

## **Diseño conceptual de una instalación de laboratorio de mecánica de fluidos**

Devising a fluid mechanics lab practice facility

Dr. C. Sarah Barreto Torrella<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-2471-7263>

Ing. Arlette de la Caridad González Abad<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-3193-0660>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Química, Facultad Ciencias Aplicadas, Universidad de Camagüey, Camagüey, Cuba.

[sara.barreto@reduc.edu.cu](mailto:sara.barreto@reduc.edu.cu)

[arlette.delacaridad@reduc.edu.cu](mailto:arlette.delacaridad@reduc.edu.cu)

### **Resumen**

**Objetivo:** Presentar el diseño conceptual de una instalación de laboratorio que permite el desarrollo de habilidades de distintas asignaturas que tributan a la disciplina Mecánica de los Fluidos.

**Métodos:** Se analizaron las habilidades a desarrollar en asignaturas de la carrera de ciclo corto Técnico Superior en Agua y Saneamiento y se diseñó una instalación sencilla y compacta, aplicando conceptos de hidráulica, hidrometría, redes hidráulicas, de modo heurístico. Se montó en el simulador EPANET y se simuló su funcionamiento mediante el accionamiento de válvulas que permitieron seccionar tuberías en serie, en paralelo, sectores hidráulicos y determinar los parámetros hidrodinámicos de éstos. La instalación de caudalímetros en distintos puntos de la red y manómetros permitieron realizar mediciones para la realización de cálculos o la comprobación de resultados obtenidos. Se realizó el diseño metodológico de prácticas de laboratorio. La construcción del sistema y la obtención de parámetros hidráulicos en secciones de esta fueron trabajos de curso de Hidráulica Básica de los estudiantes de esa carrera, que demostraron así las habilidades adquiridas en su formación. Las prácticas diseñadas pueden servir para desarrollar habilidades de flujo de fluidos en los estudiantes de Ingeniería Química u otra carrera que tenga en su currículum esta rama de la ciencia.

**Resultado:** La instalación fue construida, se diseñaron prácticas de laboratorio y se han desarrollado trabajos de curso de varias asignaturas.

**Conclusión:** La instalación diseñada y construida permite la formación de habilidades de varias asignaturas que tributan a la disciplina de Mecánica de Fluidos.

**Palabras clave:** Equipos de laboratorios, laboratorio experimental, formación profesional, desarrollo de habilidades.

### Abstract

**Objective:** To present the conceptual design of a laboratory installation that allows the skills development of several subjects related to the Mechanical of Fluids discipline.

**Methods:** Water and Sanitation higher technicians' skills were reviewed to devise a simple and compact fluid mechanics lab practice facility by applying concepts of hydraulics, hydrometrys, hydraulic network in a heuristic way. It was mounted on the simulator EPANET and was operated by driving valves that allowed to section pipes in series, in parallel, hydraulics sectors and to determine its hydraulics parameters. The installation of flowmeters in different points of the networks and pressure gauges allows measurements to do calculations or verification of obtained results. The methodological design of laboratory practices was completed. The system construction and the obtaining hydraulic parameters of its sections were course papers in Basic Hydraulic discipline. The students show a significant higher level of skill development. Designed practices can be used to develop fluid flow skills in Chemical Engineering students or similar majors including this branch of science in the curriculum.

**Results:** The facility was built, laboratory practices were designed, and course papers on various subjects has been developed.

**Conclusion:** The resulting facility allows professional skill development in Mechanical of Fluids discipline.

**Keywords:** Laboratory equipment, laboratory experiment, professional education, professional training, skill development.

**Recibido:** 27 de febrero de 2022.

**Aprobado:** 17 de enero de 2023

### Introducción

En 2020 se aprobó la carrera Técnico Superior en Agua y Saneamiento (Peña, Brown, Gallardo, Fernández & Fernández, 2022) y se decidió abrirla en distintas provincias, entre ellas Camagüey, donde no existe la carrera de Ingeniería Hidráulica. Las principales esferas de actuación del técnico superior en agua y saneamiento son: obras de regulación y captación, conducción, distribución; recolección y emisión, y para la potabilización, tratamiento y reuso. Se espera que resuelvan problemas de mediana complejidad que se presentan en la sociedad, relacionados con el abastecimiento, la evacuación y tratamiento de aguas residuales para la contribución con el desarrollo de la infraestructura hidráulica, el ahorro de recursos y la protección y conservación del medio ambiente (Comisión Nacional de la carrera Agua y Saneamiento, 2020).

