

ALTERNATIVAS PARA EL EQUIPAMIENTO DEL LABORATORIO DE HIDRÁULICA 1

Evaluación de alternativas para el equipamiento del nuevo laboratorio de hidráulica de la
Escuela de Ingeniería Civil de la UIS

María José Pardo Aguilar y Daniela Valentina Reyes Jamaica

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniera Civil

Director

Andrés Almeyda Ortiz

Ingeniero Civil, MSc.

Codirector

Sandra Rocío Villamizar Amaya

Ingeniera Civil, MSc, Ph.D.

Universidad Industrial de Santander

Facultad de ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de ingeniería civil

Ingeniería Civil

Bucaramanga

2023

Dedicatoria

Le dedicamos este proyecto a cada uno de nuestros familiares, amigos y docentes que hicieron posible la culminación exitosa de esta etapa académica de pregrado.

Este logro es parte de la vida de cada una de nosotras y se refleja en felicidad y gratitud a todos ustedes.

Agradecimientos

Al concluir una de las etapas más maravillosas de nuestras vidas queremos extender un profundo agradecimiento a todos aquellos que estuvieron presentes a lo largo del logro de este sueño y que siempre estuvieron dispuestos a darnos un abrazo, un consejo, unas horas de estudio, un café cuando estábamos cansadas y medicamento cuando enfermamos, son demasiadas personas pero a todos y cada uno gracias por darnos de su tiempo para estar hoy en día a punto de llamarnos ingenieras.

A Dios por guiarnos día a día a lograr cada una de nuestras metas, espero siga siendo luz en el camino oscuro.

Agradecemos especialmente a la profesora Sandra Villamizar por su valioso apoyo en cada paso de la realización de este proyecto, sin sus consejos no podríamos estar hoy en día en la finalización de nuestra carrera.

Gracias infinitas a todos, los amamos.

Tabla de Contenido

1	Objetivos	13
1.1	Objetivo General.....	13
1.2	Objetivos Específicos.....	13
2	Antecedentes y Contexto	14
3	Metodología	17
3.1	Análisis del estado del equipamiento actual de la UIS y sus tendencias con respecto a otras universidades nacionales e internacionales.	17
3.2	Análisis de requerimientos de equipamiento del nuevo laboratorio de hidráulica	18
3.3	Identificación de las opciones de equipamiento más relevantes para el nuevo laboratorio de Hidráulica de la UIS	19
4	Resultados y discusión	19
4.1	Análisis del equipamiento actual del Laboratorio de Hidráulica de la UIS.....	19
4.1.1	Investigación de universidades locales, nacionales e internacionales	19
4.1.2	Resumen de prácticas de universidades locales y nacionales	24
4.1.3	Recopilación de las prácticas y equipamiento actual de la UIS.....	25
4.1.4	Descripción del espacio del laboratorio actual de la UIS	28
4.1.5	Diagnóstico actual del laboratorio de la UIS	29
4.1.6	Equipos con potencial de reúso.....	30
4.1.7	Comparativa del Laboratorio de Hidráulica entre otras universidades y la UIS ..	32
4.2	Requerimientos del nuevo Laboratorio de Hidráulica	33
4.2.1	Disposición del espacio físico del nuevo Laboratorio de Hidráulica	33
4.2.2	Identificación de falencias y limitaciones del Laboratorio de Hidráulica	34

ALTERNATIVAS PARA EL EQUIPAMIENTO DEL LABORATORIO DE HIDRÁULICA 5

4.2.3	Implementación de un banco hidráulico con automatización.....	40
4.2.4	Aportes al nuevo laboratorio con base en resultados de expertos e investigación	41
4.3	Equipamientos más relevantes para el nuevo Laboratorio de Hidráulica de la UIS.	42
4.3.1	Propuesta preliminar de espacio del nuevo laboratorio de hidráulica	43
4.3.2	Propuestas de equipamiento del nuevo laboratorio de la UIS	43
4.3.3	Cotizaciones de los equipos propuestos.....	47
4.3.4	Análisis de bancos hidráulicos.....	47
4.3.5	Presupuesto de los equipos propuestos para el nuevo laboratorio	48
4.3.6	Especificaciones técnicas de los equipos a implementar	50
5	Conclusiones	51
6	Referencias Bibliográficas	53

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Resumen de prácticas de universidades locales y nacionales.....	24
Tabla 2. Prácticas y equipos del Laboratorio de Hidráulica de la UIS.	25
Tabla 3. Equipos necesarios para cada práctica del laboratorio de hidráulica.....	30
Tabla 4. Propuesta 1 de equipamiento para el nuevo laboratorio de hidráulica de la UIS	49
Tabla 5. Propuesta 2 de equipamiento para el nuevo laboratorio de hidráulica de la UIS	50

Lista de Figuras

Figura 1. Plano del laboratorio actual de hidráulica de la UIS.	28
Figura 2. Plano del espacio físico del nuevo laboratorio de hidráulica de la UIS.	34
Figura 3. Respuesta gráfica de la pregunta ¿Cree usted que la infraestructura actual del laboratorio de hidráulica cumple con los requerimientos necesarios para realizar las prácticas que soportan la enseñanza del curso?	35
Figura 4. Respuesta gráfica de la pregunta ¿Considera usted que los equipos del laboratorio de hidráulica están en buenas condiciones para el desarrollo de las prácticas actuales?.....	35
Figura 5. Respuesta gráfica de la pregunta ¿Considera que la universidad cuenta con el recurso humano y financiero para una adecuada operación y mantenimiento del laboratorio? ...	36
Figura 6. Respuesta gráfica de la pregunta ¿Considera usted que el laboratorio actual tiene los equipos necesarios para la realizar las prácticas de la asignatura de hidráulica?.....	37
Figura 7. Respuesta gráfica de la pregunta ¿Considera que las instalaciones actuales (espacio, iluminación, condiciones de seguridad) son idóneas para el aprendizaje?.....	38
Figura 8. Respuesta gráfica de la pregunta ¿Considera usted que las prácticas del laboratorio complementan exitosamente el aprendizaje de la materia?.....	38
Figura 9. Respuesta gráfica de la pregunta Según la investigación realizada en otras universidades ¿Cómo cree que se encuentra la UIS en términos de equipos, infraestructura y prácticas?.....	39
Figura 10. Plano con distribuciones del nuevo laboratorio de hidráulica de la UIS.....	44
Figura 11. Plano con distribución de equipos propuesta dos de equipamiento para el nuevo laboratorio de hidráulica de la UIS.	46

ANEXOS

Anexo 1. Resultados de la encuesta docente y encuesta de estudiantes

Anexo 2. Plano actual del laboratorio de hidráulica de la UIS en formato PDF

Anexo 3. Diagnóstico del laboratorio actual de la UIS

Anexo 4. Plano del espacio físico del nuevo laboratorio de hidráulica de la UIS en formato PDF

Anexo 5. Plano con distribuciones del nuevo laboratorio de hidráulica de la UIS en formato PDF

Anexo 6. Cotizaciones de los equipos de laboratorio

Anexo 7. Tabla comparativa entre canales con bancos hidráulicos

Anexo 8. Especificaciones técnicas de los equipos

Resumen

Título: Evaluación de alternativas para el equipamiento del nuevo laboratorio de hidráulica de la Escuela de Ingeniería Civil de la UIS

Autor: María José Pardo Aguilar y Daniela Valentina Reyes Jamaica

Palabras Clave: Equipamiento, Laboratorio de docencia, Hidráulica de Canales, Automatización.

Descripción: Este proyecto de grado se realizó con el objetivo de proponer alternativas para el equipamiento del nuevo Laboratorio de Hidráulica de la Escuela de Ingeniería Civil de la UIS, con base en el plan educativo del programa y la necesidad de mejoramiento del espacio y equipos actuales que sufren un deterioro por el tiempo y falta de mantenimiento. Primero, se analizó la pertinencia del equipamiento actual del laboratorio mediante un comparativo con las tendencias de equipamiento a nivel local, nacional e internacional. Posteriormente, se determinaron los requerimientos del nuevo laboratorio por medio de indagación a docentes y estudiantes del área de recursos hídricos. Finalmente, se identificaron las opciones de equipamiento más relevantes. A partir del ejercicio de análisis de relevancia, tendencias y necesidades realizado, se proponen dos alternativas de equipamiento; la primera propuesta considera un canal con banco hidráulico automatizado de 5 m como equipo complementario al canal principal actual en reuso de 11 m. La segunda propuesta considera un canal con banco hidráulico automatizado de 10 m como equipo principal del laboratorio. La opción dos ocupa una huella espacial menor que la uno, ofreciendo la posibilidad de dedicar espacio del laboratorio a otras aplicaciones del área de recurso hídrico. Las dos opciones propuestas incluyen equipamiento con sistemas de control ya implementados que permitirían a los estudiantes tener un acercamiento temprano a este tipo de utilidades que son de gran importancia en la vida profesional. La implantación de esta tipología de bancos hidráulicos permite la incorporación de diferentes experiencias prácticas y un soporte técnico relevante.

Abstract

Title: Evaluation of alternatives for the equipment of the new hydraulics laboratory of the School of Civil Engineering of the UIS

Author(s): María José Pardo Aguilar and Daniela Valentina Reyes Jamaica

Key Words: Equipment, teaching laboratory, channel hydraulics, automation.

Description: This work was carried out with the aim of proposing equipment alternatives for the new hydraulics laboratory of the Civil Engineering School at UIS, based on the program's educational plan and the current needs related to space and equipment, which are deteriorated due to lack of maintenance and the normal completion of their service life. First, the relevance of the current laboratory equipment was analyzed by comparing it with equipment trends at local, national, and international levels. Next, the requirements of the new laboratory were determined through inquiries to teachers and students in the area of water resources. Finally, the most relevant equipment options were identified. Based on the relevance, trends, and a needs assessment exercise, two equipment alternatives are proposed. The first proposal considers a 5 m channel with automated hydraulic bench as complementary equipment to the current 11 m main channel in reuse. The second proposal considers a 10 m channel with automated hydraulic bench as the main equipment of the laboratory. Option two occupies a smaller spatial footprint, offering the possibility of dedicating laboratory space to other applications in the water resources area. The two proposed options include equipment with control systems already implemented allowing students to have an early approach to these types of systems which are of great importance in professional life. The implementation of these types of hydraulic benches allows the incorporation of different practical experiences and relevant technical support.

