

Práctica en docencia para el desarrollo de recursos que contribuyan al mejoramiento del proceso enseñanza-aprendizaje en la asignatura Hidráulica de Canales de la Escuela de Ingeniería Civil.

ANGIE VANESSA GUERRERO PÉREZ

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Civil

Director

Sandra Rocío Villamizar Amaya

Ph.D. Environmental Systems

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

La culminación de este trabajo está dedicada a mis padres; mi apoyo incondicional.

Agradecimientos

Este trabajo no habría sido posible sin:

La Ingeniera Sandra R. Villamizar, docente del curso de Hidráulica de la Escuela de Ingeniería Civil y directora de este trabajo, quien con paciencia y dedicación guio todo el proceso del desarrollo de este proyecto y acompañó la implementación de los resultados en su curso del semestre académico 2023-2.

Los estudiantes del curso de Hidráulica de la Escuela de Ingeniería Civil del semestre 2023-2, por hacer uso de los resultados de este proyecto y responder las encuestas con sus comentarios.

El ingeniero Andrés Almeyda, docente de Hidráulica de la Escuela de Ingeniería Civil, quien facilitó material de apoyo para la implementación del programa EPA SWMM.

El ingeniero Jorge Iván Torres, profesional del CEDEUIS, quien apoyó y asesoró los procesos relacionados con el uso de la plataforma Moodle y Genially.

Mi madre, quien me prestó su tableta para la digitalización de los resultados y mi novio, quien me ayudó con la edición de algunas imágenes.

Tabla de Contenido

Introducción	11
1. Antecedentes.....	12
1.1. Bibliografía existente referente a la hidráulica de canales.....	15
2. Objetivos	19
2.1. Objetivo General.....	19
2.2. Objetivos Específicos.....	19
3. Metodología	20
3.1. FASE 1: Identificación de necesidades de mejora y revisión bibliográfica.	20
3.2. FASE 2: Diseño de objetos de enseñanza-aprendizaje.	21
3.3. FASE 3. Desarrollo de los objetos diseñados.	22
4. Resultados.....	27
4.1. Mejoramiento de la Estructura del AVA del curso Hidráulica.....	27
4.2. Derivaciones	36
4.3. Ejercicios planteados	39
4.4. Bancos de preguntas	43
4.5. Integración de simulaciones del laboratorio	46
4.6. Encuestas de percepción	46
4.7. Modelación en EPA SWMM	52
5. Conclusiones y Recomendaciones.....	55
Referencias Bibliográficas	57
Apéndice A. Enlazar Genially con Moodle y vinculación interactiva entre etiquetas y material del AVA.....	60

Apéndice B. Modelación de una red de drenaje con EPA-SWMM. 66

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Material bibliográfico de potencial uso para el trabajo de grado</i>	16
Tabla 2 <i>Actividades de la Fase 2</i>	22
Tabla 3 <i>Derivaciones del curso Hidráulica de Canales</i>	37
Tabla 4 <i>Ejercicios planteados, curso de Hidráulica de Canales</i>	39

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Vista general de la estructura del aula virtual de aprendizaje del curso de Hidráulica – semestre 2023-	15
Figura 2 <i>Primera encuesta- Aula Virtual de Aprendizaje</i>	25
Figura 3 <i>Segunda encuesta - Percepción del proyecto final</i>	26
Figura 4 <i>Inicio curso Hidráulica de Canales</i>	29
Figura 5 <i>Unidad 1, curso Hidráulica de Canales</i>	30
Figura 6 <i>Unidad 2, curso Hidráulica de Canales</i>	31
Figura 7 <i>Unidad 3, curso de Hidráulica de Canales</i>	32
Figura 8 <i>Unidad 4, curso de Hidráulica de Canales</i>	33
Figura 9 <i>Unidad 5, curso de Hidráulica de Canales</i>	34
Figura 10 <i>Unidad 6, curso de Hidráulica de Caneles</i>	35
Figura 11 <i>Unidad 7, curso de Hidráulica de Canales</i>	36
Figura 12 <i>Derivación de la altura crítica Y_c para un canal rectangular</i>	38
Figura 13 <i>Ejercicio "Energía sección triangular"</i>	42
Figura 14 <i>Pregunta de Selección Múltiple</i>	44
Figura 15 <i>Pregunta de Arrastrar y Soltar</i>	45
Figura 16 <i>Resultados primera encuesta-Aula Virtual de Aprendizaje</i>	48
Figura 17 <i>Resultados segunda encuesta-Percepción del proyecto final</i>	51
Figura 18 <i>Área de estudio- Modelación en EPA-SWMM</i>	53
Figura 19 <i>Resultados de la modelación en EPA-SWMM</i>	54

Lista de Apéndices

	pág.
Apéndice A. Enlazar Genially con Moodle y vinculación interactiva entre etiquetas y material del AVA.....	60
Apéndice B. Modelación de una red de drenaje con EPA-SWMM.	66

Resumen

Título: Práctica en docencia para el desarrollo de recursos que contribuyan al mejoramiento del proceso enseñanza-aprendizaje en la asignatura Hidráulica de Canales de la Escuela de Ingeniería Civil.*

Autor: ANGIE VANESSA GUERRERO PÉREZ†

Palabras Clave: Aula Virtual, Moodle, Aprendizaje, Enseñanza, Hidráulica.

Descripción:

Los procesos de enseñanza-aprendizaje impuestos por las nuevas generaciones de estudiantes que llegan a la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander (EIC-UIS) demandan la implementación de material pedagógico diverso y soportado en las tecnologías de la información y la comunicación (TIC). Este trabajo generó material pedagógico para el curso de Hidráulica de Canales y lo integró a su aula virtual de aprendizaje (AVA) que, a su vez, fue renovada. El material generado incluye derivaciones (12), ejercicios propuestos (33), bancos de preguntas (53) y un ejercicio de modelación hidráulica soportado en el programa EPA SWMM. El aula virtual, que cuenta con siete unidades de aprendizaje, fue renovada mediante la incorporación de imágenes interactivas, dando lugar a un ambiente intuitivo y más llamativo para el usuario. Con estas imágenes se pretende establecer la ruta de trabajo de todo el curso teórico y de cada unidad de aprendizaje. El producto final integra material existente y nuevo que puede ser actualizado por el docente del curso a su conveniencia. Los resultados de este proyecto, en su mayoría, fueron implementados con los estudiantes del curso de Hidráulica de la profesora Sandra R. Villamizar, directora del proyecto, en el transcurso del semestre 2023-2. Esto permitió la retroalimentación por parte de la docente, y por parte de los estudiantes por medio de dos encuestas. Con la primera se evaluó el progreso de la renovación del aula virtual, y con la segunda se estimó la percepción de los estudiantes respecto al proyecto final del curso; en general, la percepción de los estudiantes fue muy positiva. El trabajo desarrollado expande el material pedagógico disponible para docentes y auxiliares del curso de Hidráulica de Canales de la UIS, ofreciendo al estudiante un ambiente de aprendizaje más amable e interactivo y nuevos objetos de aprendizaje que buscan adaptarse a las necesidades de los estudiantes del curso.

* Práctica Docente

† Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Sandra Rocío Villamizar Amaya. Ph.D. Environmental Systems.

Abstract

Title: Teaching practice for development of resources that contribute to the improvement of the teaching-learning process in the subject Canal Hydraulics of the School of Civil Engineering. ‡.

Author(s): ANGIE VANESSA GUERRERO PÉREZ.§

Key Words: Virtual classroom, Learning, Teaching, Hydraulics.

Description:

The teaching-learning processes imposed by the new generations of students coming to the School of Civil Engineering of the Universidad Industrial de Santander (EIC-UIS) demand the implementation of diverse pedagogical material supported by information and communication technologies (ICT). This work generated pedagogical material for the course of Channel Hydraulics and integrated it to its virtual learning classroom (AVA) which, in turn, was renewed. The material generated includes derivations (12), proposed exercises (33), question banks (53) and a hydraulic modeling exercise supported by the EPA SWMM program. The virtual classroom, which has seven learning units, was renovated by incorporating interactive images, resulting in an intuitive and more attractive environment for the user. These images are intended to establish the work path for the entire theoretical course and for each learning unit. The final product integrates existing and new material that can be updated by the course teacher at his convenience. The results of this project, for the most part, were implemented with the students of the Hydraulics course of Professor Sandra R. Villamizar, director of the project, during the 2023-2 semester. This allowed for feedback from the teacher and from the students through two surveys. With the first one, the progress of the virtual classroom renovation was evaluated, and with the second one, the students' perception regarding the final project of the course was estimated; in general, the students' perception was very positive. The work developed expands the pedagogical material available for teachers and assistants of the UIS Channel Hydraulics course, offering the student a friendlier and more interactive learning environment and new learning objects that seek to adapt to the needs of the students of the course.

‡ Teaching practice

§ Department of Physical-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Advisor: Sandra Rocío Villamizar Amaya. Ph.D. Environmental Systems.

Introducción

El cuarto objetivo de desarrollo sostenible, “Educación de calidad”, busca erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos (Naciones Unidas, 2018). Para el 2025, Colombia tiene planteado ser el país “mejor educado” de América Latina, pero a pesar haber transformado su sistema educativo en las últimas dos décadas, aun se siguen presentando dificultades en cuanto a la desigualdad y baja calidad de la educación que viene desde la educación inicial hasta la educación superior (OCDE, 2016). Desde las aulas, la educación de calidad requiere buenas metodologías de enseñanza atendiendo a la responsabilidad moral del docente frente a la diversidad de estilos de aprendizaje de los estudiantes (González, Patarroyo, & Carreño, 2017). Kurt Lewin, John Dewey y Jean Piaget hablan de la importancia de la experiencia en los procesos de aprendizaje, la cual se construye del desarrollo repetitivo de cuatro fases: la experiencia concreta, la observación reflexiva, la conceptualización abstracta y la experimentación activa que, a su vez, derivan en cuatro habilidades o estilos de aprendizaje: divergente, convergente, asimilador y acomodador (Kolb, 2015). Debe ser el propósito del docente lograr que los estudiantes, aun teniendo diferentes estilos de aprendizaje, aprendan, comprendan, apliquen e integren el conocimiento del curso; esto es posible si se implementan metodologías y estrategias pedagógicas apropiadas (González, Patarroyo, & Carreño, 2017). En el curso de Hidráulica de la Escuela de Ingeniería Civil de la UIS se estudian los conceptos y aplicaciones básicas de la hidráulica de flujo libre (las leyes de conservación de masa, energía y momento, las propiedades físicas e hidráulicas de los canales, los diferentes tipos de flujo y sus análisis, el diseño y análisis de canales y estructuras hidráulicas básicas, etc.). A la fecha se cuenta con un material de clase consolidado en un aula virtual de aprendizaje (AVA) y existe un componente práctico que soporta el curso en forma de prácticas de laboratorios y simulaciones computacionales, también

organizado en un AVA. Sin embargo, dada la importancia del curso para el área de Recurso Hídrico y Saneamiento Ambiental, se espera expandir la oferta de material disponible para facilitar la apropiación de los conocimientos por parte de todos los estudiantes, desde sus diferentes maneras de aprender. Este trabajo ofrece nuevo material pedagógico que soporta el proceso de enseñanza-aprendizaje del curso de Hidráulica, mediante la adaptación de ejercicios y derivaciones, la ampliación del banco de preguntas y la integración del software EPA-SWMM aplicado para la propuesta de un proyecto final de clase; todo este nuevo material extiende el material existente en el Aula Virtual de Aprendizaje; la cual también fue renovada, presentando el material pedagógico de manera más amable e interactiva, buscando que el estudiante logre desarrollar las competencias del saber, del ser y del hacer.