En función de la formación de las competencias de dicha especialidad en la Universidad "Máximo Gómez Báez" de Ciego de Ávila, centro rector de dicha carrera, se creó un polígono de instrucción,

con la colaboración de empresas del OSDE “Agua y Saneamiento” con un área de 0,0324 ha y nueve objetos de obra, donde se pueden realizar prácticas en 15 asignaturas (63 %) (Peña et al., 2022).

En la Universidad de Camagüey no existe la carrera de Ingeniería Hidráulica, pero en las de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Química se imparte Mecánica de Fluidos y Flujo de Fluidos. La Universidad cuenta con laboratorios de Mecánica de Fluidos y Operaciones y Procesos Unitarios, algunas de las prácticas dejaron de hacerse por deterioro de las instalaciones y de algunos equipos. Se podían realizar prácticas para desarrollar habilidades de Hidráulica Básica y Sistemas de Bombeo, pero había habilidades que sólo podían desarrollar de modo teórico-práctico con actividades docentes que no permitían la participación activa de los estudiantes con estilos de aprendizaje sensorial, visual, activo (Álvarez & Ortiz, 2007).

Es complejo en la enseñanza construir competencias, una sola herramienta pedagógica es insuficiente, se requieren estrategias docentes dirigidas al cumplimiento de objetivos propuestos, al desarrollo de habilidades (Martinovic & Zhang, 2012) (Barreto, 2017).

En los últimos años se han desarrollado laboratorios virtuales, aprovechando sus amplias potencialidades, en algunos casos por no contar con las instalaciones reales para su uso docente (Moreno, González & Groenwald, 2015) (Barreto, 2017), también como complemento de prácticas de laboratorio reales (Lorandi, Hermida, & Hernández, 2011).

Algunos autores comparan los laboratorios virtuales con los reales en favor de los primeros (Moreno, González, & Groenwald, 2015), lo importante es tener claro qué aporta cada cual dentro del proceso de aprendizaje para aprovechar las potencialidades de ambas opciones. No hay nada que sustituya lo que aporta una práctica real donde el educando se pone en contacto con el objeto original a una escala menor. La representación gráfica que un estudiante hace, de modo abstracto, de los objetos, al recibir la información técnica en actividades docentes teóricas y prácticas difiere de la que obtiene a escala real; en el laboratorio real el objeto está en su expresión original solo que a una escala diferente. Los simuladores, en cambio, ofrecen mayores opciones de variar las condiciones de operación de determinados procesos y la obtención de diferentes respuestas (Barreto, 2017)

Entre las ventajas que ofrecen las prácticas de laboratorio reales se señalan: su interactividad, puesto que permite al estudiante el contacto con los elementos, su manipulación y sus transformaciones. Al poder observar lo que sucede en los experimentos, el alumno desarrolla habilidades cognitivas y destrezas prácticas, que le facilitan el planteamiento de problemas y la aplicación de sus conocimientos. Las prácticas reales necesitan de una supervisión y puesta a punto por parte de los profesores (Lorandi, Hermida & Hernández, 2011).

Si se consideran las competencias a formar y se combinan estilos de aprendizaje de enseñanza tradicional y activa en función de las habilidades a formar en asignaturas afines, de forma

sistémica, heurística, pueden diseñarse instalaciones compactas de laboratorio multifuncionales en función del aprendizaje activo de los estudiantes.

Este artículo tiene como objetivo presentar el diseño conceptual de una instalación de laboratorio que permite el desarrollo de habilidades de distintas asignaturas que tributan a la disciplina Mecánica de los Fluidos.

### **Métodos**

Para la selección y/o diseño de instalaciones de laboratorio que pudieran emplearse para desarrollar habilidades previstas en el plan de estudio de la carrera Técnico Superior en Agua y Saneamiento se siguió el procedimiento mostrado en la figura 1.