Introducción

La Universidad Industrial de Santander cuenta con un edificio destinado a los laboratorios y experiencias del área de recursos hídricos y saneamiento ambiental. Dentro de él está el Laboratorio de Hidráulica que se dedica, principalmente, a la observación de fenómenos hidráulicos que soportan el componente teórico del curso de Hidráulica aplicada (UIS - Escuela de Ingeniería Civil - Posgrados y Pregrado - ECI - INGENIERIA CIVIL - ECIWeb - Bucaramanga,2022). El laboratorio actual funciona desde el año 1999 pero en los últimos años han surgido problemas relacionados con el mal funcionamiento del sistema eléctrico y de componentes claves como el sistema de bombeo o el sistema de control de inclinación del canal del laboratorio. Estas situaciones están mayormente asociadas al cumplimiento de la vida útil de la infraestructura física y de equipos. Esta problemática se agudizó durante el tiempo de la pandemia del COVID-19 (Presidente Duque Declara Emergencia Sanitaria Frente a COVID-19, 2022) pues la estrategia de enseñanza migró a la virtualidad. Sin embargo, desde el año 2021, el laboratorio ha funcionado intermitentemente y se hizo urgente pensar en posibles alternativas para resolver esta problemática. A la fecha no se ha realizado ninguna inversión pues, en el marco del plan de renovación de espacios e infraestructuras de la Universidad, se tiene programada la demolición y construcción del nuevo edificio de Físico-mecánicas que hospedará el nuevo laboratorio de Hidráulica (NUEVO EDIFICIO DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS, 2022), aunque no se tiene una fecha clara de inicio de estas actividades, ya se cuenta con un bosquejo del futuro espacio del laboratorio. Por lo tanto, paralelo a una estrategia de mantenimiento correctivo que es liderada actualmente por la Escuela de Ingeniería Civil en conjunto con las divisiones de Planta Física y Mantenimiento Tecnológico, se llevó a cabo un análisis prospectivo sobre el equipamiento del nuevo laboratorio

de Hidráulica que sea consecuente con las expectativas académicas de los profesores del Área de Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental.

Se hizo necesario, diagnosticar la infraestructura existente, evaluar las posibilidades de equipamiento disponibles en el mercado, y hacer una propuesta de equipamiento que se acogiera tanto a las expectativas académicas planteadas, como a la disponibilidad de espacio en el nuevo edificio. Este trabajo presenta dos opciones que están alineadas con las tendencias observadas en contextos académicos relevantes a nivel local, nacional e internacional, y van de la mano con el plan educativo del programa de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander.

1 Objetivos

1.1 Objetivo General

Proponer el equipamiento para el nuevo laboratorio de hidráulica de la Escuela de Ingeniería Civil de la UIS, sede Bucaramanga.

1.2 Objetivos Específicos

1. Analizar la pertinencia del equipamiento actual del laboratorio de hidráulica con respecto a las tendencias de equipamientos de laboratorios de hidráulica en el contexto local, nacional e internacional.

2. Determinar los requerimientos del nuevo laboratorio de hidráulica en términos de especificaciones académicas y de investigación establecidas.

3. Identificar las opciones de equipamiento más relevantes para el nuevo laboratorio de Hidráulica de la UIS

2 Antecedentes y Contexto

Alrededor del año 1991 las instalaciones del laboratorio de hidráulica se encontraban donde actualmente está el espacio del grupo de Geomática; posteriormente, por requerimiento de nuevos espacios para el programa de Ingeniería Civil, fue necesario trasladar el laboratorio a la plazoleta central localizada en el subnivel del Edificio de Físico-Mecánicas. Aunque la ubicación del laboratorio era conveniente pues estaba localizado cerca de los salones de clase, producía mucha contaminación por ruido originada por el mecanismo de bombeo requerido para circular el agua en la canaleta de acrílico que soportaba el desarrollo de las prácticas de laboratorio. Dada esta inconveniencia, en el año 1998, los profesores del área de Recursos Hídricos gestionaron ante las directivas de la Universidad un plan para la construcción del nuevo Laboratorio de Hidráulica que se localizaría en las instalaciones de la antigua carpintería de la Universidad, localizada en el sector noroeste del campus central de la Universidad. Este proceso tuvo algunas dificultades dado que el espacio solicitado también era requerido en ese momento por las escuelas de Ingeniería Industrial e Ingeniería Eléctrica que, geográficamente, se ubicaban más cerca de este espacio que la Escuela de Ingeniería Civil (EIC).

El proyecto inició con un presupuesto limitado de doscientos millones de pesos y fue dirigido por el Ing. Jorge Alberto Guzmán, profesor planta de la EIC. Aunque el plan inicial era la construcción de espacios asociados a las actividades del laboratorio de hidráulica, se logró también construir dos salones de clase (capacidad de 40 estudiantes) y tres oficinas dentro de la edificación. Para esto fue vital la donación de la empresa Siemens, la cual es una compañía global enfocada en la electrificación, automatización y digitalización de las industrias, quien obsequio el tablero de control para las bombas del laboratorio y además consiguió un descuento para las bombas que

necesitaba el laboratorio (Nuestros Negocios | Acerca de Nosotros | Siemens Colombia, 2022). La construcción del laboratorio se retrasó por circunstancias como paros estudiantiles y huelgas de empleados, pero finalmente en el año 1999 se logró culminar el proyecto (J. Guzmán, Comunicación personal, 24 de mayo de 2022).

La configuración inicial de la zona de laboratorio de la edificación tuvo dos áreas con propósitos diferentes: la primera área fue dedicada a la ejecución de las prácticas de laboratorio de la asignatura Hidráulica y la segunda área fue destinada para el desarrollo de modelos de investigación. Sin embargo, con el pasar del tiempo, en el año 2017, esa zona se dedicó a la ejecución de las prácticas de laboratorio de la asignatura Mecánica de Fluidos. En ese mismo año se instaló una división en este segundo espacio que permitió el uso como almacenamiento de equipos y otro espacio para los análisis de laboratorio de procesos ambientales.

El Laboratorio de Hidráulica de la EIC de hoy día cuenta con un sistema de canales que soportan el estudio y observación de fenómenos hidráulicos en conductos abiertos. Dentro de la infraestructura construida está un canal en vidrio de sección rectangular de 11 m de longitud que permite la variación de su pendiente, un canal en concreto con sección rectangular variable, y estructuras de regulación y medición de caudal. El flujo circulante en el sistema se regula por un sistema de bombeo tanque bajo- tanque alto con capacidad hasta de 25 lps (Andrés & Henao, 2022).

El agua almacenada en el tanque inferior de capacidad 37.43 m^3 es bombeada a un tanque alto donde se permite la circulación a las estructuras del laboratorio por gravedad. Entre los equipos disponibles para la medición de diferentes variables hidráulicas están: un molinete universal, un medidor de caudal con tecnología electromagnética, un mini molinete, una sonda

multiparamétrica, y un medidor eléctrico de flujo (FFM-E-Civil-I-Es – Universidad Industrial de Santander, 2022).

Prácticas de laboratorio como estrategia de enseñanza

Los docentes siempre están en busca de diferentes metodologías educativas que mantengan la atención del estudiante a lo largo de la clase y que aumenten su capacidad de comprensión de la asignatura, esto con el fin de asegurar una experiencia más activa y significativa en el proceso de aprendizaje. Una estrategia de aprendizaje es el conocimiento a través de la práctica, lo cual hace que al realizar una actividad de manera tangible queden relacionados los nuevos conocimientos a esa experiencia y se vuelvan más duraderos. Además, las prácticas de laboratorio constituyen un método para aprender a razonar, interactuar y debatir, de esta manera se obtiene un acercamiento a la realidad que el futuro ingeniero encontrará en su campo de acción (Reyes Aguilera, 2020).

La responsabilidad de la formación de profesionales de ingeniería en la actualidad implica la conformación de competencias que involucran la integración de saberes, habilidades y actitudes generales y específicas. Por esto la vinculación entre la teoría y la práctica es uno de los problemas que requiere más esfuerzo para los docentes en el desarrollo de los programas de las asignaturas (Reyes Aguilera, 2020).

Las actividades experimentales en la formación básica de científicos e ingenieros ha sido siempre una actividad reconocida en todas las universidades del mundo. Muestra de ello son las inversiones que las universidades realizan para mantener actualizado su equipamiento y procurar docentes expertos como parte de su plantel de profesores (Pesa et al., 2014)

3 Metodología

Para el cumplimiento de los objetivos se dividió la metodología en tres etapas: (1) análisis del laboratorio actual, (2) análisis de requerimientos para el nuevo laboratorio y (3) identificación de las opciones de equipamiento más relevantes.

3.1 Análisis del estado del equipamiento actual de la UIS y sus tendencias con respecto a otras universidades nacionales e internacionales.

Inicialmente se realizó una consulta bibliográfica sobre la historia de los laboratorios de hidráulica que ha tenido la UIS, esto mediante una entrevista al profesor Jorge Guzmán vía Zoom, el cual fue profesor planta de la escuela de ingeniería civil y fue uno de los ingenieros a cargo de la obra del laboratorio actual de la UIS, de esta manera se conocieron los problemas que se han presentado a lo largo de su construcción y puesta en funcionamiento.

Se recopiló información sobre prácticas desarrolladas en el laboratorio actual de hidráulica de la UIS, esto mediante el uso del Aula virtual de Aprendizaje con acceso docente, para así tener toda la información relacionada a las prácticas. Además, se investigó sobre las tendencias de laboratorios de otras universidades públicas y privadas a nivel local, nacional e internacional, esto mediante búsquedas bibliográficas en las páginas web oficiales de las universidades, para tener un punto de comparación y de esta manera identificar las falencias actuales en equipamiento e infraestructura del laboratorio.

Fue necesario realizar un inventario de equipos de laboratorio; esto mediante listados proporcionados por los docentes del área y visitas al laboratorio actual. A raíz de estas visitas se recopiló evidencia fotográfica de los equipos y espacios para así construir un diagnóstico. Con apoyo en búsquedas bibliográficas, se generó un reporte de la descripción y estado de funcionamiento de cada elemento. Se determinaron los equipos con potencial de reutilización; para

esto, se presenta una tabla que recopila cada equipo y se identificó como bueno, regular o malo, siendo bueno un equipo en óptimas condiciones de trabajo y mantenimiento, regular un equipo que necesita mantenimiento o reparación y malo los equipos para cambio debido a su cumplimiento de vida útil. Por último, se muestran posibles soluciones para mejorar el estado de los equipos en estado regular o malo, teniendo en cuenta su posible reuso en el futuro Laboratorio de Hidráulica.

Con base en planos del edificio actual del laboratorio, entregados en formato DWG por la oficina de Planeación de la UIS, se tomaron medidas del espacio y configuración actual del laboratorio para elaborar un plano que muestra la distribución de equipos y área utilizada por el laboratorio de hidráulica.

