/min (aproximadamente). Las cámaras utilizadas son cámaras de seguridad domésticas que se intervinieron para transformar los movimientos predeterminados de su configuración en sistemas de control variable. El movimiento del ángulo de latitud de la cámara 2 se reemplazó para controlar el caudal que circula a través del tubo de Venturi. La medición de las presiones se realiza midiendo con reglas, la altura del nivel de agua en tubos verticales ubicados en ambas secciones del tubo de Venturi (ancho y estrecha). La medición del caudal se realiza observando la cantidad que se muestra en pantalla por medio de la cámara 1. Una tercera cámara fue agregada para tener una vista general y completa de la configuración experimental. Esta cámara funciona mediante Zoom y facilita al profesor registrar el trabajo que los estudiantes están realizando e interactuar con ellos en tiempo real.

Los resultados obtenidos y presentados por los estudiantes en sus informes indican que este laboratorio controlado de forma remota podría desarrollarse con éxito, obteniendo resultados del valor de interés con un error porcentual del 4.6%.

Finalmente, podemos señalar que nuestro trabajo ha validado todas las afirmaciones recogidas en la literatura sobre una estrategia para propender al desarrollo de habilidades y destrezas científicas. Por otro lado, destaca un logro sustancial de los resultados de aprendizaje y su debida construcción, gracias a la metodología de enseñanza propuesta que fomenta el trabajo colaborativo entre pares y con el profesor.

Por parte de los docentes responsables de impartir el laboratorio, destaca el buen ambiente de clase con discusión y debate permanente que requiere de una asistencia en tiempo real. Esta estrategia educativa combina el desarrollo de laboratorios de física auténticos y reales que pueden ser accesibles desde cualquier lugar del mundo donde haya acceso a internet y se cuente con un dispositivo móvil, lo que lo hace un recurso que puede compartirse con otras instituciones.

AGRADECIMIENTOS

A. L. agradece el apoyo constante brindado para la realización de este laboratorio práctico a Daniel Andrade, Lorna Johnson, Oscar Aravena y Francisco Peña. Además, un agradecimiento a Carlos Bracamonte por su colaboración en revisión de este escrito. Este trabajo fue financiado por el Departamento de Física y la beca interna UTFSM-OEA-20109.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alamo, J., del Brooks, L., McLean, C., Hardison, J., Mishuris, G., Chang, V., et al. (2002). "The MIT microelectronics WebLab: A web-enabled remote laboratory for microelectronic device characterization", Recuperado de <http://weblab.mit.edu>

Brinston, J. (2015). “Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research”, *Computers and Education* 87, p. 218-237

Castro-Palacio, J., Velázquez-Abad L., Giménez M. y Monsoriu, J., “Using a mobile phone acceleration sensor in physics experiments on free and damped harmonic oscillations”, *Am. J. Phys.* 81 (6), 472–475 (2013).

Dea.usm.cl/2017/07/26/modelo-educativo. Modelo Educativo de la Universidad Técnica Federico Santa María (Chile). 2019. Recuperado de <http://dea.usm.cl/2017/07/26/modelo-educativo/>

Gillet, D., Crisalle, O. D. y Latchman, H. A. (2000). “Web-based experimentation integration in engineering curricula: experience in deploying resources distributed among universities”, en *Proceedings of the Thirty-Fourth Southeastern Symposium on System Theory*, p. 66-70.

Gröber, S., Vetter, M., Eckert, B. y Jodl, H. (2007). “Experimenting from a distance remotely controlled laboratory”, *European Journal of Physics*, 28 (3), p. 127-141

Harris, D A. y Dipaolo, A. (1996). “Advancing asynchronous distance education using high speed networks”, *IEEE Transactions on Education*, 39 (3), p. 444-449

Kagan, S. (1989). “The structural approach to cooperative learning”, *Educational Leadership*, 47 (4), p. 12-16

Koike N., “Concurrent Remote Group Experiments in the Cyber Laboratory” en *Online Engineering and Internet of Things*, (Springer, Cham), p. 367-374 (2018).

Ma, J. y Nickerson, J. V. (2006). “Hands-on, simulated, and remote laboratories: a comparative literature review”, *ACM Computing Surveys*, 38 (3), p. 1-24

Mendes, L. A., et al. 2016. “Experiment lab server architecture: A web services approach to supporting interactive LabVIEW-based remote experiments under MIT’s iLab shared architecture”, en *13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*, Madrid, Spain, p. 293-305

Mohammed, A. K. (2021). “Design and Development of Remote Laboratories with Internet of Things Setting”, *Advances in Internet of Things*, 11, p. 95-112

Pérez de Landazábal, M. C., Fernández R., Mena J. L. Mena, Seballos S., “Razonamiento y destrezas científicas de los alumnos que acceden a la universidad” en *El aprendizaje activo de la física básica universitaria*, (Andavira Editora S.L. 2013), p. 21-39.

PhET Interactive Simulations. (6 de abril de 2020). University of Colorado Boulder. <https://phet.colorado.edu/es/>

Pivot Interactives. (21 de julio de 2021). <https://www.pivotinteractives.com>.

Santos M., Rodriguez C. et al, “Pendulum as an Educational Remote Experiment” en *5th Experiment International Conference*, Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8876518> (2019).

Serway, R. A. y Jewett, J. W. “Physics for Scientists and Engineers, Vol. 1”. *Thomson Brooks/Cole* 2004, 6th ed.

Shachar, M. y Neumann, Y. (2010). “Twenty years of research on the academic performance differences between traditional and distance learning: summative meta-analysis and trend examination”, *Journal of Online Learning and Teaching* 6 (2), p. 318-334

Slavin, R. E. (1989). “Research on cooperative learning: consensus and controversy”, *Educational Leadership*, 47 (4), p. 52-54

(USDOE) United States Department of Education. (2010). Evaluación de prácticas basadas en evidencia en el aprendizaje: A meta-analysis and review of online learning studies. *Washington, DC, USA: Office of Planning, Evaluation, and Policy Development*. Recuperado el 13 de noviembre de 2013, de <http://www.ed.gov/rschstat/eval/tech/evidence-based-practices/finalreport.pdf>

Young, H. D. y Freedman, R. A. *University Physics with Modern Physics*, Vol. 1, (Pearson Education 2008), 12th ed.