Se evaluó qué habilidades de las asignaturas afines a la disciplina Mecánica de Fluidos podían formarse a partir de las instalaciones de laboratorio existentes en los laboratorios de Mecánica de Fluidos y Operaciones y Procesos Unitarios de la Universidad “Ignacio Agramonte” y cuáles no.

Se hizo una revisión bibliográfica para evaluar instalaciones reales de laboratorio que pudieran construirse para cubrir las necesidades por inexistencia o insuficiencia de las disponibles en los laboratorios antes mencionados (Weber, 2009; Manzanares, Martínez & Villada, 2016).

Se establecieron los criterios básicos para el diseño de la nueva instalación mediante el análisis lógico y heurístico de los objetivos a cumplir y habilidades a desarrollar.

Para el diseño de la nueva instalación fueron seguidos los siguientes criterios:

1. Económico.
2. Compacto.
3. Aprovechamiento de materiales, equipos y servicios disponibles en las instalaciones y en las empresas del OSDE “Agua y Saneamiento” del municipio Camagüey.
4. Versatilidad, utilidad: que desarrollará habilidades prácticas de varias asignaturas.
5. De fácil y rápido montaje.
6. La posibilidad de su simulación con alguna herramienta disponible, para multiplicar sus posibilidades de interacción con los estudiantes, con el uso de diferentes condiciones de operación, incluyendo otros materiales de los tubos o su trabajo por gravedad o en régimen forzado.

Se emplearon conceptos de Hidráulica Básica, Hidrometría y Sectorización de Redes de Abasto de Agua, de forma heurística y sistémica para la creación de una instalación de laboratorio.