3.2 Análisis de requerimientos de equipamiento del nuevo laboratorio de hidráulica

Se determinaron los requerimientos de equipamiento y espacio del nuevo laboratorio de hidráulica a partir de un ejercicio concertado con los docentes del área, buscando satisfacer las necesidades de enseñanza identificadas, teniendo en cuenta los planos arquitectónicos del nuevo espacio del laboratorio suministrados por la oficina de Planeación de la Universidad.

Para identificar objetivamente las falencias del laboratorio actual, se realizó una encuesta dirigida a los docentes del área de recurso hídrico y saneamiento ambiental, y otra dirigida a los estudiantes del curso de Hidráulica de la escuela de ingeniería civil del semestre 2022-2. La encuesta de los docentes tuvo una participación de 7 expertos en el área que dieron respuesta a las preguntas que se encuentran en el **Anexo 1**.

La encuesta dirigida a 100 estudiantes del curso de Hidráulica tuvo una participación de 87 estudiantes dando un panorama significativo sobre la experiencia vivida en el laboratorio. Dentro de esta encuesta se les pidió a los estudiantes calificar el Laboratorio de Hidráulica de la UIS con

respecto a un ejercicio académico de revisión de infraestructura similar de otras universidades nacionales e internacionales. Las preguntas y respuestas se encuentran en el **Anexo 1**.

Con base en todas las respuestas entregadas por estudiantes y docentes se realizó una lista de posibles mejoras a implementar en términos de equipos e infraestructura.

3.3 Identificación de las opciones de equipamiento más relevantes para el nuevo laboratorio de Hidráulica de la UIS

Para determinar los equipos a tener en cuenta para la configuración del nuevo espacio dedicado al laboratorio de hidráulica en el plan de infraestructura de la UIS, se tuvieron en cuenta todas las investigaciones realizadas y las encuestas dirigidas a docentes y estudiantes, para así concretar la mejor opción de equipamiento, estudiando las ventajas y desventajas del uso de los canales abiertos con bancos hidráulicos computarizados, para escoger la opción que representa la mejor propuesta a la aplicación académica y al aprovechamiento de nuevas tecnologías para que la inversión inicial sea duradera en el tiempo. Para esto, se presenta una propuesta con distribución de espacios, cotizaciones y presupuesto de los nuevos equipos.

4 Resultados y discusión

Se presentan las investigaciones, resultados y análisis de las tres etapas expuestas en la metodología.

4.1 Análisis del equipamiento actual del Laboratorio de Hidráulica de la UIS

4.1.1 Investigación de universidades locales, nacionales e internacionales

La consulta sobre las diferentes prácticas de laboratorio desarrolladas por universidades públicas y privadas en la ciudad de Bucaramanga y su Área Metropolitana, en el país en general y

ALTERNATIVAS PARA EL EQUIPAMIENTO DEL LABORATORIO DE HIDRÁULICA 20

en algunas universidades de carácter internacional, bajo factores como infraestructura, equipos y prácticas, arrojó la siguiente información:

Universidades locales

Universidad Pontificia Bolivariana UPB

En la Universidad Pontificia Bolivariana el laboratorio de Hidráulica es más conocido como “Laboratorio de Hidráulica de Canales” y hace parte del área ambiental, este laboratorio cuenta con acreditación, certificación y reconocimientos por parte del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Este laboratorio ofrece a los estudiantes la oportunidad de comprender los fundamentos físicos del movimiento del agua en tuberías y canales, a través de prácticas que tienen aplicación real en problemas de la ingeniería, como: el bombeo del agua para distribución, mediciones de caudal, uso de estructuras especiales para controlar el movimiento del agua, generación de energía hidráulica, entre otras.

Equipos: Canaleta Parshall, dos canales rectangulares de diferentes bases con pendiente variable, accesorios, caudalímetros, sistema de bombeo, vertederos y compuertas (Laboratorio Ambiental | UPB, 2022)

Universidades nacionales

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia - UPTC

La Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia cuenta con un laboratorio enfocado en las áreas de mecánica de fluidos, hidráulica I e hidráulica II, para las escuelas de ingeniería civil e ingeniería ambiental.

Equipos: Canal Rectangular, compuerta, vertedero de pared gruesa, Limnómetro, cronómetro, balde y metro.

Universidad Nacional de Colombia

El laboratorio de Hidráulica trabaja en forma compartida con el Laboratorio de Ensayos Hidráulicos donde se encuentra la sala de cómputo y el centro de documentación. Las principales actividades que se realizan en el Laboratorio de Hidráulica están relacionadas con Docencia e Investigación en: hidráulica de canales abiertos, hidráulica de tuberías, mecánica de fluidos y modelación matemática.

Equipos: Canaleta Parshall, canal de pendiente variable, canal de resalto hidráulico, equipo de flujo compresible, equipo de fricción, aditamentos o accesorios, equipo de caída libre, bomba centrífuga, canal de modelos, túnel de viento, túnel de agua y bombas de 4, 6 y 8" (Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola - Hidráulica, 2022).

Universidad Santo Tomás (TUNJA)

El laboratorio de hidráulica está equipado con diferentes bancos que le permiten al estudiante de ingeniería tener un entorno práctico en el estudio del comportamiento estático y dinámico de los fluidos, así como el análisis de redes de tuberías. En este laboratorio se estudia el comportamiento del fluido a presión y en flujo libre (Laboratorio-de-hidráulica-Santo-Tomas, 2022). El laboratorio sirve de apoyo a la formación que se ofrece en los espacios académicos de mecánica de fluidos, tuberías y canales, acueductos y alcantarillado. En este laboratorio se desarrollan prácticas para las Facultades de Ingeniería Civil, Ingeniería Ambiental e Ingeniería Mecánica.

Equipos: canal rectangular, sistema de bombeo, caudalímetro, compuerta, indicador de medición manual, indicador de medición digital, placa de presa, caudalímetro, presa de cresta ancha, equipo

ALTERNATIVAS PARA EL EQUIPAMIENTO DEL LABORATORIO DE HIDRÁULICA 22

de demostración pérdidas de energía, presa de cresta ancha con dos salidas diferentes y un escenario de descarga ((PDF) MANUAL DE PRACTICAS LABORATORIO DE HIDRÁULICA, 2022).

Universidad de los Andes

En estos laboratorios se realizan ensayos en conductos a flujo libre y a presión, y se estudian las características del flujo sobre estructuras hidráulicas.

Equipos: Canal autónomo Armfield S6 MKII de pendiente variable con paredes de cristal, consola de control, bomba y caudalímetro electromagnético. Cuenta con una sección de trabajo de 300 mm de ancho, 450 mm de profundidad y 10 metros de longitud. Tiene una inclinación positiva máxima 1:40 (1,4°), Inclinación negativa máxima 1:200 (0,28°) y un caudal máximo de operación de 31 lps. Además, cuenta con un canal de pendiente fija, prototipo de red de distribución, velocímetro Doppler (ADV) y banco de pruebas (Hidráulica y Sistemas de Alcantarillado, 2022).

Universidades Internacionales

Universidad de Sao paulo- Brasil

El Laboratorio de Hidráulica con un área de 330 m² apoya la actividad docente de las carreras de Ingeniería Civil, Ambiental y Mecánica, además de trabajar en el área de Hidráulica Experimental en la línea de transitorios en compuertas y autopistas.

Equipos: Dispone de instalación para de pérdidas de carga en tuberías, banco de pruebas de bombas y turbinas, canal de 25m de longitud, en dos geometrías, con aliviadero y compuerta, chimenea de balance, aliviadero con perfil Creager y canal para demostraciones (marca Armfield). Se alimenta por bombeo desde un embalse de 30 m³ o por gravedad a través de un cajón

elevado de 12 m³ (PHA - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental Da Escola Politécnica Da USP, 2022).

Universidad autónoma de México

La Universidad Autónoma de México cuenta con una larga lista de equipos para desarrollar las prácticas de laboratorio de hidráulica, además de cinco prácticas que cumplen con los objetivos de la materia. Las prácticas desarrolladas son las siguientes: Presentación del laboratorio, Energía específica, Energía específica II, Salto hidráulico y Flujo gradualmente variado.

Equipos: Canal Plint & Partners (12868), tobera (MDC-03-PLINT), manómetro diferencial cerrado (MDC-03-PLINT), transición vertical ascendente, limnómetro de punta (LMP-04-PLINT), tubo de Pitot y flexómetro (Reglamento Del Laboratorio 2023-1 — Laboratorio de Hidráulica, 2022).

Universidad de Illinois

El Laboratorio de Hidrosistemas Ven Te Chow es un laboratorio de investigación hidráulica de 11,000 ft² de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign, parte del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de primer nivel. El Laboratorio recibe su nombre en honor a su fundador, el Profesor Ven Te Chow (Servicios de Investigación – Ven Te Chow Hydrosystems Lab, 2022). El laboratorio está utilizando tecnología nueva y de bajo costo para medir perfiles de elevación de la superficie del agua instantáneos en canales de laboratorio. El sistema implementado actualmente fue diseñado, construido e instalado en Kinoshita Flume. El sistema utiliza tecnología comercial lista para usar como varios sensores de nivel de líquido MiloneTech eTape™ que se basan en cambios en la resistencia para obtener una elevación del agua. Todos los sensores están conectados a un Arduino Mega y el perfil de elevación de la superficie del agua se







envía continuamente a la pantalla a través de MATLAB (Servicios de Investigación – Ven Te Chow Hydrosystems Lab, 2022).

Equipos: El laboratorio tiene una variedad de instalaciones experimentales, que incluyen: Sistema de velocimetría láser Doppler (LDV) 3-D, gran canal basculante, canal serpenteante del río Kinoshita, canal de corriente de densidad, canal WHOI, Canal anular, túnel de cavitación, lavabo modelo, pequeño canal oscilatorio, sistema de estudio de procesos hidrológicos, infraestructura(Instalaciones Experimentales – Laboratorio de Hidrosistemas Ven Te Chow, 2022).

4.1.2 Resumen de prácticas de universidades locales y nacionales

Las prácticas más comunes entre las universidades investigadas incluyen el análisis de la curva de energía específica para un canal rectangular, estudio del flujo gradualmente variado, y del resalto hidráulico. El resumen de las prácticas de laboratorio de hidráulica que realizan las universidades investigadas se muestra en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Resumen de prácticas de universidades locales y nacionales

LABORATORIOS	UNIVERSIDADES LOCALES Y NACIONALES					
	 Universidad Pontificia Bolivariana	 Universidad de los Andes Columbo	 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	 Uptc Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia	 UNIVERSIDAD SANTO TOMAS	 Universidad Industrial de Santander
Propiedades físico-hidráulicas de los canales	x	x				
Resalto Hidráulico	x	x	x			x
Flujo en canales abiertos	x		x	x		x
Curva de energía específica para un canal rectangular	x	x	x	x	x	x
Vertederos y calibración de vertederos		x	x		x	x
Medidores en régimen crítico			x			x
Hidrometría y aforo de corrientes naturales			x			
Compuertas		x			x	x
Descarga debajo de una puerta deslizante.		x				
Canaleta Parshall						x
Coefficiente de Manning						x
Aforo por Molinete						x

4.1.3 Recopilación de las prácticas y equipamiento actual de la UIS

El Laboratorio de Hidráulica se encuentra orientado hacia el estudio, experimentación y observación de fenómenos hidráulicos en conductos abiertos para lo cual se cuenta con un canal principal para pruebas (la configuración de la pendiente variable no está en servicio) en el que se realizan estudios sobre los distintos regímenes de flujo y fenómenos tales como resalto hidráulico, compuertas, vertederos, entre otros. Las prácticas y equipos necesarios para el desarrollo de los laboratorios de hidráulica de la UIS se presentan en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Prácticas y equipos del Laboratorio de Hidráulica de la UIS.