1. Antecedentes

La implementación de nuevo material pedagógico y nuevas metodologías dentro del curso de hidráulica de la UIS es un tema que se ha venido trabajando desde el año 2021, a partir de los retos establecidos por la emergencia sanitaria originada por el COVID-19. En ese momento, el enfoque fue en el fortalecimiento del componente práctico de la asignatura mediante el desarrollo de videos y material digital que permitiera contrarrestar las limitaciones de presencialidad impuestas por la pandemia. Se desarrolló, entonces, el trabajo de grado “Práctica en Docencia para Mejorar la Estrategia de Laboratorio del Curso de Hidráulica de la Escuela de Ingeniería Civil” (Laitón Suárez, 2022). Este trabajo generó un espacio virtual para el Laboratorio de Hidráulica en la plataforma Moodle, buscando integrar cinco aspectos: (1) documentación, mediante la digitalización y actualización del manual de prácticas del laboratorio; (2) análisis de datos, generando plantillas de cálculo y preguntas tipo; (3) recursos audiovisuales, recopilando y creando

material audiovisual para las prácticas; (4) evaluación, diseñando un banco de preguntas y una rúbrica de evaluación; y (5) integración de la información en un aula virtual de aprendizaje en la plataforma Moodle de acceso para todos los estudiantes de la asignatura. Cada práctica dentro del aula virtual del laboratorio cuenta con una sección introductoria, la guía de la práctica a desarrollar, una hoja de Excel con cálculos tipo para uso del instructor y auxiliares, un video que describe detalladamente la práctica y, finalmente, la sección evaluativa que contiene una actividad tipo quiz de presaberes y la sección de entrega del informe. En total se propusieron 110 preguntas de diferentes tipologías (opción múltiple, respuesta corta, respuesta numérica y tipo ensayo). Finalmente, para la evaluación del informe, se planteó una rúbrica adaptada de la American Association of Colleges and Universities (AACU), con la cual el evaluador asigna puntos según los logros alcanzados.

Por otro lado, en el período 2022-2023 se llevó a cabo el trabajo de grado “Desarrollo de simulaciones de modelos hidráulicos como herramienta de soporte de la enseñanza del Laboratorio de Hidráulica” (Malaver Nieto, 2022). Malaver trabajó en la implementación de simulaciones computacionales de hidráulica de flujo libre que sirvieran de complemento para las experiencias del laboratorio de hidráulica. El proyecto se realizó en tres fases: (1) evaluación de herramientas computacionales relevantes, (2) diseño de los objetos virtuales, y (3) implementación de las simulaciones computacionales. Como resultado, se implementaron nueve simulaciones complementarias a las nueve prácticas de laboratorio del curso, usando una de las tres herramientas computacionales seleccionadas (OpenFOAM, HEC-RAS, y H-Canales) de acuerdo con su relevancia para el objetivo de la simulación. Cada objeto virtual cuenta con su respectiva guía de descarga e instalación de software, guía de la simulación, y videos demostrativos respectivos. Cada guía de simulación tiene unos objetivos propuestos, requerimientos computacionales,

introducción, marco teórico, instrucciones específicas para la implementación de la simulación, descripción del entregable y su bibliografía. La implementación piloto de las simulaciones inició en el semestre 2022-2 y finalizó en el 2023-1. El material desarrollado se integró en el AVA del laboratorio de Hidráulica y ha sido utilizado por todos los estudiantes de la asignatura de la Escuela de Ingeniería Civil de la UIS.

Entre los semestres 2020-2 a 2023-1, el componente teórico del curso de Hidráulica de la docente Sandra Rocío Villamizar Amaya, profesora de planta de la Escuela de Ingeniería Civil, se soportó en un AVA que integraba material de clase y recursos evaluativos sin una estructura intuitiva para los estudiantes (ver Figura 1). Por lo tanto, se planteó la propuesta de trabajo de grado en modalidad de práctica empresarial titulada “Práctica en docencia para el desarrollo de recursos que contribuyan al mejoramiento del proceso enseñanza-aprendizaje en la asignatura Hidráulica de Canales de la Escuela de Ingeniería Civil”, cuyos resultados se presentan en este documento.

Figura 1

Vista general de la estructura del aula virtual de aprendizaje del curso de Hidráulica – semestre 2023-

The screenshot shows a virtual classroom interface. At the top, there is a navigation menu with tabs for different units: General, U1 - Propiedades Hidráulicas de Canales, U2 - Distribución de velocidad, U3 - Conservación de Energía, Unidad 4 - Momentum, Unidad 5 - Flujo Uniforme, Unidad 6 - Flujo Gradualmente Variado (FGV), Unidad 7 - Modelación Hidráulica en HEC-RAS, and U0 - Recursos y Prácticas de Laboratorio. Below the menu, the main content area is titled "Conservación de energía, Curva de energía específica y Flujo crítico". It contains introductory text about the unit's focus on energy conservation and specific energy curves. Below the text is a list of resources with a "Su progreso" (Your progress) column on the right. The resources include: U3 - Energía Específica (Subido 12/04/2023 12:10), Ejemplo 1, Ejemplo 2, Ejemplo 3, U3 - UNAL - Energía Específica y Flujo Crítico (with a checkmark in the progress column), U1-U3 - Quiz No. 1 Hidráulica (with a "Restringido" badge and "Disponible desde 19 de abril de 2023, 10:05"), U3 - Transiciones (Subido 21/04/2023 09:31), UNAL - Medidores de Régimen Crítico, U3 - Evidencia de trabajo en grupo Transiciones (with a "Ocultado a los estudiantes" badge), U3 - Ejemplo 2.5 de Duarte (with a "Ocultado a los estudiantes" badge), U1-U3 - Hoja de fórmulas Quiz 1, and U1-U3 - Ejercicio del Quiz 1.

1.1. Bibliografía existente referente a la hidráulica de canales

La Universidad Industrial de Santander cuenta con un amplio catálogo de material bibliográfico en todas las áreas de conocimiento, ofreciendo a la comunidad educativa material en formato físico y digital. En la biblioteca central se puede encontrar todo el material bibliográfico físico y, por medio de la biblioteca virtual, los usuarios pueden acceder a las diferentes bases de datos a las que tiene suscripción, como también al repositorio institucional. Para el área de la hidráulica de canales, existe gran cantidad de material bibliográfico, desde libros que son considerados clásicos, hasta tesis y artículos recientes. Sin embargo, fue necesario analizar la

relevancia del material para los propósitos de este trabajo de grado pues algunos recursos son bastante teóricos y otros tienen un alcance demasiado extenso abarcando temas desde la mecánica de fluidos hasta la hidráulica de canales y tuberías, por lo que no profundizan suficientemente en los temas de hidráulica de canales. La Tabla 1 resume algunos de los recursos identificados como insumos potenciales para este trabajo de grado.

Tabla 1

Material bibliográfico de potencial uso para el trabajo de grado

Descripción bibliográfica	Descripción de los contenidos temáticos	Aspectos relevantes
Autor: Caudex Vitelio Peñaranda Osorio Año: 2018 Título: Mecánica de Fluidos Editorial: ECOE Ediciones (Peñaranda Osorio, 2018)	Su eje temático es la mecánica de fluidos, desde sus propiedades y la estática de fluidos. También le da espacio a cálculo de tuberías, presenta los dispositivos de aforo, las bombas y, por último, los canales.	Cuenta con buenas imágenes explicativas y presenta ejercicios desarrollados.
Autores: Randal V. Giles, Jack B. Evett, Cheng Lui Año: 1994 Título: Mecánica de Fluidos e Hidráulica Editorial: MacGraw- Hill (Giles, Evett, & Evett, 1994)	En su mayoría abarca la temática de la mecánica de fluidos; propiedades, estática de fluidos, fuerzas hidrostáticas, entre otros. Tiene una sección de tuberías y de sistemas complejos de tubería; incluye un capítulo de canales abiertos; tipos de flujo, Chezy, energía específica, etc., y habla un poco sobre vertederos; finaliza el libro con fuerzas en flujos en movimiento y maquinaria hidráulica.	Presenta variedad de ejercicios resueltos y propuestos, pero la teoría presentada referente al tema de hidráulica de canales es bastante corta.
Autor: Richard H. French Año: 1993 Título: Hidráulica de Canales Abiertos Editorial: McGraw- Hill (French, 1993)	Su eje principal es la hidráulica de canales dividiendo su contenido en catorce capítulos, en donde desarrollan uno por uno los temas principales de la hidráulica; principio de energía, tipos de flujo, cantidad de movimiento, diseño de canales y modelos hidráulicos.	Contiene un buen marco teórico, pero no presenta ejercicios resueltos.
Autor: Máximo Villón Béjar Año: 2008 Título: Hidráulica de Canales Editorial: Instituto Tecnológico de Costa Rica (Villón Béjar, Hidráulica de Canales, 2008)	Contiene seis capítulos, donde desarrollo primero los temas básicos como la ecuación de energía, continuidad, momentum, características hidráulicas; flujo uniforme, régimen crítico, resalto hidráulico, flujo gradualmente variado y medición de caudales.	Buen marco teórico y ejercicios resueltos para cada sección. En algunos ejercicios compara resultados usando el software H-Canales.
Autor: Máximo Villón Béjar Año: 2007 Título: Problemas	El libro se divide en siete capítulos, dentro de los cuales se resuelve ejercicios según la temática del capítulo, propiedades hidráulicas, ecuaciones	Amplía los ejercicios resueltos en el libro

Descripción bibliográfica	Descripción de los contenidos temáticos	Aspectos relevantes
Resueltos de Hidráulica de Canales Editorial: Instituto Tecnológico de Costa Rica (Villón Béjar, Problemas resueltos de hidráulica de canales, 2007)	básicas, flujo uniforme, flujo crítico, flujo rápidamente variad, flujo gradualmente variado y orificios, compuertas y vertederos.	"Hidráulica de Canales" del mismo autor.
Autor: Máximo Villón Béjar Año: 2014 Título: HEC-RAS Ejemplos Editorial: Instituto Tecnológico de Costa Rica (Villón Béjar, Hec-Ras Ejemplos, 2014)	En este libro se hace una corta descripción de las características de HEC-RAS y de sus funciones básicas, a la vez que lo implementa mediante ejercicios prácticos en lo que se guía paso a paso al lector.	Es una buena herramienta para los que inician en el uso del software HEC-RAS
Autor: Víctor M. Ponce Año: 2014 Título: Fundamentals of Open-channel Hydraulics Editorial: Libro en línea (Ponce, 2014)	Tiene como eje la hidráulica de canales, dividiendo el libro en once capítulos. Dedicar un capítulo para introducir el tema y luego habla de las propiedades de los canales abiertos, energía y momentum, flujo crítico y uniforme, diseño de canales y los demás tipos de flujo.	Muy buen marco teórico. Al final de la sección presenta preguntas conceptuales y ejercicios propuestos, además facilita herramientas para que el usuario compruebe sus resultados.
Autor: Carlos Arturo Duarte Agudelo Año: 2011 Título: Introducción a la Hidráulica de Canales Editorial: Universidad Nacional de Colombia (Duarte Agudelo , 2011)	Este documento se compone de seis capítulos, empezando con una presentación del flujo en superficie libre, luego introduce los temas de continuidad, energía y momentum, analiza las aplicaciones del flujo crítico y los comportamientos de los flujos no uniformes, presenta algunas estructuras hidráulicas y habla sobre las ondas en los flujos rápida y gradualmente variados	Contiene un buen marco conceptual referente al tema de hidráulica de canales y, además, presenta algunos ejercicios.
Autor: Pedro Rodríguez Ruiz Año: 2008 Título: Hidráulica II Editorial: En línea (Rodríguez Ruiz, 2008)	Este libro está dirigido para usuarios quienes ya tienen un conocimiento básico de hidráulica. Divide su contenido en cuatro secciones: flujo uniforme, energía específica, fuerza específica y flujo gradualmente variado. Dentro de cada sección aborda conceptos que profundizan el tema principal y al final de cada sección presenta algunos ejercicios.	Contiene un buen marco teórico referente a la hidráulica de canales, así como también graficas e imágenes explicativas
Autores: Héctor E. Gálvez R. Wilde R. Camacho S. Año: 2006 Título: Modernización de la Enseñanza Aprendizaje en la Asignatura Hidráulica II Editorial: Universidad Mayor de San Simón	Este documento es una tesis donde los autores buscaban modernizar el proceso de enseñanza-aprendizaje mediante la creación de nuevo material de consulta, por lo que abarcaron los temas principales de la hidráulica en once capítulos pasando por el tema de las propiedades de los canales, aforos, energía, momentum, tipos de flujo y estructuras hidráulicas.	Contiene buen marco teórico referente a los temas fundamentales de la hidráulica de canales.