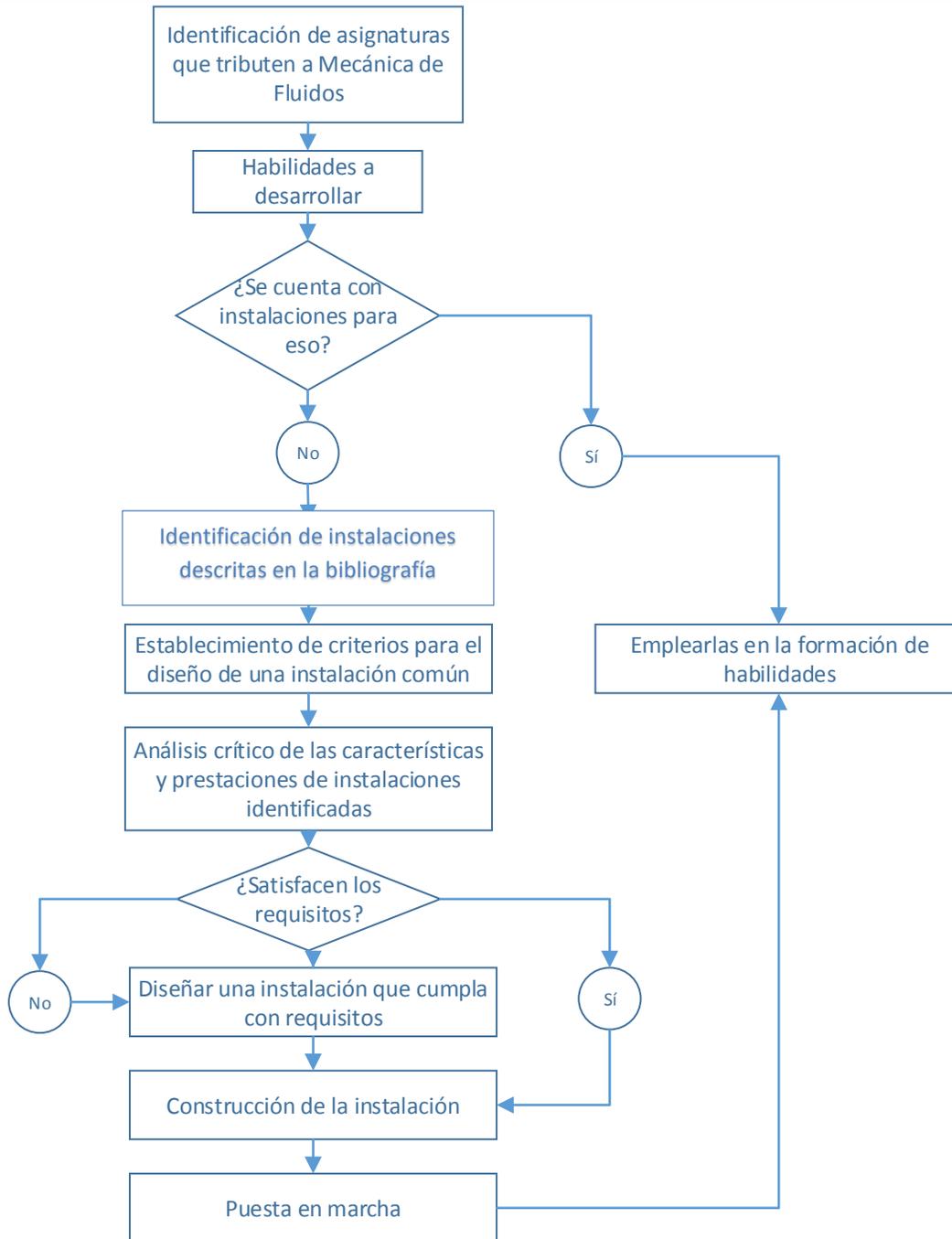


Figura 1. Procedimiento para la selección y/o diseño de una instalación de laboratorio compacta para el desarrollo de habilidades de varias asignaturas que tributan a la disciplina Mecánica de Fluidos en la carrera Técnico Superior en Agua y Saneamiento

## Resultados y discusión

Se identificaron contenidos y habilidades a formar que no contaban con ninguna instalación de laboratorio para su desarrollo y que tuvieran en común la disciplina Mecánica de Fluidos (ver figura 2).