#	PRÁCTICA	EQUIPOS NECESARIOS
1	Aforo por molinete	Molinete universal
		Regla o metro

#	PRÁCTICA	EQUIPOS NECESARIOS
		Canal rectangular de vidrio con pendiente variable
		Caudalímetro
		Sistema de bombeo
2	Energía específica	Canal rectangular de vidrio con pendiente variable
		Compuerta graduable
		Caudalímetro
		Sistema de bombeo
		Cronómetro, regla o metro
3	Transición en flujo subcrítico	Canal rectangular de vidrio con pendiente variable
		Transición
		Regla o metro
		Caudalímetro
		Sistema de bombeo
4	Resalto hidráulico	Sistema de bombeo
		Canal rectangular de vidrio con pendiente variable
		Compuerta graduable
		Regla o metro
		Caudalímetro
5	Coeficiente de Manning	Canal rectangular de vidrio con pendiente variable
		Sistema de bombeo
		Regla o metro
		Gato hidráulico
		caudalímetro
6	Flujo gradualmente variado perfil M2	Canal rectangular de vidrio con pendiente variable
		Sistema de bombeo
		Gato hidráulico
		Regla o metro
		caudalímetro
7	Compuertas de admisión inferior	Canal rectangular de vidrio con pendiente variable
		Sistema de bombeo
		Regla o metro

ALTERNATIVAS PARA EL EQUIPAMIENTO DEL LABORATORIO DE HIDRÁULICA 27

#	PRÁCTICA	EQUIPOS NECESARIOS
		Caudalímetro
8	Calibración de vertederos	Vertedero spillway
		Vertedero de pared gruesa
		caudalímetro
		Correntómetro
		Sistema de bombeo
		Cronometro
		Regla o metro
9	Canaleta Parshall	Canaleta parshall
		Vertedero de cresta ancha
		Regla o metro
		Canal rectangular de concreto
		Sistema de bombeo

Los equipos que existen actualmente en el Laboratorio de Hidráulica de la universidad industrial de Santander se muestran en el siguiente listado. Se tuvieron en cuenta todos los equipos, aunque hay algunos que no están en total funcionamiento:

- Canal con pendiente variable en vidrio
- Canal de concreto
- Bomba de impulsión
- Válvula de cheque
- Válvula de compuerta
- Válvula de bola
- Válvula de mariposa
- Tablero acrílico
- Vertedero rectangular sin contracción
- Obstáculo triangular y rectangular
- Tanque de quietamiento
- Vertedero spillway
- Canaleta parshall
- Manómetro de Bourdon
- Compuerta variable
- Tablero de control
- Molinete universal
- Medidor de caudal Endress-Hauser

4.1.4 Descripción del espacio del laboratorio actual de la UIS

El laboratorio actual de la Universidad Industrial de Santander cuenta con un espacio de **247 m²**, que se dispone en un área de enseñanza, un área para el cuarto de bombas y tanque subterráneo y el área donde se encuentran los equipos que conforman el Laboratorio de Hidráulica como lo es el canal de vidrio de 11 m, el canal en concreto, tubería de impulsión, vertederos, tanque de quietamiento y la canaleta Parshall (Ver Figura 1 y plano de detalles en el **Anexo 2**).

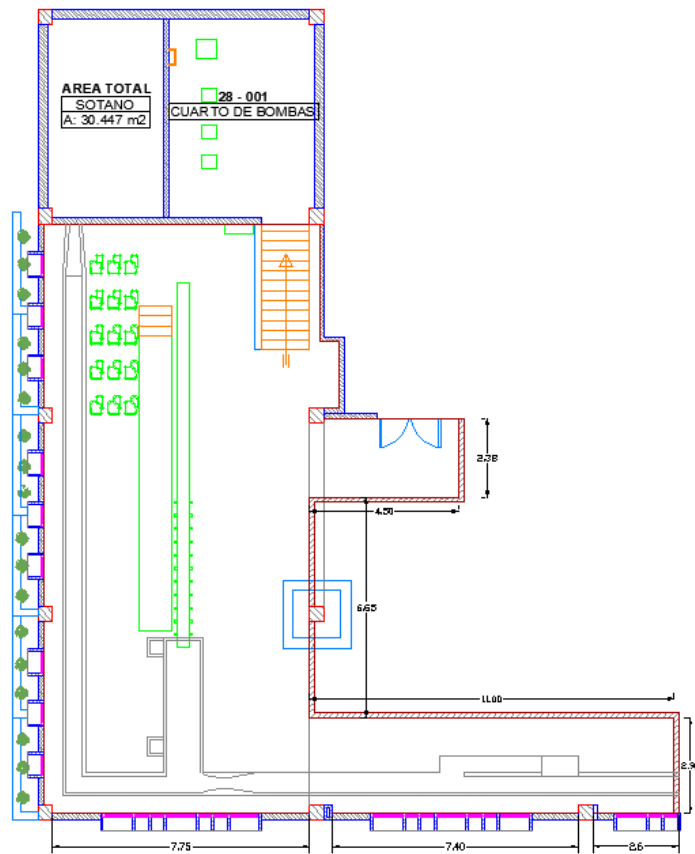


Figura 1. Plano del laboratorio actual de hidráulica de la UIS.

4.1.5 Diagnóstico actual del laboratorio de la UIS

Con el diagnóstico realizado a 17 equipos del Laboratorio de Hidráulica de la UIS, se evidencia que todos los equipos listados necesitan un mantenimiento correctivo, ya que la mayoría muestran un deterioro físico y, en algunos casos, mecánico. Existen dos bombas de impulsión, pero actualmente se usa solo la bomba de marca SIEMENS HP9, debido a que la bomba IHM modelo 10x16 10Tw requiere mayor potencia y esto genera que el tablero de control se apague por recalentamiento.

Las válvulas de cheque, de bola y de mariposa funcionan correctamente al igual que el caudalímetro electromagnético, el tanque de almacenamiento y los diferentes vertederos como lo son el rectangular y el spillway; la canaleta Parshall y el canal de concreto se encuentran en un estado aceptable pero no se usan en las prácticas del laboratorio debido a que no se tiene el equipo para medir el caudal en estas zonas del laboratorio.

El canal rectangular de pendiente variable no funciona en su totalidad ya que el gato hidráulico que permite la variación de la pendiente del canal se encuentra dañado; los accesorios de la práctica de transición en flujo subcrítico que se tienen para el canal son funcionales, aunque uno de ellos está agrietado; el canal también cuenta con una compuerta de entrada que funciona correctamente y una compuerta de salida que necesita mantenimiento.

El tablero de control de las bombas de impulsión necesita de revisión ya que presenta fallas en la medición de voltaje; el laboratorio posee 3 manómetros Bourdon ubicados en diferentes sitios como lo son la tubería de impulsión, la tubería proveniente del tanque elevado y la tubería de tanque subterráneo a bombas, este último se encuentra dañado.

El molinete universal con el que cuenta el laboratorio se encuentra en mal estado ya que el accesorio que mide las revoluciones por segundo está dañado; el cuarto de bombas del laboratorio

se inunda cada vez que llueve, esto debido a las goteras en la infraestructura, falla de la bomba sumergible y a la falta de drenaje.

El diagnóstico y detalle de todos los equipos se encuentra en el **Anexo 3**.

4.1.6 Equipos con potencial de reúso

Se configuró una tabla con el equipamiento del Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Industrial de Santander. Con base en el diagnóstico actual del laboratorio y en el inventario de equipos existentes, se determinó el estado, su posibilidad de reúso y el mejoramiento de los equipos en mal estado para cumplir de manera idónea la experiencia de laboratorio (ver **Tabla 3**).

De los 23 equipos listados, solo 10 tienen posibilidad de reúso; este concepto se emite con base en su estado actual, posibilidad de traslado y configuración del nuevo espacio del laboratorio.

Tabla 3. Equipos necesarios para cada práctica del laboratorio de hidráulica

#	EQUIPAMIENTO	ESTADO	REÚSO	ALTERNATIVA DE MEJORAMIENTO /OBSERVACION
1	Canal con pendiente variable en vidrio	Regular	SI	Arreglar gato hidráulico para la variación de pendiente Mantenimiento adecuado (Pintura, limpieza y arreglo de filtraciones)
2	Canal de concreto	Bueno	No	No es posible constructivamente
3	Bomba SIEMENS HP9	Regular	No	Cambiar a bombas actuales
4	Bomba IHM 10x16 10tw	Regular	No	Cambiar a bombas actuales
5	Válvula de cheque	Bueno	SI	Depende del diámetro utilizado

ALTERNATIVAS PARA EL EQUIPAMIENTO DEL LABORATORIO DE HIDRÁULICA 31

#	EQUIPAMIENTO	ESTADO	REÚSO	ALTERNATIVA DE MEJORAMIENTO /OBSERVACION
6	Válvula de compuerta (tanque de aquietamiento)	Bueno	SI	Depende del diámetro utilizado
7	Válvula de compuerta (Bomba SIEMENS)	Bueno	SI	Depende del diámetro utilizado
8	Válvula de compuerta (Bomba IHM)	Malo	SI	Depende del diámetro utilizado
9	Válvula de bola	Bueno	SI	Depende del diámetro utilizado
10	Válvula de mariposa	Bueno	SI	Depende del diámetro utilizado
11	Vertedero rectangular sin contracción	Bueno	No	No es posible constructivamente
12	Obstáculo triangular y rectangular	Malo	No	Adquirir nuevos accesorios para el canal que potencialicen la experiencia del laboratorio
13	Tanque de aquietamiento	Bueno	No	No es posible constructivamente
14	Vertedero spillway	Bueno	SI	Depende de las medidas del tanque de aquietamiento
15	Canaleta parshall	Regular	No	No es posible constructivamente
16	Manómetro de Bourdon (Tanque elevado)	Regular	No	Implementar manómetros modernos
17	Manómetro de Bourdon (tubería de impulsión)	Bueno	SI	Depende del diámetro utilizado
18	Manómetro de Bourdon (Cuarto de bombas)	Malo	No	Implementar manómetros modernos
19	Compuerta variable (Inicio del canal)	Regular	No	Adquirir nuevos accesorios para el canal que potencialicen la experiencia del laboratorio
20	Compuerta variable (Final del canal)	Malo	No	Adquirir nuevos accesorios para el canal que potencialicen la experiencia del laboratorio
21	Tablero de control	Regular	No	Adquirir un tablero de control moderno

#	EQUIPAMIENTO	ESTADO	REÚSO	ALTERNATIVA DE MEJORAMIENTO /OBSERVACION
22	Molinete universal	Malo	No	Adquirir un nuevo equipo Arreglar el equipo actual
23	Medidor de caudal Endress-Hauser	Bueno	SI	Depende del diámetro utilizado

Nota: Equipos existentes en funcionamiento en el laboratorio de hidráulica de la UIS y equipos a mejorar. Adaptado de la “Guía de laboratorio de hidráulica”.