Descripción bibliográfica	Descripción de los contenidos temáticos	Aspectos relevantes
<p>(Gálvez R. & Camacho S., 2006)</p> <p>Autor: Luis E. Aramburo Año: 1984 Título: Hidráulica Aplicada Editorial: Universidad Industrial de Santander (Arambulo , 1984)</p>	<p>Este está dividido en cuatro capítulos: ecuación de la energía, ecuación de la cantidad de movimiento, corriente de superficie libre, y estructuras de medida de flujo y de disipación. Dentro de cada capítulo se profundiza en temas como el flujo crítico, profundidades conjugadas y caída libre.</p>	<p>Contiene ejercicios resueltos referentes al tema hidráulica de canales.</p>
<p>Autor: Juan H. Cadavid R. Año: 2006 Título: Hidráulica de Canales: Fundamentos. Editorial: Fondo Editorial Universidad EAFIT (Cadavid R., 2006)</p>	<p>Este libro contiene siete capítulos. El primero hace una introducción a la hidráulica de canales definiendo algunos conceptos básicos. En el siguiente capítulo habla sobre el principio de energía en la hidráulica, luego sobre el flujo crítico y los diferentes conceptos y fenómenos relacionados a este. En estructuras de control del flujo da nociones sobre orificios, compuertas y vertedero. En el capítulo de momentum también habla de resalto hidráulico y sus características, y en los últimos dos capítulos introduce el flujo uniforme y gradualmente variado junto con los tipos de canal y perfiles que estos pueden presentar.</p>	<p>Hace una buena conceptualización inicial introduciendo varios conceptos básicos de la hidráulica en el primer capítulo, además al final de cada capítulo presenta algunas preguntas conceptuales o ejercicios resueltos y propuestos.</p>

2. Objetivos

2.1.Objetivo General

Desarrollar recursos que contribuyan al mejoramiento del proceso enseñanza-aprendizaje en la asignatura Hidráulica de Canales de la Escuela de Ingeniería Civil.

2.2.Objetivos Específicos

- Identificar material relevante para el enriquecimiento del curso de Hidráulica de la UIS a partir de la revisión de recursos físicos y digitales existentes.
- Diseñar objetos de enseñanza-aprendizaje para el curso de Hidráulica.
- Desarrollar los objetos diseñados para su implementación en el curso de Hidráulica del semestre 2023-2.

3. Metodología

Para el desarrollo de este trabajo se siguieron tres fases asegurando el cumplimiento de los objetivos propuestos. En la primera fase se identificaron las necesidades de mejora y el material bibliográfico según su utilidad; posteriormente se diseñaron los objetos de enseñanza-aprendizaje para finalmente desarrollarlos e implementarlos durante el semestre 2023-2. La estrategia metodológica se aplicó a cada una de las siete unidades de aprendizaje de la asignatura, que son:

- Unidad 1 - Propiedades Hidráulicas de Canales
- Unidad 2 - Distribución de Velocidad
- Unidad 3 - Conservación de Energía
- Unidad 4 - Momentum
- Unidad 5 - Flujo Uniforme
- Unidad 6 - Flujo Gradualmente Variado
- Unidad 7 - Modelación Hidráulica

3.1. FASE 1: Identificación de necesidades de mejora y revisión bibliográfica.

Inicialmente, se identificó la necesidad de mejorar la estrategia de presentación del material en el AVA del curso a través del desarrollo de una interfaz interactiva que permitiera a los estudiantes comprender la estructura general del curso y las rutas a seguir en cada una de las unidades de aprendizaje. Para esto, se contó con el acompañamiento del ingeniero Jorge Iván Torres, profesional del CEDEUIS, quien facilitó información relevante acerca de la

implementación de herramientas interactivas dentro del AVA, e información audiovisual sobre la creación de los diferentes tipos de preguntas disponibles por la plataforma Moodle.

Por otro lado, se trabajó con la docente de la asignatura para realizar evaluación del estado actual del material existente dentro del curso Moodle y establecer las necesidades identificadas por ella para la mejora de cada una de las unidades de aprendizaje. Simultáneamente, se evaluó el material bibliográfico identificado durante la fase de propuesta del trabajo de grado (Tabla 1) y nuevo material físico o digital para proponer recursos que permitiera cumplir con las necesidades establecidas por la docente.

Las actividades específicas que comprendieron esta fase fueron:

- Planteamiento de la estrategia de presentación e integración de la información en cada una de las unidades de aprendizaje.
- Revisión y análisis del material de clase, práctica y simulaciones existentes.
- Revisión bibliográfica de recursos físicos y digitales.
- Identificación por utilidad de los recursos físicos.
- Clasificación del material bibliográfico según las siguientes categorías: material de profundización, material evaluativo, solución de ejercicios, integración de software.

3.2.FASE 2: Diseño de objetos de enseñanza-aprendizaje.

Se diseñaron los objetos de enseñanza-aprendizaje de acuerdo con la revisión realizada. Dentro del diseño se tuvo en cuenta la adaptación de ejercicios a la metodología de la clase, la adaptación de la nomenclatura y la integración de un nuevo software para el desarrollo de un nuevo ejercicio de modelación para la clase, soportado en la herramienta EPA-SWMM.

En la tabla 2 se relacionan las actividades desarrolladas durante esta fase y los parámetros para su diseño:

Tabla 2

Actividades de la Fase 2

Actividad	Parámetros de diseño
Identificación y adaptación de derivaciones y demostraciones relevantes para la comprensión de los temas del curso.	<ul style="list-style-type: none"> • Unificación de la nomenclatura • Jerarquización por nivel de dificultad • Presentación clara y alineada con la teoría del curso
Diseño, adaptación y/o traducción de ejercicios para ser desarrollados en clase y de ejercicios planteados para el estudiante incluyendo la solución.	<ul style="list-style-type: none"> • Unificación de la nomenclatura • Enunciado claro • Datos dados dentro del problema • Esquema 2D y/o 3D del problema • Fórmulas y solución paso a paso
Diseño de preguntas para el mejoramiento y alimentación del banco de preguntas de la asignatura siguiendo la clasificación por unidades ya existente.	<ul style="list-style-type: none"> • Preguntas claras y coherentes relacionadas con el material estudiado • Opciones de respuestas claras • Esquemas claros
Adaptación de un nuevo ejercicio de modelación para la clase usando el software EPA SWMM.	<ul style="list-style-type: none"> • Integración de conocimientos hidrológicos, hidráulicos y de herramientas GIS. • Proveer contextualización de la herramienta computacional y del problema planteado. • Presentar información clara para el desarrollo de la actividad. • Plantear un análisis de resultados.

3.3.FASE 3. Desarrollo de los objetos diseñados.

Para el desarrollo de los objetos anteriormente diseñados se usaron diferentes herramientas según la necesidad. Por ejemplo, para mejorar la estructuración del AVA en cada una de sus

unidades, se optó por usar una herramienta que permitiera agregar elementos interactivos; en este caso se usó Genially, una aplicación gratuita en línea. Para la digitalización de las derivaciones, de ejercicios diseñados, y de gráficas y tablas que necesitaban mejoras dentro del material de clase (diapositivas) se usó una tableta gráfica marca Apple de propiedad de la estudiante. Para el diseño del nuevo ejercicio de modelación hidráulica se recibió apoyo del profesor de la Escuela de Ingeniería Civil Andrés Almeyda, quien facilitó material relacionado con el software EPA SWMM como lo fue el manual de usuario de la versión 5.0 y el curso EPA SWMM 5.0 del Instituto Flumen^{**}. El software EPA SWMM es de acceso libre y se puede descargar de la página de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos^{††}. La implementación de los recursos diseñados se fue haciendo a lo largo del desarrollo del curso de Hidráulica del semestre 2023-2. Sin embargo, hubo algunos recursos que no alcanzaron a ser usados por estos estudiantes, pero que quedaron implementados dentro del AVA para su aprovechamiento en los próximos semestres. Este es el caso el nuevo ejercicio de modelación en EPA SWMM y algunos ejercicios de estudio y preguntas.

Finalmente, durante la implementación de los recursos, se realizaron dos encuestas a los estudiantes que usaron este material; con la primera encuesta (ver Figura 2), que se realizó a mediados del semestre 2023-2, se revisó el progreso del AVA para buscar con ayuda de los estudiantes, nuevas oportunidades de mejora.


^{**} Instituto académico de Investigación adscrito a la Universidad Politécnica de Cataluña. (<https://flumen.upc.edu/en>)

^{††} Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. (<https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>)

Con la segunda encuesta (ver Figura 3), que se realizó al finalizar el semestre 2023-2, se evaluó la implementación del proyecto final del curso y la percepción de los estudiantes sobre su impacto en el aprendizaje del material. Este proyecto final fue una actividad existente que se desarrolla con apoyo del software HEC-RAS. Con esta encuesta, se buscaba identificar aspectos a tener en cuenta para el diseño del nuevo ejercicio de modelación en el programa EPA SWMM, que se plantea en este trabajo.

Figura 2

Primera encuesta- Aula Virtual de Aprendizaje



Evaluación del aula virtual del curso Hidráulica

Práctica en Docencia de la estudiante Angie Vanessa Guerrero

Estimado estudiante, según lo considere, indique si está "de acuerdo", "le es indiferente" o en "desacuerdo" a cada una de las afirmaciones propuestas.

1. En general, considero que el ambiente del aula virtual es sencillo e intuitivo. *

Estoy de acuerdo

Me es indiferente

Estoy en desacuerdo

6. La cantidad de ejercicios o ejemplos presentados en cada unidad de aprendizaje es adecuado. *

Estoy de acuerdo

Me es indiferente

Estoy en desacuerdo

2. Las imágenes dentro de los elementos interactivos son informativas y adecuadas según cada unidad de aprendizaje. *

Estoy de acuerdo

Me es indiferente

Estoy en desacuerdo

7. Los ejemplos o ejercicios presentados son claros y me han ayudado a comprender y profundizar los temas; además, los esquemas me han permitido delimitar espacialmente el problema, ayudándome a mejorar su interpretación. *

Estoy de acuerdo

Me es indiferente

Estoy en desacuerdo

3. El recorrido descrito en las imágenes interactivas, al inicio de cada unidad, me ha permitido comprender de mejor manera el contenido y la dinámica de la unidad de aprendizaje. *

Estoy de acuerdo

Me es indiferente

Estoy en desacuerdo

8. Pregunta abierta: ¿Qué elemento(s) o característica(s) considera usted que ayudarían a mejorar el aula virtual? Su respuesta es muy valiosa, sobretudo si contestó "Me es indiferente" o "Estoy en desacuerdo" en alguna de las afirmaciones anteriores. Por favor, sea lo más específico posible. *

Escriba su respuesta

4. El formato en el cual se han presentado los ejercicios y derivaciones en cada unidad son adecuados. *

Estoy de acuerdo

Me es indiferente

Estoy en desacuerdo

9. Por favor, digite su nombre completo. La información se usará únicamente para tener un registro de su participación en la actividad. *

Escriba su respuesta

5. Las derivaciones o demostraciones me han facilitado la comprensión y profundización de los conceptos. *


Estoy de acuerdo

Me es indiferente

Estoy en desacuerdo

Figura 3

Segunda encuesta - Percepción del proyecto final



Evaluación del proyecto final del curso Hidráulica

Práctica en Docencia de la estudiante Angie Vanessa Guerrero

Estimado estudiante, según lo considere, indique si está "de acuerdo", "le es indiferente" o en "desacuerdo" a cada una de las afirmaciones propuestas.

6. Los espacios para el desarrollo del proyecto, que fueron dados en clase, me sirvieron para avanzar en el mismo y despejar dudas directamente con la profesora.

Estoy de acuerdo

Me es indiferente

Estoy en desacuerdo

7. El tiempo dado para el desarrollo del taller es adecuado.

Estoy de acuerdo.

Me es indiferente

Estoy en desacuerdo

8. Mi desempeño en el curso se refleja en el desarrollo del proyecto.

Estoy de acuerdo.

Me es indiferente.

Estoy en desacuerdo

9. Los miembros del equipo de trabajo lograron una dinámica que aseguró el correcto avance del proyecto.

Estoy de acuerdo

Me es indiferente

Estoy en desacuerdo

10. Incluya la aclaración que sea necesaria con relación a la pregunta anterior.

Escriba su respuesta

11. ¿Qué elemento(s) incluiría o cambiaría del proyecto? Considere temas, software, tiempos, etc. Por favor, sea lo más específico posible.

Escriba su respuesta

12. Por favor, digite su nombre completo. La información se usará únicamente para tener un registro de su participación en la actividad.