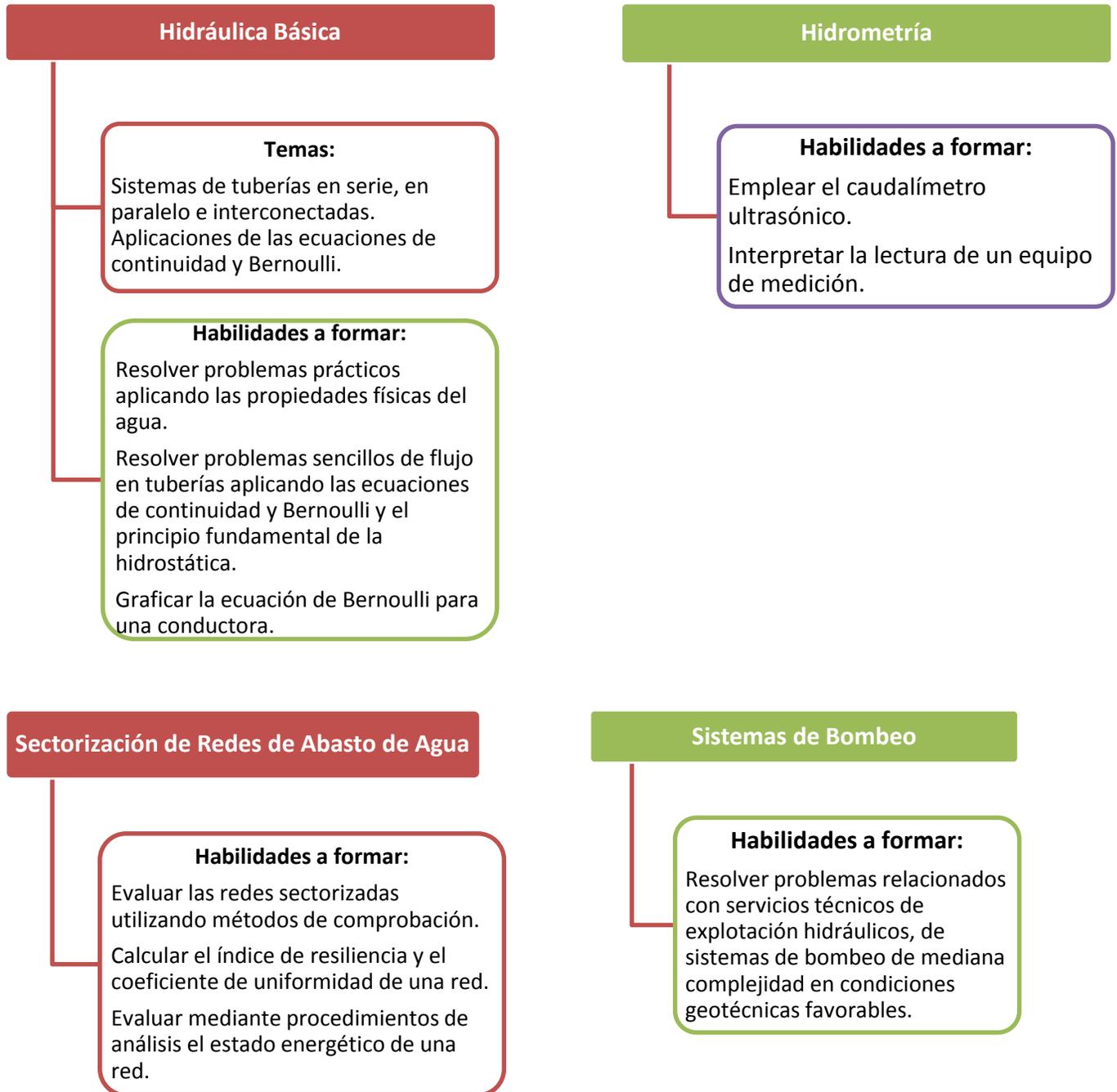


Figura 2. Habilidades a formar en diferentes asignaturas de la Carrera “TS Agua y Saneamiento”, relacionadas con la disciplina Mecánica de Fluidos.

---

### *Problemas comunes de las asignaturas analizadas*

Se podían resolver los problemas planteados para Hidráulica Básica mediante situaciones problémicas y aplicar las ecuaciones de Bernoulli y de continuidad a la solución de problemas con instalaciones existentes, pero no con conceptos de redes hidráulicas. Se alejaban de la mayoría de los problemas que se presentan en la práctica profesional y se quedaban más con lo abstracto, les faltaba el aprendizaje sensorial, visual, activo (Álvarez & Ortiz, 2007).

Se decidió entonces el diseño de una red. En este diseño se tomaron en cuenta los conceptos de *red hidráulica de acueducto* y de *sectores o zonas*.

Las *redes hidráulicas de acueducto* son sistemas de redes para el suministro de agua en determinado territorio que deben garantizar los caudales y presión requeridos en todos los puntos. Los *sectores o zonas*, según la NC 969: 2013, son porciones de la red de distribución que pueden aislarse mediante accionamiento de válvulas; las mediciones de volúmenes de agua y otras informaciones generadas en ellos sirven para precisar un diagnóstico, detectar las fugas, facilitar la eliminación de éstas y optimizar el control de pérdidas de agua en una zona determinada (Oficina Nacional de Normalización, 2013).

La instalación diseñada por Manzanares, et al. (2016) se compone de una red de tuberías conectadas de manera que se formen circuitos o mallas, conformadas por diámetros de tubería de  $\frac{1}{2}$ " ,  $\frac{3}{4}$ " , y 1" , con manómetros diferenciales en cada uno de los tramos y mangueras al final de cada uno para determinar el caudal derivado por los usuarios de ese sector por aforo en un tanque diseñado para ello, con medidores de caudal; su diseño responde a la evaluación de sistemas de redes y es para la asignatura de Hidráulica, sin embargo tiene elementos de hidrometría, permite la determinación de la diferencia de presión en distintos puntos, la aplicación de la ecuación de Bernoulli, de la ley de continuidad (Streeter, 2000) y pudiera emplearse para evaluar los sectores. Está fijada a la pared, y las diferencias de nivel en los nudos es mínima.

La práctica descrita como *sistema de tuberías* (Weber, 2009) es similar a las existentes en ambos laboratorios de la Universidad de Camagüey para medir las pérdidas de presión en tuberías y accesorios, en este caso se alimenta desde un tanque, no está diseñada con concepto de redes hidráulicas ni sectores.