4.1.7 Comparativa del Laboratorio de Hidráulica entre otras universidades y la UIS

El estado del laboratorio de hidráulica de la Universidad Industrial de Santander se determinó mediante la comparación de tres ítems: instalaciones, equipos y prácticas de laboratorio, esto respecto a las universidades investigadas de carácter local, nacional e internacional.

Instalaciones: La UIS se encuentra con instalaciones de bajo nivel con respecto a todas las universidades investigadas, ya que el espacio actual cuenta con daños de infraestructura que con el paso del tiempo acortan la vida útil de los equipos, como es el caso del cuarto de bombas que presenta grandes filtraciones que provocan inundaciones. En términos de instalaciones, se destaca a nivel internacional la Universidad de Illinois y a nivel nacional la Universidad de los Andes.

Equipos: El equipamiento actual de la universidad es muy antiguo e insuficiente en algunos casos. Este es el caso del molinete universal que se encuentra dañado, al igual que el gato hidráulico que permite la variación del canal rectangular. Las compuertas se encuentran en mal estado y el equipo de bombas y tablero eléctrico que fallan frecuentemente por su deterioro. En general, se necesita mayor mantenimiento de los equipos existentes para que funcionen

correctamente. Todo esto hace que el laboratorio se encuentre en un punto de comparación bajo con respecto a las universidades investigadas de carácter local, nacional e internacional.

Prácticas de laboratorio: Todas las universidades investigadas cuentan con canales de pendiente variable convencionales, es decir, con bombas y tubería de impulsión tanque bajo a tanque alto. Esta configuración también la utiliza la UIS, pero con daños eléctricos en el sistema de bombeo. La UIS es la única universidad que no cuenta con un sistema de medición exacto de niveles del agua, ya que en las otras universidades usan instrumentos como limnómetro o sensores de nivel, haciendo menos exacta la toma de datos.

Las universidades investigadas cuentan con un canal hidráulico con diferentes accesorios especialmente adaptados para la realización de todas las prácticas, entre ellos: compuertas, presa de cresta ancha, presa de cresta con dos salidas diferentes, un escenario de descarga, vertedero de pared gruesa y delgada, lo que da como ventaja un sistema homogéneo (canal, accesorios y bombeo) con diferentes características en su aplicación lo que hace que los estudiantes puedan visualizar distintas maneras de hacer una misma práctica bajo condiciones variables. Este aspecto es donde la UIS se encuentra muy por debajo del promedio de las universidades investigadas, ya que no cuenta con este tipo de accesorios.

4.2 Requerimientos del nuevo Laboratorio de Hidráulica

4.2.1 Disposición del espacio físico del nuevo Laboratorio de Hidráulica

Con base en los planos entregados por la oficina de Planeación de la UIS, y las diversas reuniones entre los arquitectos y profesores del Área de Recursos Hídricos, se acordó una distribución para la configuración actual del laboratorio. El nuevo laboratorio de hidráulica de la Universidad Industrial de Santander cuenta con un área aproximada de **223 m²** que es más pequeña

en comparación con los **247 m²** del área actual del laboratorio de hidráulica, esta nueva área se distribuirá de la siguiente manera: un espacio destinado a la enseñanza de las prácticas que se realizarán a lo largo de la clase y un espacio destinado a los equipos de laboratorio (ver Figura 2 y **Anexo 4**). En la actualidad solo se tiene información de la distribución de la planta principal.

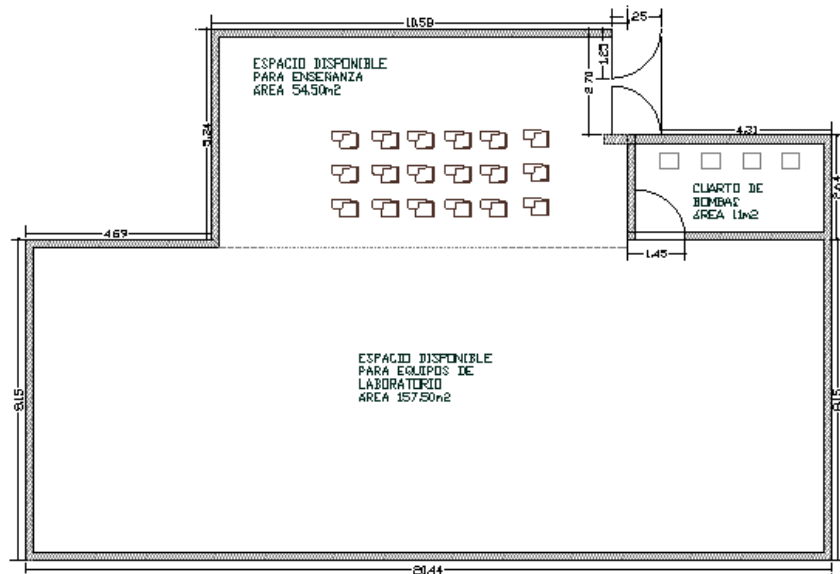


Figura 2. Plano del espacio físico del nuevo laboratorio de hidráulica de la UIS.

4.2.2 Identificación de falencias y limitaciones del Laboratorio de Hidráulica

Las encuestas implementadas buscaron obtener información soportada en la experiencia de los docentes del Área de Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental y también conocer la percepción de los estudiantes que tuvieron contacto directo en el semestre con las prácticas desarrolladas en el laboratorio de Hidráulica. Se trataron dos aspectos: equipos e infraestructura.

Análisis de encuesta docente

La encuesta fue diligenciada por 7 docentes del área de Recurso Hídrico y Saneamiento Ambiental de la EIC, donde 4 se desempeñan como docentes planta y 3 como docentes cátedra. A la pregunta de si la infraestructura actual del laboratorio de hidráulica cumple con los

requerimientos necesarios para realizar todas las prácticas que soportan la enseñanza del curso, cuatro (4) profesores dijeron que no, uno (1) dijo que sí y dos (2) dijeron que no sabían sobre su condición (Figura 3).

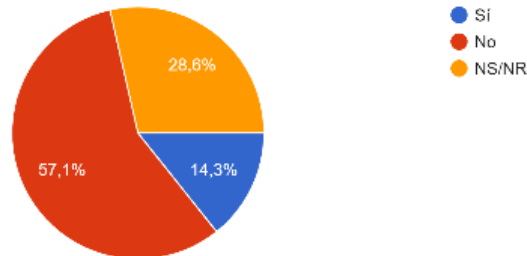


Figura 3. Respuesta gráfica de la pregunta ¿Cree usted que la infraestructura actual del laboratorio de hidráulica cumple con los requerimientos necesarios para realizar las prácticas que soportan la enseñanza del curso?

A la pregunta de si los equipos están en condiciones adecuadas para realizar las prácticas actuales, cinco (5) de ellos respondieron que no (Figura 4); esto debido a que algunos equipos están dañados u obsoletos, presentan desgaste natural y presentan un mantenimiento poco frecuente. Además, mencionaron que se pueden mejorar los equipos, teniendo en cuenta la trayectoria y prestigio del programa no solo a nivel regional sino nacional.

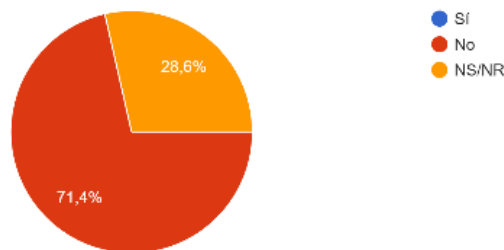


Figura 4. Respuesta gráfica de la pregunta ¿Considera usted que los equipos del laboratorio de hidráulica están en buenas condiciones para el desarrollo de las prácticas actuales?

La mayoría de los docentes encuestados opinan que no hay recursos financieros ni de talento humanos suficientes para poder realizar una correcta operación y mantenimiento del laboratorio (Figura 5).

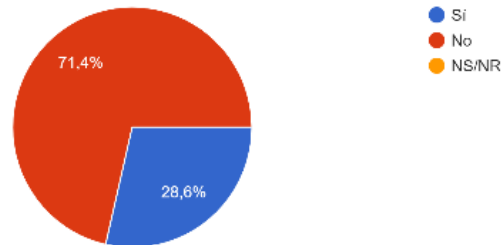


Figura 5. Respuesta gráfica de la pregunta ¿Considera que la universidad cuenta con el recurso humano y financiero para una adecuada operación y mantenimiento del laboratorio?

Por último, propusieron mejoras para el nuevo laboratorio, entre las que se destacan las siguientes:

1. Seguridad industrial dentro del laboratorio
2. Sistema SCADA
3. Banco de tuberías para práctica de acueductos
4. Accesorios dinámicos para tener más variables en los laboratorios de hidráulica
5. Simulaciones que complementen la práctica de hidráulica
6. Nuevos instrumentos de medición
7. Modelos a escala de obras hidráulicas

Análisis de encuesta a estudiantes

La encuesta dirigida a 100 estudiantes del curso de hidráulica del semestre 2022-2 de la Universidad Industrial de Santander, tuvo una participación de 87 estudiantes, lo que dio un panorama bastante amplio de las experiencias vividas en el laboratorio.

Se identificaron falencias de los equipos actuales debido a que el 76 % de los encuestados contestaron que los equipos no eran los necesarios para poder llevar a cabo las prácticas de laboratorio (Figura 6). En general, sus justificaciones fueron por daños que presentan los equipos como el canal de pendiente variable, las compuertas, el molinete universal y el sistema de bombeo. Por fallas de estos equipos no fue posible realizar de forma presencial más de la mitad de los laboratorios del semestre 2022-2.