Escriba su respuesta

1. Seleccione su grupo de trabajo

Grupo 1 - Corredor y Mateus

Grupo 2 - Díaz y Gómez

Grupo 3 - Fdez, Olivares y Sierra

Grupo 4 - Alzate, Ibañez y Quiroga

Grupo 5 - Pereira, Rodríguez y Sánchez

Grupo 6 - Ballén, Duarte y Pachón

Grupo 7 - Blanco, León y Sánchez

Grupo 8 - Díaz, Gómez y Vargas

Grupo 9 - García, Landínez y Torres

Grupo 10 - Correa, Moreno y Pérez

Grupo 11 - Becerra, Celis y Pedrozco

2. El proyecto final reúne todos los conocimientos adquiridos en clase durante el semestre.

Estoy de acuerdo

Me es indiferente

Estoy en desacuerdo

3. El componente práctico del curso me permitió tener las herramientas básicas para comprender el software usado y cumplir con los objetivos del proyecto.

Estoy de acuerdo

Me es indiferente

Estoy en desacuerdo

4. El documento guía para el desarrollo del taller es claro y sencillo de seguir.

Estoy de acuerdo

Me es indiferente

Estoy en desacuerdo

5. Los entregables del proyecto son coherentes con los temas desarrollados en clase.

Estoy de acuerdo

Me es indiferente

Estoy en desacuerdo

4. Resultados

4.1. Mejoramiento de la Estructura del AVA del curso Hidráulica

El módulo de aprendizaje está organizado por pestañas dentro de las cuales se presentan imágenes interactivas cuya función es dar una vista general del contenido de cada unidad y orientan al estudiante respecto a su avance dentro del material del curso. Durante la fase de revisión se encontró que la categorización de las unidades por medio de pestañas continuaba siendo útil para la correcta distribución de la información por lo que esta se mantuvo. Por otro lado, se consideró necesario idear la manera de crear una ruta que guiara al estudiante de forma intuitiva en el desarrollo de las actividades de cada unidad; por consiguiente, tanto para la vista general del curso como para las unidades de aprendizaje se generó un esquema, usando imágenes o diagramas relevantes a la temática trabajada, indicando la ruta a seguir en el desarrollo adecuado de la unidad. El flujo de la información se indica con apoyo en símbolos y numeración. La comprensión de los diferentes tipos de material se facilita con el uso de etiquetas que caracterizan los tipos de recursos existentes en cada unidad (material de clase, derivaciones, ejercicios, evaluación, etc.).

En caso de que el instructor quiera actualizar recursos ya existentes dentro de la estructura desarrollada, solo tiene que cargar la nueva versión del archivo directamente en la plataforma Moodle. Este cambio no afecta la vinculación con la imagen interactiva de la Unidad. Sin embargo, si el instructor quiere modificar la secuencia de la imagen interactiva, es necesario realizar los cambios en la plataforma Genially y allí crear los vínculos interactivos a los nuevos recursos. El Apéndice A muestra cómo realizar el proceso de creación de imágenes en Genially y la generación de vínculos interactivos entre etiquetas y material de cada una de las secciones.

La Figura 4 muestra la imagen interactiva de la pestaña principal del curso indicando las diferentes unidades de aprendizaje propuestas. Al seleccionar el texto de cada una de las unidades es posible ver una descripción corta de su propósito y al hacer clic en el elemento interactivo numerado, el usuario navegará hacia la unidad la unidad de interés. En las Figuras 5 a 11, se muestra el esquema interactivo (arriba) y los contenidos de cada una de las unidades (abajo). La propuesta de imágenes de las etiquetas se adaptó a la imagen interactiva por lo que varían entre cada unidad de aprendizaje.

Figura 4

Inicio curso Hidráulica de Canales



Figura 5

Unidad 1, curso Hidráulica de Canales



Material de Clase

- U1 - Introducción al curso Subido 24/08/2023 17:59
- U1 - Propiedades hidráulicas de las secciones transversales
Tenga en cuenta que el "paso" puede ser identificado con la letra "m" o la letra "z".
- U1 - Propiedades Hidráulicas de las secciones transversales Subido 24/08/2023 18:09
- U1 - Secciones Especiales

Derivaciones

- U1-Derivación de las Propiedades Hidráulicas
- U1 - Cálculo del ángulo teta en función de la altura del agua.
Este archivo (1 página) contiene la derivación del ángulo teta (en grados) a partir de la altura del agua conocida (y). Al final de la hoja se encuentra una ecuación que permite el cálculo de la altura del agua (y) cuando se conoce el ángulo teta. Esta fórmula puede ser usada para ángulos en grados o radianes pero teniendo cuidado de definir esto en el cálculo (ejemplo, poner la calculadora en radianes si es necesario)

Ejercicios

- U1 - Ejemplos de cálculo de propiedades hidráulicas de una sección compuesta
- U1-Ejercicios Resueltos de Secciones Especiales

Evaluación

Tarea 1 - Obligatoria

Requisitos para la entrega de las tareas.

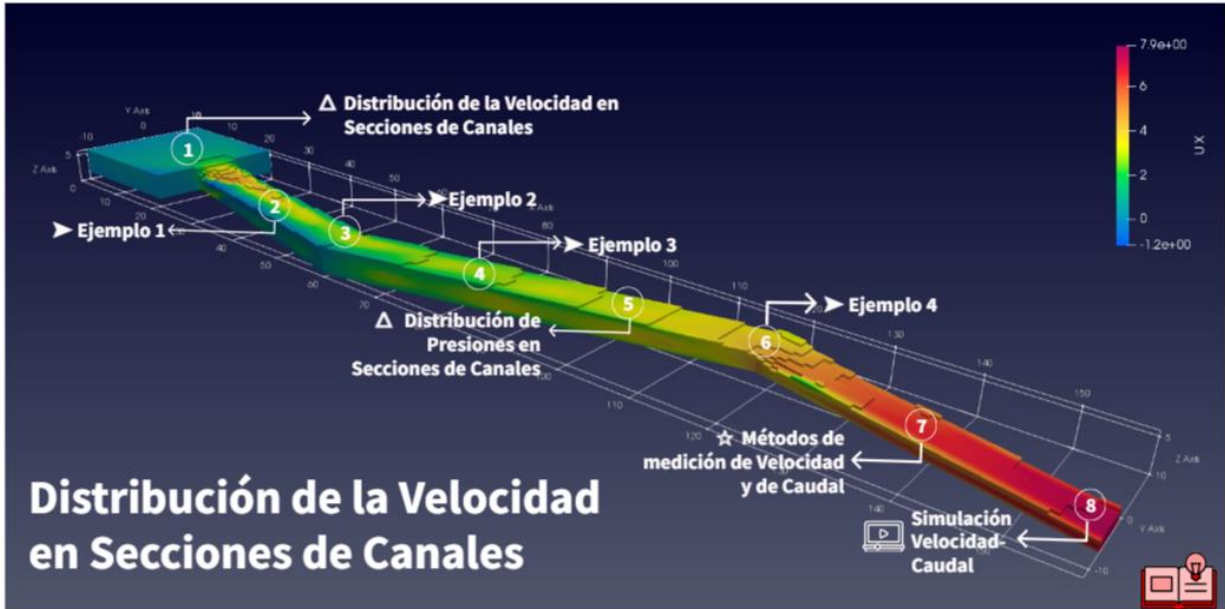
- 1.Desarrollar el ejercicio en una hoja de Excel
- 2.El nombre del archivo es Apellido_Nombre_Código_Hidráulica_Tarea1
- 3.Renombrar la pestaña de trabajo con Apellido_Nombre_Código
- 4.Organizar claramente el desarrollo de cada una de las secciones incluyendo imágenes de la sección y las fórmulas usadas
- 5.Incluir un enunciado o título para cada punto que desarrolle
- 6.La hoja de Excel debe incluir todos los cálculos desarrollados y presentar claramente las respuestas (resaltadas en Verde).

Simulaciones

- Instalación de OpenFOAM

Figura 6

Unidad 2, curso Hidráulica de Canales



△ Material de clase



U2 - Distribución de velocidad en canales Subido 24/08/2023 20:22

U2 - Distribución de las presiones en canales Subido 24/08/2023 20:24

► Ejemplos



U2 - Ejemplo 1

Tomado del Libro de Duarte. Cálculo de velocidad promedio y factores de corrección alfa y beta para la sección rectangular.

U2 - Ejemplo 2

Cálculo del caudal en un canal abierto ancho y los coeficientes alfa y beta de la distribución de velocidades de flujo

U2 - Ejemplo 3

Tomado del libro de Duarte. Aplicación de los conceptos de distribución de velocidad en una sección de canal para obtener la máxima rugosidad del fondo de canal que cumpla con los criterios que lo definen como fondo con superficie hidráulicamente lisa.

U2 - Ejemplo 4

Cálculo de la distribución de presiones en una rápida de un vertedero

☆ Evaluación



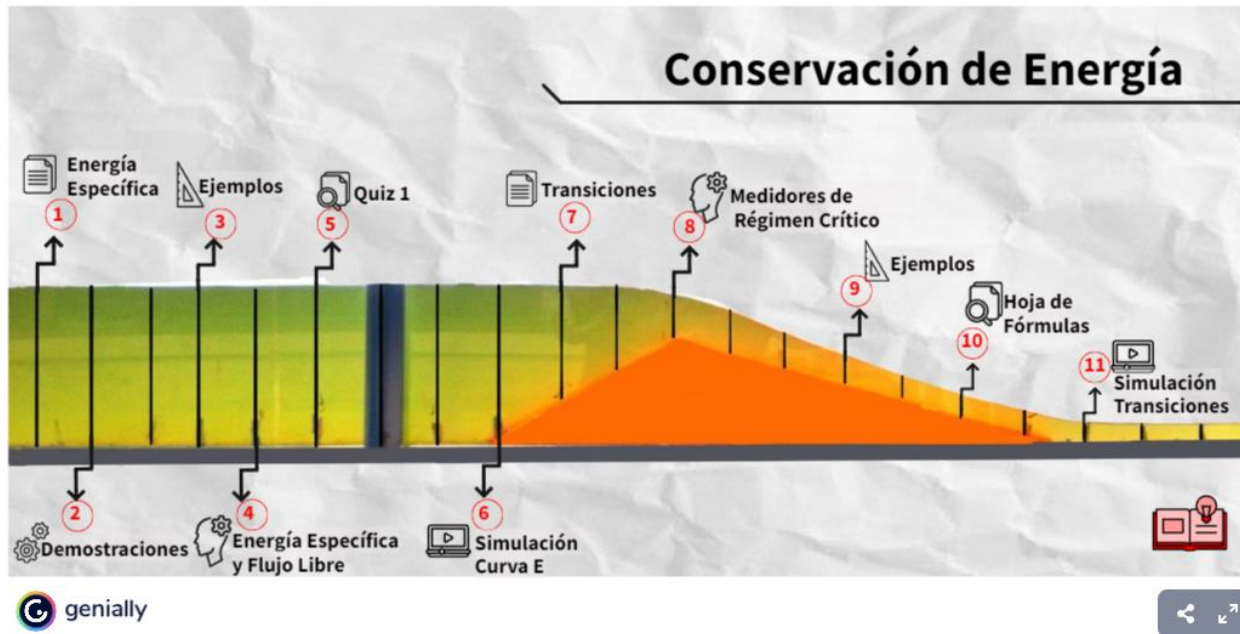
U2 - Métodos de medición de velocidad y caudal

Simulaciones

Velocidad y Caudal

Figura 7

Unidad 3, curso de Hidráulica de Canales



Material de Clase

- U3 - Energía Específica Subido 13/09/2023 12:39
- U3 - Transiciones Subido 22/09/2023 07:49

Demostraciones

- Demostraciones

Ejemplos

- U3 - Ejemplos Energía Específica
- U3-Ejemplos Transiciones

Material de Profundización

- U3 - UNAL - Energía Específica y Flujo Crítico
Para efectos de esta unidad, leer las primeras 17 páginas.
- UNAL - Medidores de Régimen Crítico
Para efectos de esta unidad, leer las primeras 21 páginas.