En consecuencia, se decide diseñar un sistema que interconecte dos redes (ver figura 3), una abierta y una cerrada, donde el agua sea suministrada por gravedad desde un tanque elevado que esté alimentado por un sistema de bombeo desde una cisterna. Con caudalímetros que permitan medir el flujo a la salida del tanque y de ambas redes y un sistema de válvulas para regular y/o variar el caudal. El caudal podrá modificar su dirección, tal como ocurre en las reales cuando algún tramo es afectado. Se considera la medición de la presión en el punto más desfavorable de la red. La red cerrada estará por encima de la abierta con una diferencia de altura

de 1 m y contará con diámetros menores, para demostrar, con el accionamiento de las válvulas, las afectaciones al servicio que pueden provocarse y las posibles soluciones.

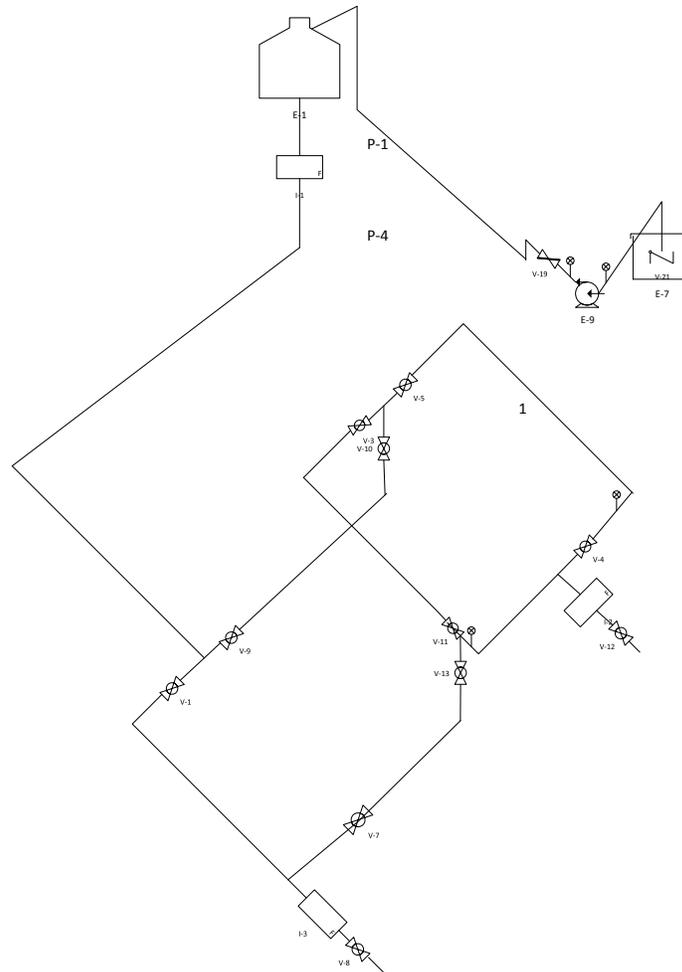


Figura 3. Instalación hidráulica para las prácticas de laboratorio

El sistema se montó en el simulador EPANET y fueron obtenidos todos los parámetros hidráulicos con distintas condiciones de funcionamiento. Estaba prevista la instalación de un caudalímetro ultrasónico, por ahora solo hay metrocontadores, uno de los cuales será sustituido cuando se cuente con el previsto. El uso del simulador EPANET aumenta las prestaciones de la instalación, permite variar en las condiciones de la instalación física: el tipo de tubería, simular otros consumos y salideros.

La instalación se hizo como trabajo de curso de seis estudiantes de la carrera, que luego de construirla, calcularon los parámetros hidráulicos de tuberías en serie y en paralelo (ver figura 4). Posteriormente dos estudiantes hicieron sus trabajos de curso en el sistema de bombeo, se calculó un costo total de inversión y mantenimiento de \$ 17 895, 88 (CUP).

Se diseñaron las siguientes prácticas de laboratorio:

1. Cálculo de tuberías en serie y en paralelo, a partir de la instalación y el accionamiento de válvulas, para la asignatura de Hidráulica, 2 ejemplos de cada caso.
2. Cálculo de tubería de impulsión.
3. Determinación del punto de trabajo del sistema de bombeo.