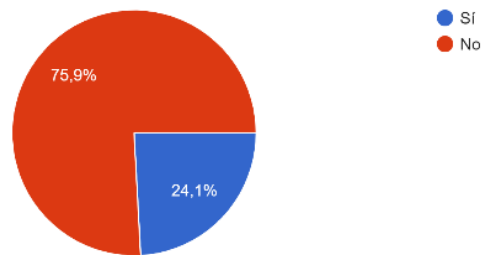


Figura 6. Respuesta gráfica de la pregunta ¿Considera usted que el laboratorio actual tiene los equipos necesarios para la realización de las prácticas de la asignatura de hidráulica?

Las respuestas obtenidas a la pregunta: ¿Considera que las instalaciones actuales (espacio, iluminación, condiciones de seguridad) son idóneas para el aprendizaje? se reflejan en la figura 7, a lo que el 66% respondió que no, esto debido en su mayoría a que se presenta inundaciones por lluvias, falta de mantenimiento del lugar, equipos y tanque de suministro de agua, para solventar esta problemática los encuestados propusieron mejorar la iluminación del lugar y la distribución de los equipos, dotar el espacio de sillas para la capacidad de personas asistentes, proporcionar equipos audiovisuales y controlar los ruidos del lugar para que haya un mejor entendimiento de las prácticas.

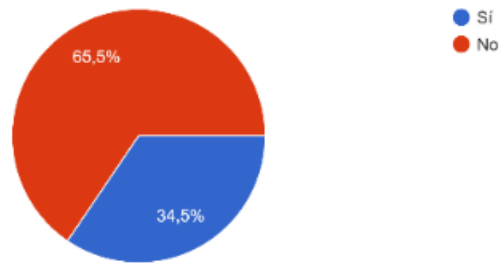


Figura 7. Respuesta gráfica de la pregunta ¿Considera que las instalaciones actuales (espacio, iluminación, condiciones de seguridad) son idóneas para el aprendizaje?

Las respuestas obtenidas a la pregunta: ¿Considera usted que las prácticas del laboratorio complementan exitosamente el aprendizaje de la materia?, dieron como resultado que el 63,2% respondió que sí, pues aunque el laboratorio tiene sus falencias en los equipos y espacios, ellos consideran que las prácticas que se realizan complementan su aprendizaje debido a que las guías de los laboratorios son claras, además de que estos laboratorios van a la par en los temas vistos en la materia teórica, lo cual permite que sea más sencillo estudiar para los parciales y demás trabajos que se hacen en la materia; es importante mencionar que algunas de las respuestas de las encuestas decían que no querían más prácticas virtuales, ver figura 8.

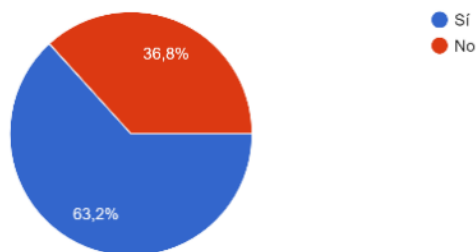


Figura 8. Respuesta gráfica de la pregunta ¿Considera usted que las prácticas del laboratorio complementan exitosamente el aprendizaje de la materia?

Los estudiantes que contestaron la encuesta realizaron anteriormente una investigación sobre las prácticas, instalaciones y equipos presentes en otras universidades locales, nacionales e internacionales, teniendo como referencia las mismas universidades expuestas al inicio del documento, con base a esto se preguntó el estado del laboratorio de la universidad industrial de Santander respecto a las otras universidades, donde el 24.1% de los estudiantes piensan que el estado es bueno, el 62.1% opina que el estado es regular y el 13.8% dicen que el estado es malo, ver figura 9.

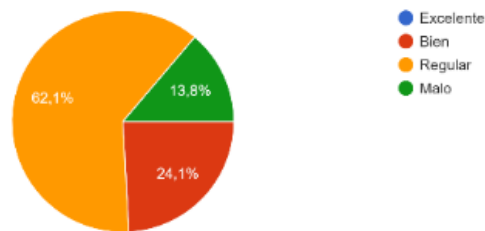


Figura 9. Respuesta gráfica de la pregunta Según la investigación realizada en otras universidades ¿Cómo cree que se encuentra la UIS en términos de equipos, infraestructura y prácticas?

Por último, las observaciones o sugerencias para el mejoramiento de las experiencias del Laboratorio de Hidráulica realizadas por los estudiantes consistían en la mejora de equipos o en su defecto adquisición de nuevos equipos, también piensan que la universidad debe tener mejores recursos económicos para invertir en sus laboratorios ya que esta se encuentra muy bien posicionada y creen que el laboratorio debería estar en un mejor estado, recomiendan utilizar equipos de mayor precisión para la toma de medidas de altura de agua del canal además de que sería bueno que se adquirieran más accesorios.

Ver resultados compilados para las encuestas docentes y encuestas de estudiantes en el **Anexo 1**.

4.2.3 Implementación de un banco hidráulico con automatización

Con base en las respuestas y propuestas dadas por los docentes y estudiantes en las encuestas realizadas, se considera importante profundizar sobre los sistemas de automatización para bancos hidráulicos, ya que actualmente son uno de los sistemas más utilizados en la industria de canales como, por ejemplo: plantas de tratamiento de aguas.

El sistema de automatización de datos también es conocido como sistema SCADA se usa para tener control, supervisión y adquisición de datos en tiempo real, este recoge los datos del campo con varios sensores conectados a una caja de control que los almacena en una tarjeta de adquisición que a su vez envía los datos a un computador. (Qué Es Un Sistema SCADA, Cómo Funciona y Para Qué Sirve, 2022).

Diferentes equipos trabajan con sistemas de automatización propias de cada marca; esto lo que implica son software y licencias diferentes entre ellos, pero todas generan un entorno común de datos, como es el caso de los equipos EDIBON que tienen su propio software de automatización llamado sistema industrial SCADA + PLC que es el más complejo y real disponible en el mercado. En las fábricas, la mayoría de los procesos de fabricación disponen de esta combinación. En general, estos procesos se componen básicamente de las siguientes partes: sensores para obtener la información, actuadores para poder actuar sobre el proceso y controladores para procesar la información. Estos procesos repetitivos son realizados por PLC. (Expansiones, 2022).

Ventajas de los bancos hidráulicos con sistema SCADA

- El sistema ofrece la posibilidad de almacenar gran cantidad de datos.
- Los datos pueden mostrarse en varios formatos según las necesidades del usuario.

- Proporciona una interfaz para conectar miles de sensores en una amplia área para diversas operaciones de supervisión y control.
- Es posible obtener simulaciones de datos reales con la ayuda de los operarios.
- Con los protocolos avanzados y los softwares de aplicación, los datos pueden ser monitoreados desde cualquier lugar y no sólo desde el sitio local.
- La redundancia de unidades está incorporada en el sistema SCADA para tener una copia de seguridad en caso de averías o fallos. Esto hace que el sistema sea más robusto.
- Es escalable y flexible a la hora de añadir recursos adicionales(Expansiones, 2022).

Desventajas de los bancos hidráulicos con sistema SCADA

- El sistema SCADA basado en PLC es complejo en términos de unidades de hardware y módulos dependientes.
- Como el sistema es complejo, requiere operarios, analistas y programadores cualificados para mantener el sistema SCADA.
- Los costos de instalación son mayores.
- El sistema admite el uso de programas informáticos y equipos de hardware restringidos(Expansiones, 2022).

4.2.4 Aportes al nuevo laboratorio con base en resultados de expertos e investigación

Con base en los resultados de la encuesta realizada a los docentes del área de aguas y a los estudiantes del laboratorio de hidráulica del semestre 2022-2, las diversas consultas con profesionales del área, tanto profesores como ingenieros que se desempeñan directamente en la rama de hidráulica y las investigaciones realizadas sobre los equipos, instalaciones y prácticas desarrolladas en universidades locales, nacionales e internacionales, se plantea una ruta de acción

para el equipamiento y espacio del nuevo Laboratorio de Hidráulica de la escuela de ingeniería civil.

Equipamiento e insumos

- Banco hidráulico.
- Implementar un sistema de control tipo SCADA
- Accesorios que permitan mayores análisis en las prácticas de laboratorio
- Simulaciones virtuales de las prácticas de laboratorio
- Equipamiento adecuado para mediciones de alturas, presiones, velocidades y caudales.
- Medidor de caudal para canal de concreto
- Bombas de impulsión que garanticen el funcionamiento continuo del laboratorio
- Equipos audiovisuales
- Modelos a escala de obras hidráulicas
- Seguridad industrial
- Técnico de laboratorio

4.3 Equipamientos más relevantes para el nuevo Laboratorio de Hidráulica de la UIS.

Se presentan las propuestas definidas para el nuevo Laboratorio de Hidráulica con base en las sugerencias de estudiantes, docentes y de investigación implementadas en otros laboratorios de Colombia y el mundo, estas propuestas se presentan con una posible distribución de espacios, cotizaciones y un presupuesto con costos directos de suministro e instalación de cada propuesta.

4.3.1 Propuesta preliminar de espacio del nuevo laboratorio de hidráulica

El nuevo Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Industrial de Santander cuenta con un área aproximada de 223 m² la cual se distribuirá de la siguiente manera (ver Figura 2): un espacio destinado a la enseñanza de las prácticas, un espacio destinado a los equipos de laboratorio y un espacio destinado al cuarto de bombas o almacenamiento.

El área destinada a los equipos cuenta con un espacio para un canal hidráulico de hasta 11 metros de longitud, que puede funcionar con banco hidráulico (con sistema de bombeo incorporado) o por bombeo de tanque subterráneo-tanque elevado. En caso de que el funcionamiento del laboratorio sea totalmente con bancos hidráulicos, el cuarto de bombas estaría destinado para almacenamiento; se propone también el espacio para un canal hidráulico de concreto enterrado (como se dispone en la figura 10) con sección transversal de 0.5x 0.6 m, además de un espacio para ubicar un banco de tuberías que puede utilizarse para realizar prácticas relacionadas con acueductos y alcantarillado. El laboratorio también contaría con un espacio para un canal de menor longitud de pendiente variable con banco hidráulico (con sistema de bombeo incorporado) de 5 m que tiene diferentes accesorios lo que permitirá enriquecer la experiencia de los futuros estudiantes del Laboratorio de Hidráulica, ver plano en el **anexo 5**.