Evaluación

- U1-U3 - Quiz No. 1 Hidráulica
- U1-U3 - Hoja de fórmulas Quiz 1
- U1-U3 - Ejercicios del Quiz 1

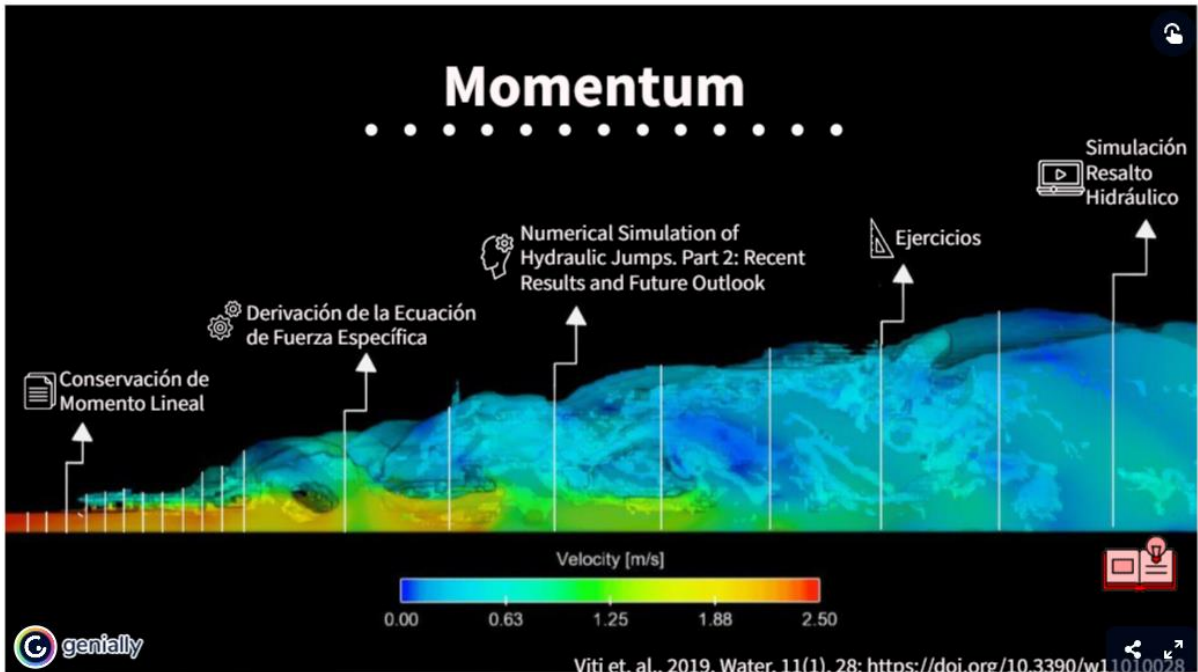
Se adjunta una imagen que presenta los criterios (y escalas usadas) para la evaluación de los dos problemas del q

Simulaciones

- Energía Específica y Régimen Crítico
- Transición en Flujo Crítico

Figura 8

Unidad 4, curso de Hidráulica de Canales



Material de Clase

Unidad 4 - Conservación de momento lineal Subido 3/10/2023 15:57

Material de Profundización

Numerical Simulation of Hydraulic Jumps. Part 2: Recent Results and Future Outlook

Viti, N., Valero, D., & Gualtieri, C. (2018). Numerical Simulation of Hydraulic Jumps. Part 2: Recent Results and Future Outlook. *Water*, 11(1), 28. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/w11010028>

Demostraciones

U4 - Derivación de la ecuación de Fuerza Específica

Ejercicios

U4- Ejercicio 2.7 -Duarte

U4 - Ejercicio Villón

Simulaciones

Resalto Hidráulico

Figura 9

Unidad 5, curso de Hidráulica de Canales



Material de Clase

- U5 - Flujo Uniforme - Introducción Subido 4/10/2023 07:47
- U5 - Geodesia
- U5 - Cálculo de la profundidad normal (Y_n) Subido 25/10/2023 06:43
- U5 - Diseño de canales Subido 27/10/2023 12:24

Ejercicios

- U5 - Problemas de flujo uniforme - Generalidades
- U5 - Problemas de flujo uniforme - Sección Hidráulica Óptima
- U5 - Ejercicio Práctico - Canales Naturales

La descripción del entregable se encuentra en la última página del taller.

Derivaciones

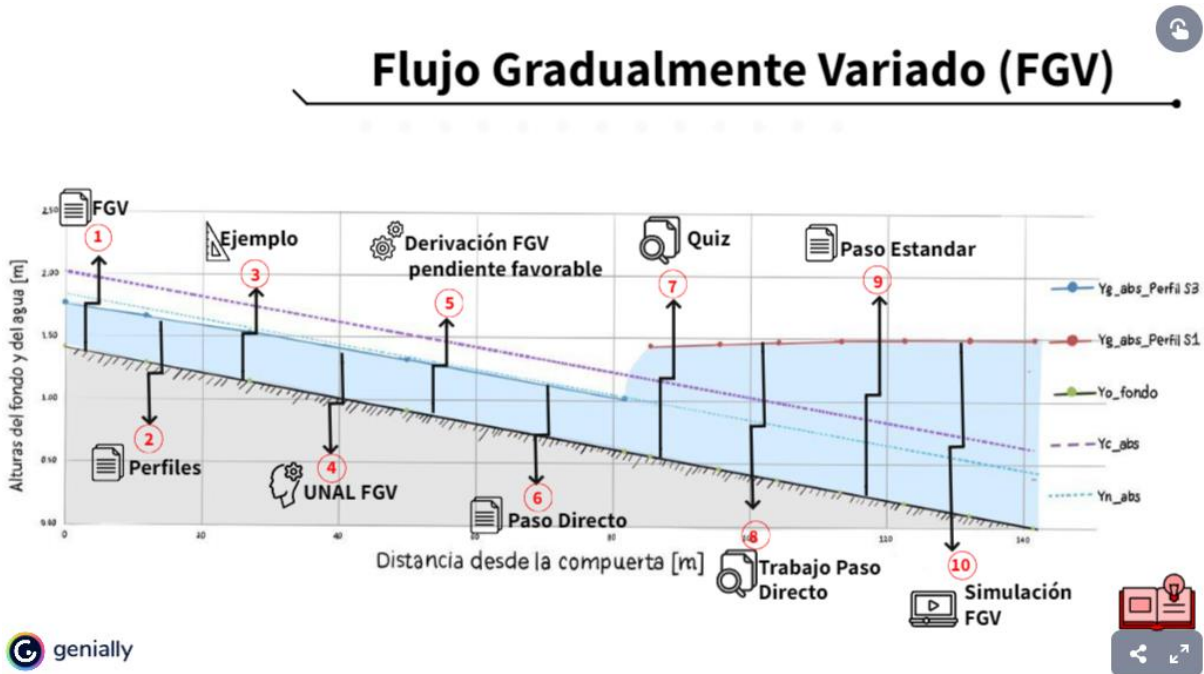
- U5 - Derivación SHO y SHOTO
- Quiz No. 2 - U3-U5
Evalúa Transiciones, Momento y Generalidades del flujo uniforme
- Quiz No. 2 - U3-U5 - Supletorio
Evalúa Transiciones, Momento y Generalidades del flujo uniforme
- Quiz No. 2 - U3-U5 - ejercicios
- Hoja de Fórmulas V2
- U5 - Tarea Diseño Canales

Simulaciones

- Flujo Uniforme y Manning

Figura 10

Unidad 6, curso de Hidráulica de Caneles



genially

Material de Clase

- U6 - FGV perfiles Subido 14/11/2023 07:01
- U6 - FGV perfiles - ejemplo planteado
- U6 - FGV Paso Directo Subido 16/06/2023 12:13
- U6 - FGV Paso Estándar

Ejercicios

- U6 - FGV Ejemplo Desarrollado

Material de Profundización

- U6 - UNAL FGV

Demostraciones

- U6 - Derivación FGV pendiente favorable

Evaluación

- U6 - Quiz teórico de FGV
- U6 - Hoja de fórmulas

Simulaciones

- Flujo Gradualmente Variado

buscando una mejor comprensión de su contenido. En la tabla 3, se listan, por unidades, las diferentes derivaciones que se editaron y se incluyeron, y en la Figura 12 se presenta, como muestra, la “derivación de la altura crítica Y_c para un canal rectangular” (Unidad 3).

Tabla 3

Derivaciones del curso Hidráulica de Canales

Unidad	Derivación	Fuente
Unidad 1	Cálculo del ángulo teta.	Docente Sandra R. Villamizar
	Derivación propiedades hidráulicas.	Docente Sandra Villamizar y (Villón Béjar, Hidráulica de Canales, 2008) , p.21 (Gálvez R. & Camacho S., 2006) ; (Villón Béjar, Hidráulica de Canales, 2008); (Cadavid R., 2006)
	Secciones Especiales.	
	Derivación de la altura crítica Y_c para un canal rectangular.	Docente Sandra R. Villamizar
Unidad 3	Derivación de la ecuación de la energía mínima (Emín) para un canal rectangular.	Docente Sandra R. Villamizar
	Derivación de la ecuación de energía mínima para cualquier sección.	Docente Sandra R. Villamizar
	Derivación de Y_c para la sección trapezoidal.	Docente Sandra R. Villamizar
Unidad 4	Demostración Delta E para un canal rectangular.	(Villón Béjar, Problemas resueltos de hidráulica de canales, 2007), p.290
	Demostración de la relación entre Y_c y las alturas conjugadas (y_1 , y_2).	(Villón Béjar, Problemas resueltos de hidráulica de canales, 2007), p.302
Unidad 5	Cálculo de Y_n (sección trapezoidal/ rectangular/ triangular)	Docente Sandra R. Villamizar
	Derivación SHO y SHOTO.	Docente Sandra R. Villamizar
Unidad 6	Ecuación dinámica del Flujo Gradualmente Variado.	Docente Sandra R. Villamizar y (Marbello Pérez, 2005)

Figura 12

Derivación de la altura crítica Y_c para un canal rectangular

DERIVACIÓN DE LA ALTURA CRÍTICA Y_c PARA UN CANAL RECTANGULAR

La ecuación de la Energía Específica está dada por:

$$E = \left[y + \frac{V^2}{2g} \right] = \left[y + \frac{1}{2g} \frac{Q^2}{A^2} \right] \quad \text{Ecuación 1}$$

En el caso de un canal rectangular de ancho b , la ecuación se redefine así:

$$q = \frac{Q}{b} = \frac{VA}{b} = \frac{V(\cancel{b} \times y)}{\cancel{b}} = V \times y \quad (\text{donde } q = \text{caudal por unidad de ancho})$$

$$q = V \times y \Rightarrow V = \frac{q}{y}$$

Entonces, la Energía Específica para un canal rectangular es:

$$E = \left[y + \frac{q^2}{2gy^2} \right] \quad \text{Ecuación 2}$$

Al trazar el diagrama de la Energía Específica aparece un punto en la curva conocido como "la nariz de la curva"; el cual indica condiciones críticas.

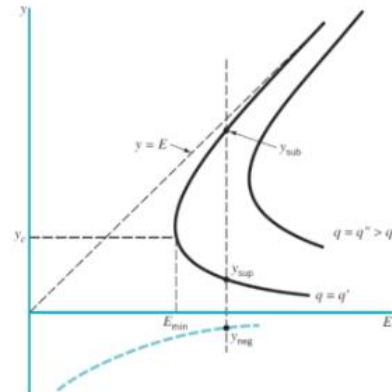
En este punto; "la nariz", la energía no cambia; por lo que:

$$\frac{dE}{dy} = 0; \text{ entonces: } 1 - \frac{q^2}{gy^3} = 0$$

En este punto $y = Y_c$. La ecuación anterior sería:

$$1 - \frac{q^2}{gY_c^3} = 0; \text{ despejando } Y_c$$

$$gY_c^3 = q^2 \rightarrow Y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad \text{Ecuación 3}$$



4.3. Ejercicios planteados

Se digitalizaron en total 33 ejercicios abarcando temas de todas las unidades. Los ejercicios, al igual que las derivaciones, fueron digitalizados usando la tableta gráfica y se presentan en formato pdf. Entre los ejercicios digitalizados se encuentra material existente proporcionado por la docente en formato análogo y nuevo material que se adaptó desde las fuentes bibliográficas citadas en los antecedentes. La digitalización se hizo buscando mejorar la comprensión del estudiante y unificar los formatos de presentación de los archivos. En la tabla 4, se presentan los ejercicios digitalizados por unidades y en la Figura 13 se presenta, como muestra, el ejercicio “Energía sección triangular” (Unidad 3).