Figura 4. Vista parcial de la instalación hidráulica construida para las prácticas de laboratorio

En el orden docente y metodológico se alcanzaron los siguientes resultados:

- ❖ Se realizaron trabajos de curso, en la asignatura Hidráulica Básica como evaluación final.
- ❖ Se realizó un trabajo de curso de la asignatura Sistemas de Bombeo.
- ❖ Quedó a punto la instalación para efectuar prácticas de laboratorio para desarrollar capacidades en los estudiantes de Hidráulica Básica, Hidrometría, Sectorización de Redes, entre ellas:
  - Cálculo y evaluación de tuberías en serie y en paralelo.
  - Mediciones de consumo de agua con metrocontadores.
  - Evaluación de redes sectorizadas, que puede complementarse con el uso de EPANET para simular las condiciones de la red instalada o de esta modificada, interpretar los resultados y mejorar los parámetros de funcionamiento, y desarrollarlo como como trabajo independiente.

Las prácticas mencionadas permiten el desarrollo de la mayoría de las habilidades previstas en las diferentes asignaturas, y algunas de hidrometría.

Como puede apreciarse, aunque las prácticas de laboratorio tengan implícitos costos, de inversión y operación (Calvo, Zulueta, Gangoiti, López & Cartwright, H 2008), permiten la enseñanza activa con tareas que contribuyen al desarrollo de las dimensiones cognitivas (conocimiento, entendimiento y pensamiento) y afectivas en el proceso de enseñanza (McLaughlan & Kirkpatrick, 2004), en este caso, se les ofrecen situaciones problemáticas, estudios de casos, actúan sobre la instalación, obtienen datos y resultados y los explican a partir de las leyes y conceptos estudiados, tal como deben hacerlo en el ejercicio de su profesión.

### Conclusiones

La instalación diseñada y construida permite la formación de habilidades de varias asignaturas del plan de estudios de la carrera Técnico Superior en Agua y Saneamiento, que a su vez tributan a la disciplina Mecánica de Fluidos y puede usarse para la formación de estudiantes de la carrera mencionada y de otras que incluyan en su currículum dichas asignaturas.

### Referencias

Álvarez, C. & Ortiz, R. (2007). Simulaciones computacionales de electromagnetismo como potenciadoras de aprendizaje desarrollador en estudiantes de ingeniería. *Rev. Cub. Física*, 24(1), 51-54.

<http://www.revistacubanadefisica.org/RCFextradata/OldFiles/2007/vol24-No.1/RCF-2412007-51.pdf>

Barreto, S. (2017). Uso de la simulación con SuperPro Designer en las prácticas de laboratorio de tratamiento de agua y residuales. *Transformación*, 13(1), 136-149. Recuperado el 3 de julio de 2022, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2077-29552017000100013](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-29552017000100013)

Calvo, I., Zulueta, E., Gangoiti, U., López, J. & Cartwright, H. y. (2008). Laboratorios remotos y virtuales en enseñanzas técnicas y científicas. *Ikastorratza, e-Revista de didáctica*, N°3, 1-21. Recuperado el 3 de julio de 2022, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2908545>

Comisión Nacional de la carrera Agua y Saneamiento, (2020). Plan de Estudio Agua y Saneamiento. 118. La Habana, Cuba: Ministerio de Educación Superior.

Lorandi, A., Hermida, G. & Hernández, J. Y. (2011). Los laboratorios virtuales y laboratorios remotos en la enseñanza de la ingeniería. *Revista Internacional de Educación en*