4.3.2 Propuestas de equipamiento del nuevo laboratorio de la UIS

Propuesta combinada con reúso de equipos: Propuesta de un canal hidráulico con banco (con sistema de bombeo incorporado) de 5m de longitud automatizado como equipo de uso complementario al canal convencional existente de 11m por bombeo de tanque inferior a tanque aéreo, acompañado de los accesorios que complementen cada práctica de laboratorio (como se dispone en la **figura 10**, ver presupuesto de la propuesta en **la tabla 4**). Es importante resaltar que

para esta propuesta se necesitaría hacer reuso del canal hidráulico actual, pero con una adaptación de accesorios, nuevas bombas y un diseño hidráulico completo que no hace parte del alcance del proyecto. La ventaja de esta propuesta es poder enseñarles a los estudiantes tanto el funcionamiento tradicional de bombeo con toma de datos manual, como el manejo de sistemas de datos ofrecidos por el canal automatizado, con mayor número de accesorios y experiencias.

La cotización realizada para los equipos se encuentra detallada en el **anexo 6**.

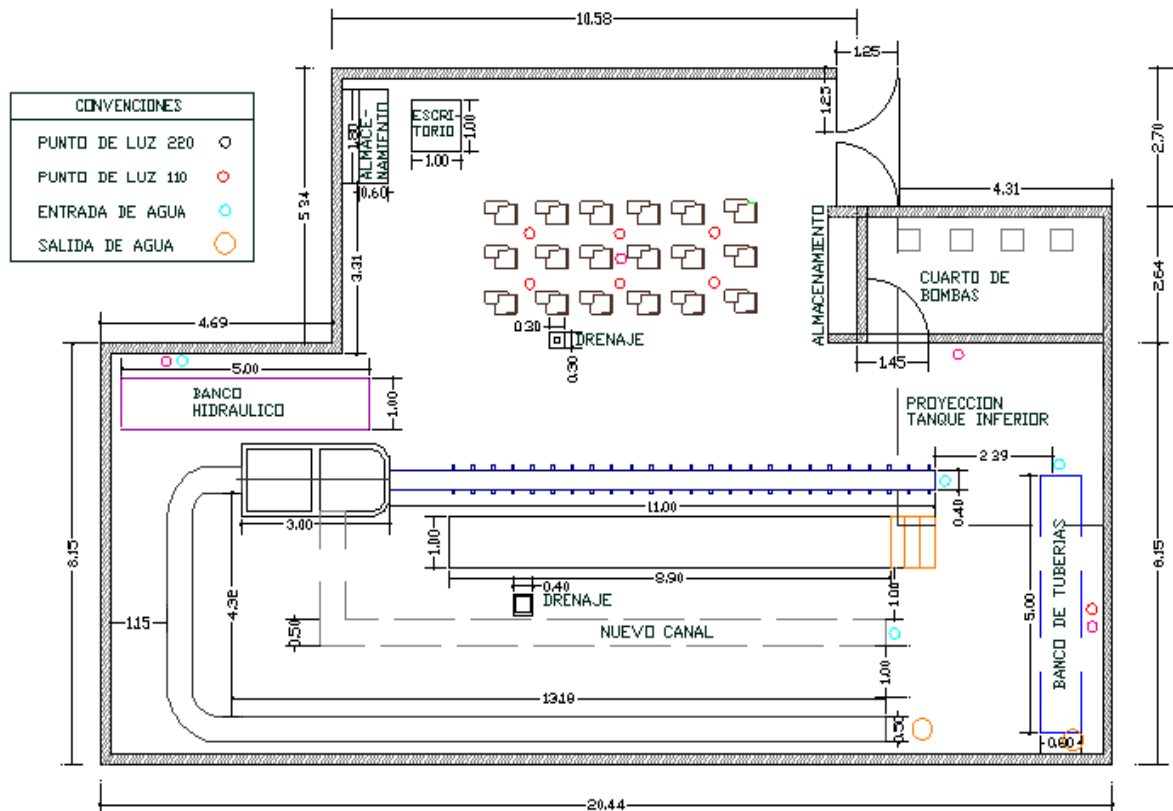


Figura 10. Plano con distribuciones del nuevo laboratorio de hidráulica de la UIS.

Se cotizaron bancos hidráulicos de tres marcas diferentes sin accesorios y se obtuvo que:

- El banco hidráulico sin automatización de 5 m de longitud marca Armfield tiene un costo de \$185.528.800.

ALTERNATIVAS PARA EL EQUIPAMIENTO DEL LABORATORIO DE HIDRÁULICA 45

-El banco hidráulico con automatización de 5 m de longitud de marca Edibon tiene un costo de \$536.506.000.

-El banco hidráulico sin automatización de 2.5 m de longitud de marca DIKOIN tiene un costo de \$131.403.700.

Propuesta con equipos nuevos: Propuesta de un canal hidráulico con banco (con sistema de bombeo incorporado) de 10m de longitud automatizado como equipo de uso principal, acompañado de los accesorios que complementen cada práctica de laboratorio. La ventaja de esta propuesta es que un mismo equipo facilitaría la realización de todas las prácticas de laboratorio con la implementación de sus accesorios correspondientes (como se dispone en la **figura 11**, ver presupuesto de la propuesta en **la tabla 5**) y se aprovecharía mejor el espacio, dejando así la posibilidad de incorporar nuevos equipos de otras ramas de académicas como la Hidrología, Acueductos y Alcantarillado.

La cotización realizada para los equipos se encuentra detallada en el **anexo 6**.

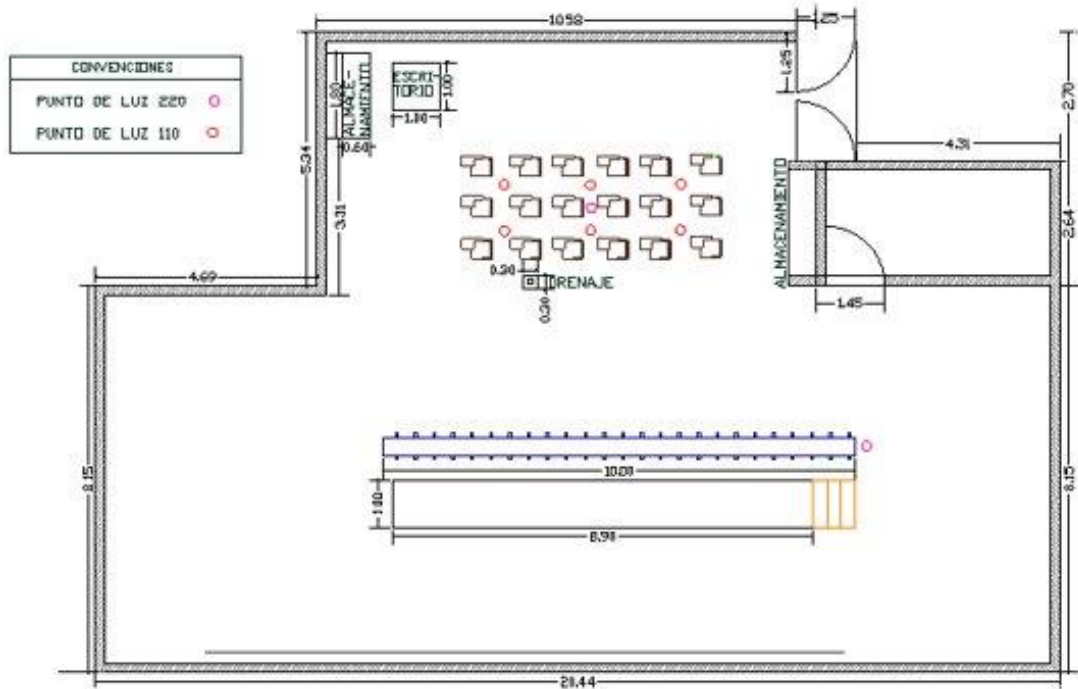


Figura 11. Plano con distribución de equipos propuesta dos de equipamiento para el nuevo laboratorio de hidráulica de la UIS.

Se cotizaron tres bancos hidráulicos de diferentes marcas sin accesorios y se obtuvo que:

-El banco hidráulico sin automatización de 10 m de longitud marca Armfield tiene un costo de \$1.449.302.5470

-El banco hidráulico con automatización de 10 m de longitud de marca Armfield tiene un costo de \$1643.841.962

-El banco hidráulico con automatización de 10 m de longitud de marca Edibon tiene un costo de \$750.000.000

4.3.3 Cotizaciones de los equipos propuestos

Se presentan las cotizaciones realizadas con base en las sugerencias de los profesores y expertos, de cada uno de los equipos proyectados para el nuevo Laboratorio de Hidráulica de la UIS, estos equipos son:

- Canal de Fluidos (sección: 80 x 300 mm), longitud: 5 m., Controlado desde Computador (PC), marca: EDIBON.
- Canal de fluidos sección (300 x 450 mm) controlado desde PC de longitud: 5, 7.5 y 10 metros, marca: EDIBON.
- Canal de fluidos sección (400 x 500 mm) controlado desde PC de longitud: 5, 7.5 y 10 metros, marca: EDIBON.
- Canal multipropósito de 10, 5 y 2.5 metros de longitud y 76 mm de ancho, marca: ARMFIELD.
- Canal hidrodinámico de 2.5 m de longitud, marca: DIKOID

Las cotizaciones fueron dadas por los fabricantes mediante la solicitud de los interesados y se encuentran en el **Anexo 6**.

Se aclara que algunas cotizaciones extras de accesorios y diseños hidráulicos del laboratorio no alcanzaron a ser suministradas durante el tiempo de realización de este trabajo de grado.

4.3.4 Análisis de bancos hidráulicos

Se realiza una comparación entre canales con bancos hidráulicos de diferentes fabricantes cotizados anteriormente para el nuevo Laboratorio de Hidráulica de la UIS, con el fin de comparar

aspectos como: disponibilidad, costo, automatización de datos, instalación, transporte, manuales, garantía del producto y soporte técnico, estos aspectos se evaluaron para los fabricantes EDIBON, ARMFIELD y DIKOID. Luego de comparar los aspectos mencionados se seleccionó el fabricante EDIBON, ya que este cuenta con la mayoría de los equipos necesarios para el desarrollo de las prácticas de Laboratorio de Hidráulica actuales, además de ofrecer un sistema de automatización de datos que se adapta a las diferentes necesidades del laboratorio, ya que el suministro de datos puede realizarse para diferentes equipos en simultaneo o para un solo equipo procesador de datos global. Este análisis se presenta en el **Anexo 7**.

4.3.5 Presupuesto de los equipos propuestos para el nuevo laboratorio

Propuesta combinada con reuso de equipos: Para esta propuesta se tuvo en cuenta el canal de 5 m de longitud con una sección de 300x450 mm controlado desde computador como canal complementario, con los accesorios requeridos para su funcionamiento básico y los accesorios para las diferentes prácticas de laboratorio actuales. Se realiza un presupuesto con costos directos que incluyen el transporte de los equipos y la instalación (**ver tabla 4**), además de los diferentes manuales que se encuentran en el **anexo 8**.