Tabla 4

Ejercicios planteados, curso de Hidráulica de Canales

Unidad	Ejercicio	Fuente
	Sección circular	Docente Sandra R. Villamizar
	Sección compuesta (círculo-trapecio)	(Villón Béjar, Hidráulica de Canales, 2008), p.39
	Sección trapezoidal	Docente Sandra R. Villamizar
Unidad 1	Sección triangular	Docente Sandra R. Villamizar
	Sección circular, hallar Y	(Villón Béjar, Problemas resueltos de hidráulica de canales, 2007), p.29
	Secciones compuestas (rombo, trapecio)	(Villón Béjar, Problemas resueltos de hidráulica de canales, 2007), p.17, p.27

Unidad	Ejercicio	Fuente
	Secciones especiales	(Villón Béjar, Problemas resueltos de hidráulica de canales, 2007), p.20
Unidad 2	Distribución de presión	(Duarte Agudelo , 2011), p 1-24
	Energía sección triangular	Docente Sandra R. Villamizar
	Energía sección rectangular	Docente Sandra R. Villamizar
	Energía sección trapezoidal	Docente Sandra R. Villamizar
	Cálculo de tirantes sección rectangular	(Villón Béjar, Problemas resueltos de hidráulica de canales, 2007), p.218
Unidad 3	Energía específica canal rectangular	(Villón Béjar, Problemas resueltos de hidráulica de canales, 2007), p.208
	Cálculo de b para producir cambio de régimen	(Villón Béjar, Problemas resueltos de hidráulica de canales, 2007), p.235
	Transiciones	(Duarte Agudelo , 2011), p.2-15, p.2-21
	Flujo crítico	(Duarte Agudelo , 2011), p.2-23
	Resalto hidráulico 1	(Villón Béjar, Hidráulica de Canales, 2008), p.229
Unidad 4	Resalto hidráulico 2	(Duarte Agudelo , 2011), p.2-33
	Resalto hidráulico 3	(Rodriguez Ruiz, 2008), p.288
	Resalto hidráulico 4	(Arambulo , 1984), p.37

Unidad	Ejercicio	Fuente
	Resalto hidráulico 5	(Gálvez R. & Camacho S., 2006), p.163
	Resalto hidráulico 6	(Villón Béjar, Problemas resueltos de hidráulica de canales, 2007), p.282
	Resalto hidráulico 7	(Villón Béjar, Problemas resueltos de hidráulica de canales, 2007), p.285
	Flujo uniforme	Docente Sandra R. Villamizar
	Flujo uniforme en sección compuesta	Docente Sandra R. Villamizar
	Cálculo de L para duplicar Q	Docente Sandra R. Villamizar
	Manning	(Villón Béjar, Problemas resueltos de hidráulica de canales, 2007), p.72
Unidad 5	Flujo uniforme en sección circular	(Villón Béjar, Problemas resueltos de hidráulica de canales, 2007), p.55
	Secciones de máxima eficiencia	Docente Sandra R. Villamizar
	Sección diseño SHO y SHOTO	(Duarte Agudelo , 2011), p.3-44
	Max eficiencia, sección trapezoidal	(Gálvez R. & Camacho S., 2006), p.287
	Flujo gradualmente variado	(Duarte Agudelo , 2011), p.4-12
Unidad 6	Flujo gradualmente variado	(León, 2023)

Figura 13

Ejercicio "Energía sección triangular"

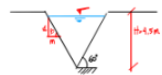
Ejemplo 1

Un canal triangular lleva una energía específica de 5,0 m al transportar un caudal de 6,5 m³/s. Para estas condiciones, calcule las profundidades alternas del flujo. El diseñador del canal nos informa que la geometría del canal es la siguiente:

- El ángulo del talud con respecto a la horizontal es de 60 grados.
 - La pendiente longitudinal del canal puede ser considerada aproximadamente horizontal.
 - La altura total del canal (de base a cresta) es de 4,5 m.
- Verifique que el caudal reportado puede ser transportado por el canal

1 Datos del problema

Sección transversal



$$W=0 \text{ (pendiente longitudinal } \approx 0)$$

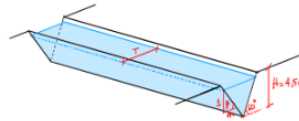
$$m \text{ o } z \rightarrow \beta=60^\circ, \tan 60^\circ = \frac{1}{m}$$

$$\rightarrow m = \frac{1}{\tan 60^\circ} = 0,58$$

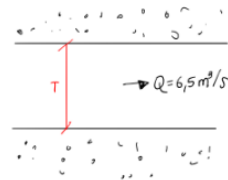
$$\alpha = 1 \text{ (canal prismático)}$$

$$Q = 6,5 \text{ m}^3/\text{s} \quad E = 5,0 \text{ m}$$

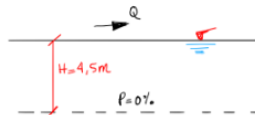
Vista 3D



Vista Planta



Vista Perfil



2 Cálculo de las profundidades alternas para Q y E dados:

- la ecuación de la energía específica es: $E = \left[y + \frac{1}{2g} \frac{Q^2}{A^2} \right]$

- el área para una sección triangular es: $A_D = m y^2$

Reemplazando: $5,0 = y + \frac{(6,5 \text{ m}^3/\text{s})^2}{2(9,81 \text{ m/s}^2)(0,58m + y)^2}$

Solucionando con calculadora u otra herramienta, obtengo tres soluciones reales:

$$y = 1,13 \text{ m}, \quad y = 4,99 \text{ m}, \quad y = -1,02 \text{ m}$$

Solo nos interesan las soluciones positivas:

$$y = 1,13 \text{ m} \quad \leftarrow y \text{ supercrítica}$$

$$y = 4,99 \text{ m} \quad \leftarrow y \text{ subcrítica}$$

3 Verificación de las dimensiones del canal con respecto a los datos del problema.

Dado que $H = 4,5 \text{ m}$ y $y_{\text{subcrítica}} = 4,99 \text{ m}$ (5,0 m)

El caudal reportado **no puede fluir** por el canal en la condiciones dadas, o puede haber un error en las especificaciones dadas por el diseñador.

4.4. Bancos de preguntas

Se amplió el banco de preguntas incluyendo en total 53 preguntas para evaluar contenidos específicos propuestos dentro del aula virtual, como lecturas y videos, adicionalmente se incorporaron las respectivas respuestas en busca de que el estudiante logre hacer una retroalimentación completa del tema. Los contenidos que fueron revisados para el planteamiento de las preguntas anteriormente no estaban siendo evaluados, sino que eran material complementario o de profundización. Dentro del banco de preguntas ya existía una categorización por unidades y temas por lo que, para seguir con esta estructura, las nuevas preguntas se categorizaron dentro de las unidades existentes y se agruparon por temas.

Se crearon 2 tipos de preguntas: “opción múltiple” y “arrastrar y soltar sobre una imagen”; con estas se evalúan contenidos de material propuesto en las unidades 2 (“Métodos de medición de velocidad y caudal”), 3 (“Energía específica y flujo libre” y “Medidores de régimen crítico”), 4 (“Resalto hidráulico”), y 6 (“Flujo gradualmente variado y perfiles de flujo” y “Perfiles de flujo gradualmente variado”). Las Figuras 14 y 15 presentan, como muestra, un ejemplo de pregunta de selección múltiple y otra de pregunta de arrastrar.

Figura 14*Pregunta de Selección Múltiple*

Pregunta 1

Sin responder aún

Puntúa como 1,00

Quando se representa gráficamente la curva de Energía Específica (E) en función de la profundidad del flujo (Y) en condiciones de flujo permanente, es decir con caudal constante en el tiempo; se obtienen dos asíntotas. Una asíntota horizontal y otra que pasa por el origen con un ángulo de inclinación $\psi = \tan^{-1}(\cos^2 \theta)$. Ahora, si se aumenta el caudal del flujo del canal, ¿qué sucede con la energía específica y cómo se ve afectada la gráfica de E vs Y?

Seleccione una:

- A. Tanto la energía específica con la gráfica se mantiene iguales.
- B. La energía específica aumenta y la gráfica de E vs Y se desplaza hacia la derecha.
- C. La energía específica aumenta y la gráfica de E vs Y se desplaza hacia arriba.
- D. La energía específica disminuye y la gráfica de E vs Y se desplaza hacia la izquierda.

Pregunta 1

Incorrecta

Se puntúa 0,00 sobre 1,00

Quando se representa gráficamente la curva de Energía Específica (E) en función de la profundidad del flujo (Y) en condiciones de flujo permanente, es decir con caudal constante en el tiempo; se obtienen dos asíntotas. Una asíntota horizontal y otra que pasa por el origen con un ángulo de inclinación $\psi = \tan^{-1}(\cos^2 \theta)$. Ahora, si se aumenta el caudal del flujo del canal, ¿qué sucede con la energía específica y cómo se ve afectada la gráfica de E vs Y?

Seleccione una:

- A. Tanto la energía específica con la gráfica se mantiene iguales.
- B. La energía específica aumenta y la gráfica de E vs Y se desplaza hacia la derecha.
- C. La energía específica aumenta y la gráfica de E vs Y se desplaza hacia arriba. ✘
- D. La energía específica disminuye y la gráfica de E vs Y se desplaza hacia la izquierda.

Respuesta incorrecta.

La respuesta correcta es: La energía específica aumenta y la gráfica de E vs Y se desplaza hacia la derecha.

Figura 15

Pregunta de Arrastrar y Soltar

Pregunta 1
Sin responder aún
Puntúa como 1,00

Seleccione y arrastre hacia donde corresponda, según el tipo de perfil que se presenta.

Legend:
 - - - y_c (red)
 - - - y_n (green)
 — Sup. agua (blue)

Labels in diagram: Embalse, fuerte, horizontal, Embalse, ①, ②, ③, y_c , y_n , Sup. agua.

Selection boxes: S2 H3 H2

Pregunta 1
Parcialmente correcta
Se puntúa 0,33 sobre 1,00

Seleccione y arrastre hacia donde corresponda, según el tipo de perfil que se presenta.

Legend:
 - - - y_c (red)
 - - - y_n (green)
 — Sup. agua (blue)

Labels in diagram: Embalse, fuerte, horizontal, Embalse, ①, ②, ③, y_c , y_n , Sup. agua.

Selection boxes: S2 H3 H2

Respuesta parcialmente correcta.
 La respuesta correcta es S2, H3 y H2 respectivamente.
 Ha seleccionado correctamente 1.

4.5.Integración de simulaciones del laboratorio

Se incluyeron dentro del módulo del curso 6 simulaciones existentes que hacen parte del componente práctico del curso. Estas simulaciones hacen parte de la tesis “Desarrollo de simulaciones de modelos hidráulicos como herramienta de soporte de la enseñanza del Laboratorio de Hidráulica”, donde Malaver Nieto, entre otras cosas, generó una serie de videos con su respectiva guía de desarrollo en formato pdf. En estos se muestran y explican las simulaciones para las unidades de aprendizaje 2 (“Distribución de velocidades”), 3 (“Evaluación de la Energía Específica y del Régimen Crítico en un canal prismático” y “Transición en Flujo Subcrítico”), 4 (“Resalto Hidráulico”), 5 (“Coeficiente de rugosidad de Manning”), 6 (“Flujo Gradualmente Variado”).

Las simulaciones se crearon como una estrategia de aprendizaje en medio de la situación por la que pasó el Laboratorio de Hidráulica, el cual sufrió problemas en su funcionamiento durante los anteriores semestres. Con la intención de conservar el material para los siguientes semestres en los que se pueda llevar a cabo el componente práctico de manera presencial y usando los equipos del Laboratorio de Hidráulica, se creó una sección dentro del aula virtual del componente teórico del curso donde se incluyó la guía y el video donde se explica y muestra el desarrollo de la simulación; este material complementa el contenido del curso.