- 
- Ingeniería*, (4), 24-30. Recuperado el 3 de julio de 2022, de [researchgate.net/profile/Alberto-Lorandi-Medina/publication/267302003\\_Los\\_Laboratorios\\_Virtuales\\_1\\_y\\_Laboratorios\\_Remotos\\_en\\_la\\_Ensenanza\\_de\\_la\\_Ingenieria/links/598f47c8458515b87b443b5b/Los-Laboratorios-Virtuales-1-y-Laboratorios-Remotos-en-la-Ensenanza-de-la-Ingenieria.pdf](https://researchgate.net/profile/Alberto-Lorandi-Medina/publication/267302003_Los_Laboratorios_Virtuales_1_y_Laboratorios_Remotos_en_la_Ensenanza_de_la_Ingenieria/links/598f47c8458515b87b443b5b/Los-Laboratorios-Virtuales-1-y-Laboratorios-Remotos-en-la-Ensenanza-de-la-Ingenieria.pdf)
- Manzanares, J., Martínez, N. & Villada, A. (2016). *Diseño y montaje del prototipo de una red cerrada para el laboratorio de hidráulica de la Universidad Cooperativa de Colombia sede Villavicencio. Proyecto de grado para optar al título de ingeniero civil*, Villavicencio: Universidad Cooperativa de Colombia. Recuperado el 3 de julio de 2022, de [https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/14753/1/2016\\_dise%C3%B1o\\_construcci%C3%B3n\\_prototipo.pdf](https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/14753/1/2016_dise%C3%B1o_construcci%C3%B3n_prototipo.pdf)
- Martinovic, D. & Zhang, Z. (2012). Situating ICT in the teacher education program: Overcoming challenges, fulfilling expectations. *Teaching and Teacher Education*, 28(3), 461-469. Recuperado el 3 de julio de 2022, de <https://eric.ed.gov/?redir=http%3a%2f%2fdx.doi.org%2f10.1016%2fj.tate.2011.12.001>  
BIBLIOGRAPHY\m Mor15\I3082
- Mclaughlan, R. G. & Kirkpatrick, D. (2004). Juego de roles en línea: diseño para el aprendizaje activo. *Revista europea de educación en ingeniería*, 29 (4), 477-490. Recuperado el 3 de julio de 2022, de <https://eric.ed.hov/?id=Ej939660>
- Moreno, L., González, C. S. & Groenwald, C. L. (2015). Evaluación del aprendizaje en la Educación Superior: una propuesta metodológica. CISTI. *Iberian Conference On Information Systems & Technologies. Proceedings*, (págs. 1300 -1305). Averio, Portugal. Recuperado el 22 de abril de 2020, de <https://ieeexplore.ieee.org/document/7170547>
- Oficina Nacional de Normalización, (2013). *NC 969: 2013. Tuberías presurizadas de polietileno - especificaciones para el cálculo, diseño, transportación, manipulación, almacenamiento y colocación*. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
- Peña, M., Brown, O., Gallardo, Y., Fernández, J. & Fernández, P. (2022). Diseño y construcción de un polígono de instrucción asociado al programa de Agua y Saneamiento. *Universidad y Ciencia*, 11(1), 94-103. Recuperado el 3 de julio de 2022, de <https://revistas.unica.cu/uciencia>
- Streeter, V. L. (2000). *Mecánica de Fluidos: (Vol. I)*. México: Mc.Graw-Hill.

Weber, J. F. (2009). *Guía de trabajos prácticos laboratorio de Hidráulica*. Córdoba, Argentina: Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional - U.T.N. Recuperado el 3 de julio de 2022, de <http://www.edutecne.utn.edu.ar>

**Sarah Isabel Barreto Torrella** es Ingeniera Sanitaria, Doctora en Ciencias Técnicas y Profesora Titular del departamento de Ingeniería Química perteneciente a la Facultad de Ciencias Aplicadas. Ha ejercido la docencia y la investigación por 28 años, es miembro de diferentes comités académicos de maestrías. Es la coordinadora de la carrera Técnico Superior en Agua y Saneamiento. Imparte la disciplina Flujo de Fluidos en pregrado y posgrado.

**Arllette de la Caridad González Abad** es Ingeniera Química, profesora Instructora del departamento de Ingeniería Química perteneciente a la Facultad de Ciencias Aplicadas. Imparte Hidráulica en la carrera Técnico Superior en Agua y Saneamiento y Flujo de Fluidos en pregrado.

#### **Declaración de responsabilidad autoral**

Sarah Isabel Barreto Torrella: Tuvo a su cargo la concepción, diseño y asesoría en la construcción del prototipo. Concepción y diseño del artículo, revisión bibliográfica, elaboración del artículo.

Arllette de la Caridad González Abad: Contribuyó al montaje de la instalación, a la revisión bibliográfica y a la elaboración del artículo.