Tabla 4. Propuesta 1 de equipamiento para el nuevo laboratorio de hidráulica de la UIS

Equipamiento del laboratorio de hidraulica de la UIS				
Fecha: 26/03/2023				
ITEM	CONCEPTO	UNIDADES	CANTIDAD	COSTO DIRECTO
1	Suministro de canal de fluidos (seccion: 300x450 mm) longitud:10m controlado desde computador			
1.1	Canal de fluidos (seccion: 300x450 mm) longitud:10m controlado desde computador	un	1	\$ 750,750,000.00
1.2	Regleta de Medición de la Altura del Agua (Limnómetro) para Canal de Sección 300 mm	un	1	\$ 19,110,000.00
1.3	Tubo Venturi con Indicador Digital de Presión Diferencial para la Medida de Caudal de Entrada para Canal de Sección 300 mm	un	1	\$ 46,922,000.00
1.3	Tubo de Pitot con Panel de Tubos Manométricos para Canal de Sección 300 mm	un	1	\$ 14,700,000.00
1.4	Compuerta con Descarga Inferior Ajustable para Canal de Sección 300 mm	un	1	\$ 9,739,000.00
1.5	Compuertas Plana, Vertical y Radial para Canal de Sección 300 mm	un	1	\$ 29,358,000.00
1.6	Vertederos de Pared Delgada para Canal de Sección 300 mm	un	1	\$ 6,983,000.00
1.7	Vertedero de Pared Ancha para Canal de Sección 300 mm	un	1	\$ 6,983,000.00
1.8	Vertedero Critico para Canal de Sección 300 mm	un	1	\$ 24,218,000.00
1.9	Accesorios para la Disipación de Energía para Canal de Sección 300 mm	un	1	\$ 12,852,000.00
1.10	Placas de Lecho Rugoso para Canal de Sección 300 mm	un	1	\$ 14,222,000.00
1.11	Medidor Parshall para Canal de Sección 300 mm	un	1	\$ 53,918,000.00
1.12	Indicador Digital del Nivel del Agua para Canal de Sección 300 mm	un	1	\$ 23,153,000.00
1.13	Medidor de Velocidad para Canal de Sección 300 mm	un	1	\$ 21,315,000.00
Total costos directos =				\$ 1,034,223,000.00

Propuesta con equipos nuevos: Para esta propuesta se tuvo en cuenta el canal principal de 10 m de longitud con una sección de 300x450 mm controlado desde computador, con los accesorios requeridos para su funcionamiento básico y los accesorios para las diferentes prácticas de laboratorio actuales. Se realiza un presupuesto con costos directos que incluyen el transporte de los equipos y la instalación (**ver tabla 5**), además de los diferentes manuales que se encuentran en el **anexo 8**.

Tabla 5. Propuesta 2 de equipamiento para el nuevo laboratorio de hidráulica de la UIS

Equipamiento del laboratorio de hidraulica de la UIS				
Fecha: 26/03/2023				
ITEM	CONCEPTO	UNIDADES	CANTIDAD	COSTO DIRECTO
1	Suministro de canal de fluidos (seccion: 300x450 mm) longitud:5m controlado desde			
1.1	Canal de fluidos (seccion: 300x450 mm) longitud:5m controlado desde computador	un	1	\$ 536,506,000.00
1.2	Regleta de Medición de la Altura del Agua (Limnómetro) para Canal de Sección 300 mm	un	1	\$ 19,110,000.00
1.3	Tubo Venturi con Indicador Digital de Presión Diferencial para la Medida de Caudal de Entrada para Canal de Sección 300 mm	un	1	\$ 46,922,000.00
1.3	Tubo de Pitot con Panel de Tubos Manométricos para Canal de Sección 300 mm	un	1	\$ 14,700,000.00
1.4	Compuerta con Descarga Inferior Ajustable para Canal de Sección 300 mm	un	1	\$ 9,739,000.00
1.5	Compuertas Plana, Vertical y Radial para Canal de Sección 300 mm	un	1	\$ 29,358,000.00
1.6	Vertederos de Pared Delgada para Canal de Sección 300 mm	un	1	\$ 6,983,000.00
1.7	Vertedero de Pared Ancha para Canal de Sección 300 mm	un	1	\$ 6,983,000.00
1.8	Vertedero Critico para Canal de Sección 300 mm	un	1	\$ 24,218,000.00
1.9	Accesorios para la Disipación de Energía para Canal de Sección 300 mm	un	1	\$ 12,852,000.00
1.10	Placas de Lecho Rugoso para Canal de Sección 300 mm	un	1	\$ 14,222,000.00
1.11	Medidor Parshall para Canal de Sección 300 mm	un	1	\$ 53,918,000.00
1.12	Indicador Digital del Nivel del Agua para Canal de Sección 300 mm	un	1	\$ 23,153,000.00
1.13	Medidor de Velocidad para Canal de Sección 300 mm	un	1	\$ 21,315,000.00
Total costos directos =				\$ 819,979,000.00

4.3.6 Especificaciones técnicas de los equipos a implementar

Se presentan las especificaciones técnicas de cada uno de los equipos cotizados para el nuevo Laboratorio de Hidráulica de la UIS, estas especificaciones fueron entregadas por los fabricantes de cada equipo y se encuentran en el **Anexo 8**.

5 Conclusiones

El análisis de prefactibilidad realizado para el equipamiento del nuevo Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Industrial de Santander, sede Bucaramanga, tuvo como finalidad el estudio de las necesidades académicas del plan educativo actual de la carrera de ingeniería civil, basándose en la problemática vivenciada en las prácticas actuales por falta de mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos en uso.

Para dar solución a esta problemática se presentaron dos propuestas de equipamiento y distribución de espacio del nuevo Laboratorio de Hidráulica, que cumplen con los requisitos del plan académico para la realización de las prácticas de laboratorio y su implementación dependerá de la financiación económica dada a este proyecto y al enfoque final concertado.

La propuesta uno tiene como principal ventaja el acercamiento a la automatización y el manejo de datos que se presentan en el campo laboral, pero al mismo tiempo se conoce el procedimiento manual de toma de datos mediante el canal convencional.

La propuesta dos permitirá la incorporación de nuevas experiencias de laboratorio ya que necesita menor área para su implementación, permitiendo así espacios nuevos para el desarrollo de otras experiencias requeridas por el área de Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental de la Escuela de Ingeniería Civil de la UIS.

Estas propuestas se realizaron basados en la investigación de otros laboratorios del país y del mundo, que pudieran dar una mejor idea del nivel al que se quiere llevar el nuevo laboratorio de hidráulica, además se reforzaron con los aportes de docentes y estudiantes del área para mejorar las falencias que tiene el laboratorio actualmente, todo esto para presentar las dos opciones de equipamiento más relevantes, destacando la utilización de canales con bancos hidráulicos controlados desde computador ya que estos complementan las prácticas tanto en variación de

accesorios y en la automatización de datos que combinados hacen del nuevo laboratorio una apuesta segura al desarrollo de nuevas experiencias para los estudiantes.

6 Referencias Bibliográficas

Andrés, J., & Henao, G. (n.d.). *DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE FUNCIONAMIENTO DEL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA SEDE CIUDADELA UNIVERSITARIA EL PORVENIR FACULTAD DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES INGENIERÍA SANITARIA BOGOTÁ D.C-2018.*

Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola - Hidráulica. (2022). Retrieved December 3, 2022, from <https://sites.google.com/a/unal.edu.co/dica/laboratorios/hidraulica?pli=1>

Expansiones. (2022). Retrieved March 25, 2023, from <https://www.edibon.com/es/content/expansiones#plc>

FFM-E-Civil-I-Es – Universidad Industrial de Santander. (2022). Retrieved August 15, 2022, from <https://uis.edu.co/ffm-e-civil-i-es/>

Hidráulica y Sistemas de Alcantarillado. (2022). Retrieved December 3, 2022, from <https://laboratoriointegrado.uniandes.edu.co/78-laboratorio-ingenieria-civil/78-hidraulica-y-sistemas-de-alcantarillado>

Instalaciones Experimentales – Laboratorio de Hidrosistemas Ven Te Chow. (2022). Retrieved December 3, 2022, from <https://vtchl.illinois.edu/facilities/experimental-facilities/>

Laboratorio Ambiental | UPB. (2022). Retrieved December 3, 2022, from <https://www.upb.edu.co/es/central-laboratorios/ambiental>

laboratorio-de-hidraulica-Santo-Tomas. (2022).

Nuestros negocios | Acerca de nosotros | Siemens Colombia. (2022). Retrieved August 15, 2022, from <https://new.siemens.com/co/es/compania/acerca-de-nosotros/nuestros-negocios-.html>

NUEVO EDIFICIO DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS. (2022).

(PDF) *MANUAL DE PRACTICAS LABORATORIO DE HIDRÁULICA*. (2022). Retrieved December 3, 2022, from https://www.researchgate.net/publication/360977774_MANUAL_DE_PRACTICAS_LABORATORIO_DE_HIDRAULICA

Pesa, M., Bravo, S. D. V., Pérez, S., & Villafuerte, M. (2014). Las actividades de laboratorio en la formación de ingenieros: propuesta para el aprendizaje de los fenómenos de conducción eléctrica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 31(3), 642. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2014v31n3p642>

PHA - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Escola Politécnica da USP. (2022). Retrieved December 3, 2022, from <http://www.pha.poli.usp.br/>

Presidente Duque declara Emergencia Sanitaria frente a COVID-19. (2022). Retrieved August 15, 2022, from <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Presidente-Duque-declara-Emergencia-Sanitaria-frente-a-COVID-19.aspx>

Qué es un sistema SCADA, cómo funciona y para qué sirve. (2022). Retrieved March 25, 2023, from <https://www.sicma21.com/scada-que-es-y-como-funciona/>

Reglamento del Laboratorio 2023-1 — Laboratorio de Hidráulica. (2022). Retrieved December 3, 2022, from <http://dicyg.fic.unam.mx:8080/labhidraulica/contenido/reglamento/reglamento-del-laboratorio-2017-2/view>

Reyes Aguilera, E. A. (2020). Prácticas de laboratorio: la antesala a la realidad. *Revista Multi-Ensayos*, 6(11), 61–66. <https://doi.org/10.5377/MULTIENSAYOS.V6I11.9290>

Servicios de investigación – Ven Te Chow Hydrosystems Lab. (2022). Retrieved December 3, 2022, from <https://vtchl.illinois.edu/research-services/>

UIS - Escuela de Ingeniería Civil - Posgrados y Pregrado - ECI - INGENIERIA CIVIL - ECIWeb

- *Bucaramanga.* (2022). Retrieved May 19, 2022, from

<http://albatros.uis.edu.co/eisi/eisi.jsp?IdServicio=S470>