4.6.Encuestas de percepción

La primera encuesta contó con 8 preguntas, 7 de opción múltiple y 1 abierta. En la Figura 16 se muestran las estadísticas de los resultados. En general, según las respuestas de los estudiantes, el AVA del curso tiene un ambiente intuitivo, las imágenes interactivas contienen

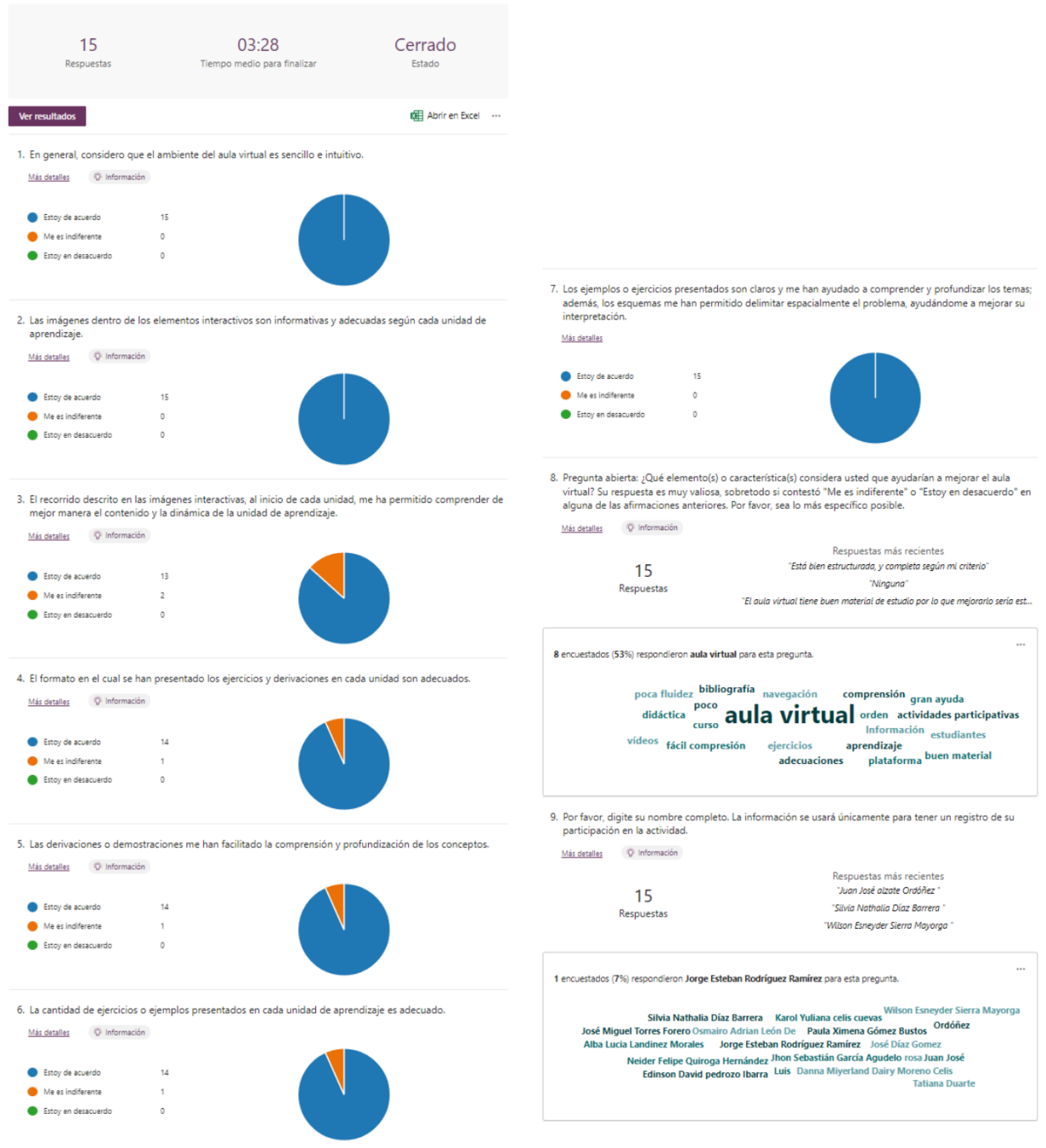
información significativa y adecuada, y esto les permitió mejorar la comprensión del contenido; los formatos de los recursos son adecuados, así como también su planteamiento y desarrollo.

Los estudiantes también mencionaron algunas de las debilidades del contenido y planteamiento del Aula Virtual. En cuanto al planteamiento, varios estudiantes hicieron notar la poca fluidez con la que trabaja el Aula Virtual; dado el alto volumen de elementos incrustados en ella. En cuanto al contenido, algunos sugirieron aumentar la cantidad de material de ejercicios, incluir videos, actividades participativas y la bibliografía del curso.

Figura 16

Resultados primera encuesta-Aula Virtual de Aprendizaje

Evaluación del aula virtual del curso Hidráulica



Con base en los resultados de la encuesta se incluyó la bibliografía para cada unidad de aprendizaje y también se incluyeron ejercicios que no alcanzaron a ser desarrollados por los estudiantes del curso durante el semestre 2023-2.

En cuanto a la poca fluidez del AVA, se hizo el ejercicio de acceder desde dos equipos diferentes: desde un computador y desde un dispositivo móvil. Se ingresó al panel principal del aula; el cual muestra la información general de las unidades de aprendizaje, y desde el computador tardó en cargar 1.66 segundos; mientras que al acceder desde el dispositivo móvil tardó 3.44 segundos. Luego se accedió a la pestaña de la Unidad 1 (U1- Propiedades Hidráulicas de Canales), y usando el computador se tardó 1.40 segundos en cargar; mientras que usando el dispositivo móvil tardó 2.80 segundos. Al hacer esta pequeña comparación es posible notar que se hace recomendable el uso de un computador para acceder al AVA, para garantizar una mejor experiencia para el usuario.

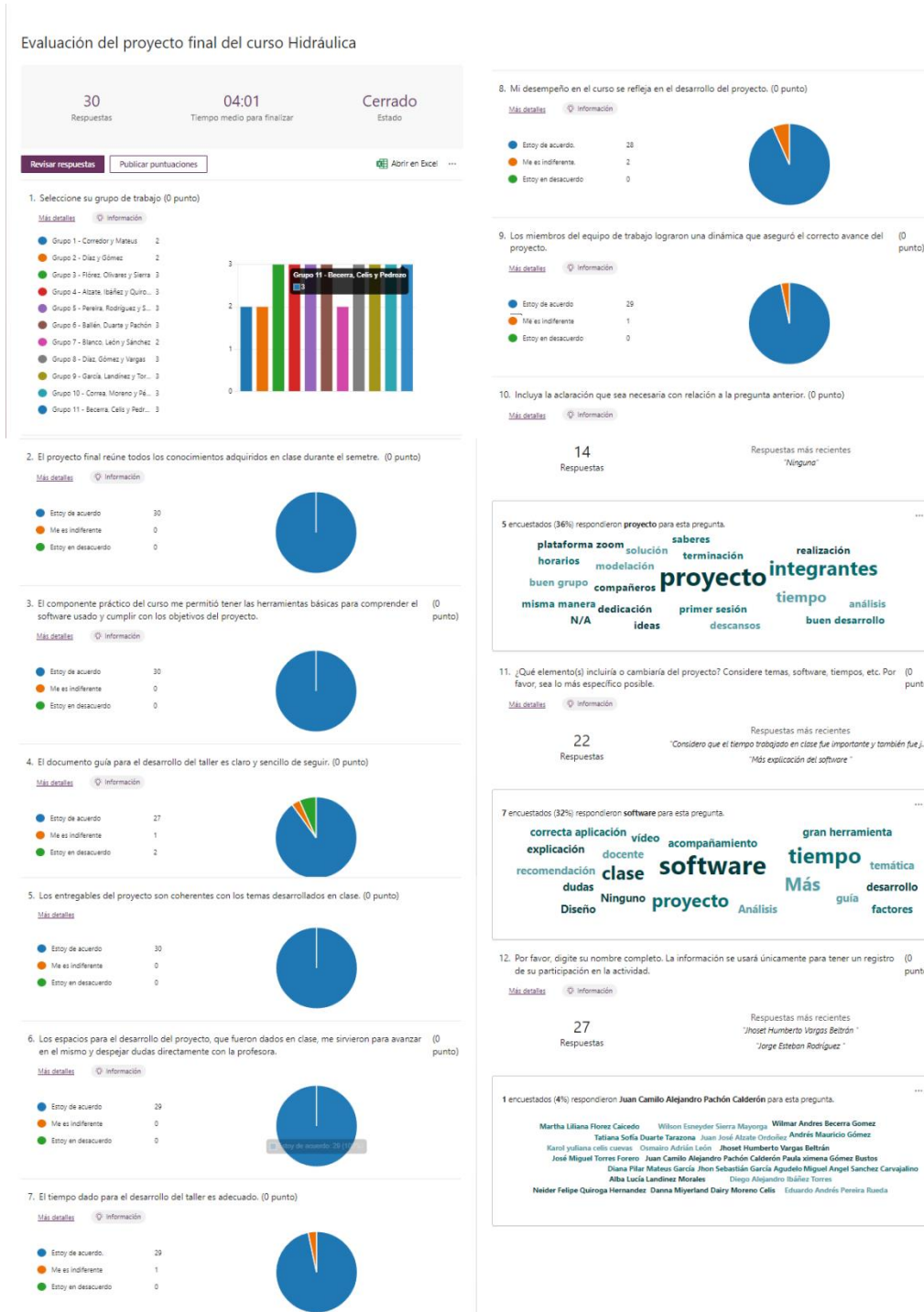
Por otro lado, la segunda encuesta contó con 12 preguntas, 9 de selección múltiple y 3 de respuesta abierta. En la Figura 17 se muestran las estadísticas de los resultados de esta encuesta. Según las respuestas de los estudiantes, el proyecto reúne los conocimientos adquiridos durante el curso, el espacio y tiempos dados para el desarrollo de este es coherente y en general se logró un buen trabajo en equipo; y aunque para algunos estudiantes fue complicado seguir el documento guía del proyecto, todos los grupos realizaron las respectivas entregas.

Cuando se les preguntó a los estudiantes por cuáles elementos cambiarían del proyecto, una respuesta que se repitió fue las falencias respecto al manejo del software y el acompañamiento. Las anteriores observaciones y sugerencias sirvieron de guía para el planteamiento del nuevo

ejercicio de modelación en el software EPA SWMM que se desarrolló como producto de este trabajo.

Figura 17

Resultados segunda encuesta-Percepción del proyecto final



4.7. Modelación en EPA SWMM

Se planteó la modelación y simulación de una red de alcantarillado pluvial en el programa EPA- SWMM, esto como una nueva estrategia de aprendizaje que integrará los conocimientos previos de hidrología y los adquiridos en el curso de Hidráulica. Además, se pretendió ofrecerles a los estudiantes un acercamiento a una nueva herramienta computacional que también les será útil para las asignaturas que siguen en la línea de la carrera.

EPA- SWMM es un software gratuito, ampliamente usado para la planificación, análisis y diseño de diferentes tipos de sistemas de drenaje. La modelación que se plantea se desarrolla sobre un área de estudio residencial ubicado en el municipio de Girón, Santander. Dentro de los elementos a modelar se encuentran seis cuencas que descargan a una red con diez nodos y diez conductos que finalmente descargan a una red pluvial existente (ver Figura 18).

Para el desarrollo de la actividad el estudiante debe descargar el programa a su computador desde la página de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, US-EPA^{##}, por sus siglas en inglés; donde también podrá encontrar algunos manuales que le servirán para profundizar en el tema.

El producto desarrollado se evidencia en dos archivos; el primero, es un documento donde se contextualiza acerca del programa EPA-SWMM y el problema planteado; posteriormente se ofrece un “Tutorial” para la modelación de los elementos y para la realización de la simulación. Se busca que el estudiante analice los resultados con base en los reportes y gráficos obtenidos (ver Figura 19). El segundo archivo es un comprimido que contiene una imagen de la zona de estudio,

^{##} US-EPA (<https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>)

las coordenadas de la zona de estudio y las propiedades de los elementos a modelar (cuencas, conductos y nodos). En el Apéndice B, se encuentra el documento con las instrucciones para la actividad, y en el Apéndice C, el archivo comprimido.

Figura 18

Área de estudio- Modelación en EPA-SWMM

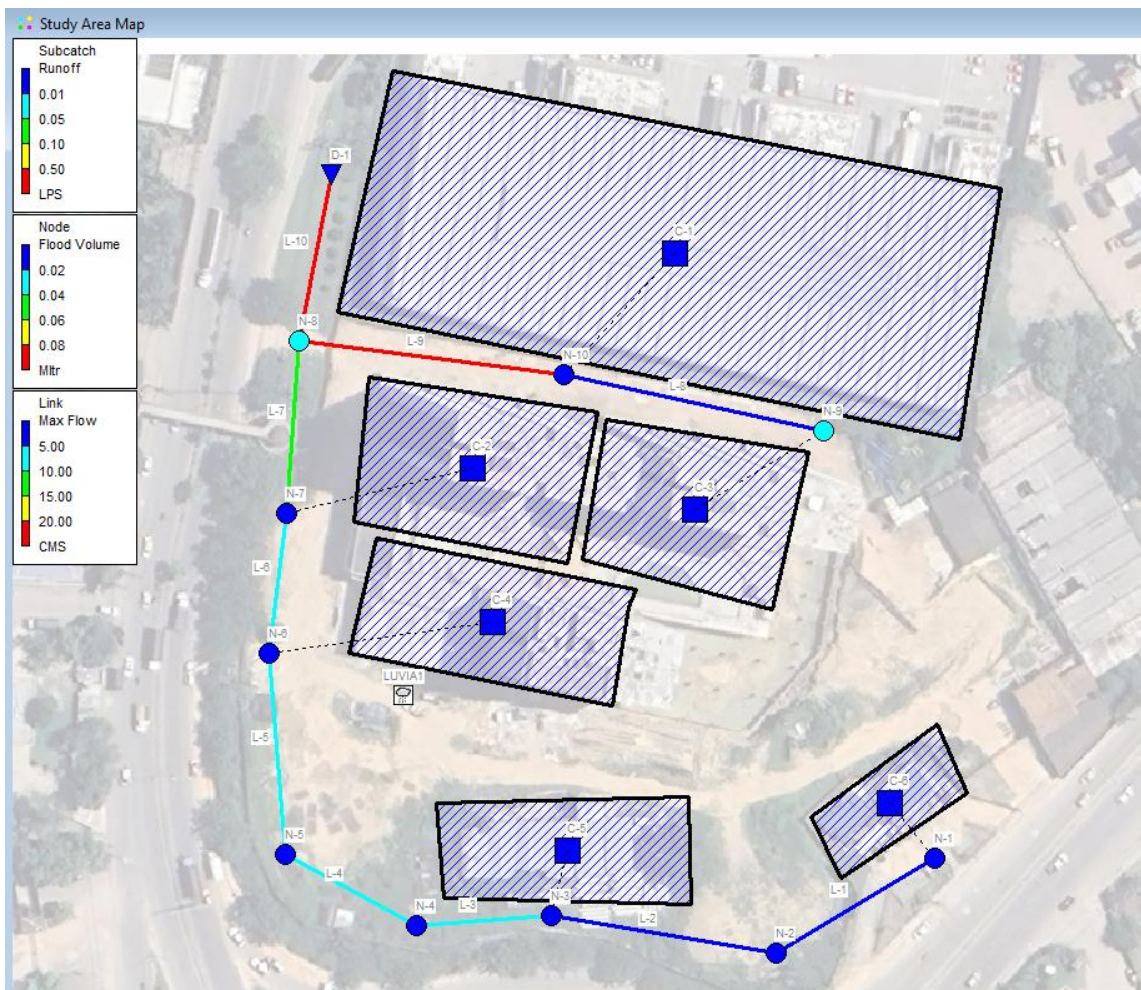
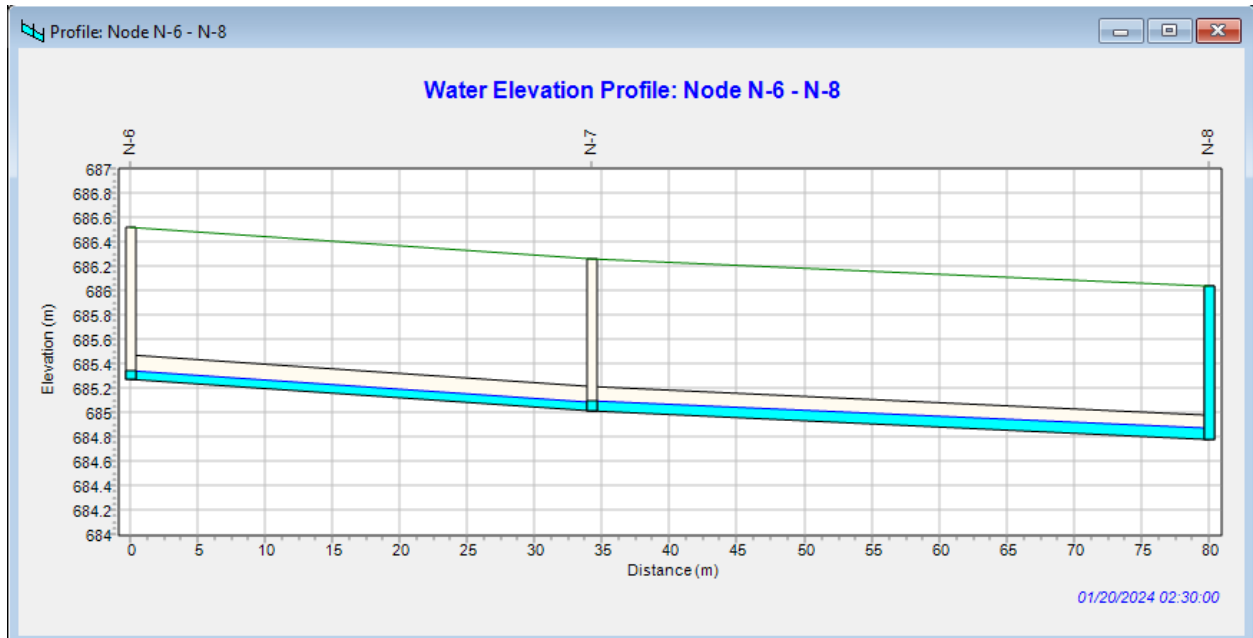


Figura 19

Resultados de la modelación en EPA-SWMM



5. Conclusiones y Recomendaciones

Este trabajo generó material pedagógico para el curso teórico de Hidráulica de Canales de la Escuela de Ingeniería Civil de la UIS, material que permitirá el fortalecimiento de los procesos de enseñanza-aprendizaje del curso. Por un lado, el AVA ofrece una estructura renovada que orienta a los estudiantes sobre la ruta completa del curso teórico a nivel general y dentro de cada unidad de aprendizaje, y por otro lado ofrece una variedad de elementos y actividades que promueven el aprendizaje activo. Adicionalmente, el producto desarrollado ofrece al docente y auxiliares una plataforma que centraliza recursos y actividades de docencia y evaluación.

Este trabajo permitió la adaptación y mejoramiento de material existente en formato análogo consistente en ejercicios y derivaciones, siendo digitalizado e integrado a las diferentes unidades de aprendizaje. Se digitalizaron en total 12 derivaciones claves del curso y 33 ejercicios. Estos ejercicios permitirán al estudiante profundizar, de manera independiente, pero guiada, en las temáticas del curso.

Se reforzó la estrategia de aprendizaje del material del curso por medio de un banco de preguntas específico para las lecturas asignadas. Se desarrollaron 53 preguntas que pueden ser usadas como estrategia de clase invertida para que el estudiante llegue más preparado a las sesiones teóricas del curso de Hidráulica. Las preguntas permitirán verificar si el estudiante comprendió la lectura propuesta y, teniendo en cuenta que se proveen las respuestas a las preguntas, es posible que haya un proceso de retroalimentación.

La integración de un nuevo software para el desarrollo de un nuevo ejercicio de modelación le permite al estudiante ampliar su dominio de herramientas computacionales aplicadas a la Hidráulica, y trabajar en un proyecto de aplicación que le permitirá adquirir competencias técnicas.

Esta estrategia apunta a fortalecer la estrategia de aprendizaje basado en proyectos y trabajo en equipo, que es clave para los programas de ingeniería.

El AVA es una herramienta que centraliza y estructura todos los contenidos del curso de Hidráulica de Canales, y que a medida que se alimente con nuevos recursos de aprendizaje, irá aumentando su valor. Para tener una mejor experiencia, se recomienda el acceso al AVA a través de un computador.

La realización de encuestas a los estudiantes permitió identificar elementos a corregir o mejorar y evidenciar la utilidad de la plataforma. Es necesario implementar este tipo de herramientas con los estudiantes de los diferentes cursos con el fin de enriquecer el contenido del curso y responder a las necesidades de sus usuarios.

Referencias Bibliográficas

- Arambulo , L. E. (1984). *Hidráulica Aplicada*. Universidad Industrial de Santander.
- Cadavid R., J. H. (2006). *Hidráulica de Canales :Fundamentos* . Universidad EAFIT.
- Duarte Agudelo , C. A. (2011). *Introducción a la Hidráulica de Canales*. Universidad Nacional de Colombia.
- Flumen Institute. (2023). *Universidad Politécnica de Barcelona*. Obtenido de <https://flumen.upc.edu/en>
- French, R. H. (1993). *Hidráulica de Canales Abiertos*. McGraw-Hill.
- Gálvez R., H. E., & Camacho S., R. W. (2006). *Modernización de la enseñanza aprendizaje en la asignatura Hidráulica II*. Universidad Mayor de San Simón.
- Genially. (2023). Obtenido de <http://app.genial.ly>
- Giles, R. V., Evett, J. B., & Evett, C. L. (1994). *Mecánica de Fluidos e Hidráulica*. MacGraw-Hill.
- Gonzáles, M. B., Patarroyo, N. I., & Carreño, C. G. (2017). *Principio de justicia en el aula y responsabilidad moral del docente frente a los estilos de aprendizaje*. Obtenido de Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación 7(2): http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2027-83062017000100241&lang=es
- Kolb, D. (2015). *Experimental learning experiences as the source of learning development*. (2a. ed) Pearson Education. Obtenido de https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=jpbeBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&ots=VoaQtR-0Sd&sig=wRgnIcphz-a4KxGkodksVwfAEuY&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

- Laitón Suárez, B. D. (2022). *Práctica en Docencia para Mejorar la Estrategia de Laboratorio del Curso de Hidráulica de la Escuela de Ingeniería Civil*. Universidad Industrial de Santander.
- León, A. S. (2023). *Florida International University*. Obtenido de https://web.eng.fiu.edu/arleon/courses/Open_Channel/Lectures/gradually_varied_flow.pdf
- Malaver Nieto, E. D. (2022). *Desarrollo de simulaciones de Modelos hidráulicos como herramienta de soporte de la enseñanza del Laboratorio de Hidráulica*. Universidad Industrial de Santander.
- Marbello Pérez, R. (2005). *Manual de Prácticas de Laboratorio de Hidráulica*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.
- Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Obtenido de <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/cb30a4de-7d87-4e79-8e7a-ad5279038718/content>
- National Risk Management Research Laboratory. (2005). *SWMM, Modelo de Gestión de Aguas Pluviales. Manual de Usuario*.
- OCDE. (2016). *La Educación en Colombia*. Obtenido de Ministerio de Educación Nacional: https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-356787_recurso_1.pdf
- Peñaranda Osorio, C. V. (2018). *Mecánica de Fluidos*. ECOE Ediciones.
- Ponce, V. (2014). *Fundamentals of open-channel hydraulics*. Obtenido de <https://ponce.sdsu.edu/openchannel/>

Rodriguez Ruiz, P. (2008). *Hidráulica II*. Obtenido de <https://dokumen.tips/documents/hidraulica-ii-pedrorodriguez-ruiz.html>

Storm Water Management Model (SWMM). (2023). Obtenido de EPA United States Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>

Villón Béjar, M. (2007). *Problemas resueltos de hidráulica de canales*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Villón Béjar, M. (2008). *Hidráulica de Canales*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Villón Béjar, M. (2014). *Hec-Ras Ejemplos*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Apéndice A. Enlazar Genially con Moodle y vinculación interactiva entre etiquetas y material del AVA.

Para incluir la imagen interactiva dentro de la plataforma Moodle se debe insertar el contenido desde Genially a Moodle como una etiqueta en formato HTML; de la siguiente forma.

Se selecciona la opción compartir sobre la presentación; como se muestra en la Figura A1, y luego se escoge la opción insertar y se copia el texto como se muestra en a Figura A2.

Figura A 1

Enlazar Genially con Moodle, Paso 1

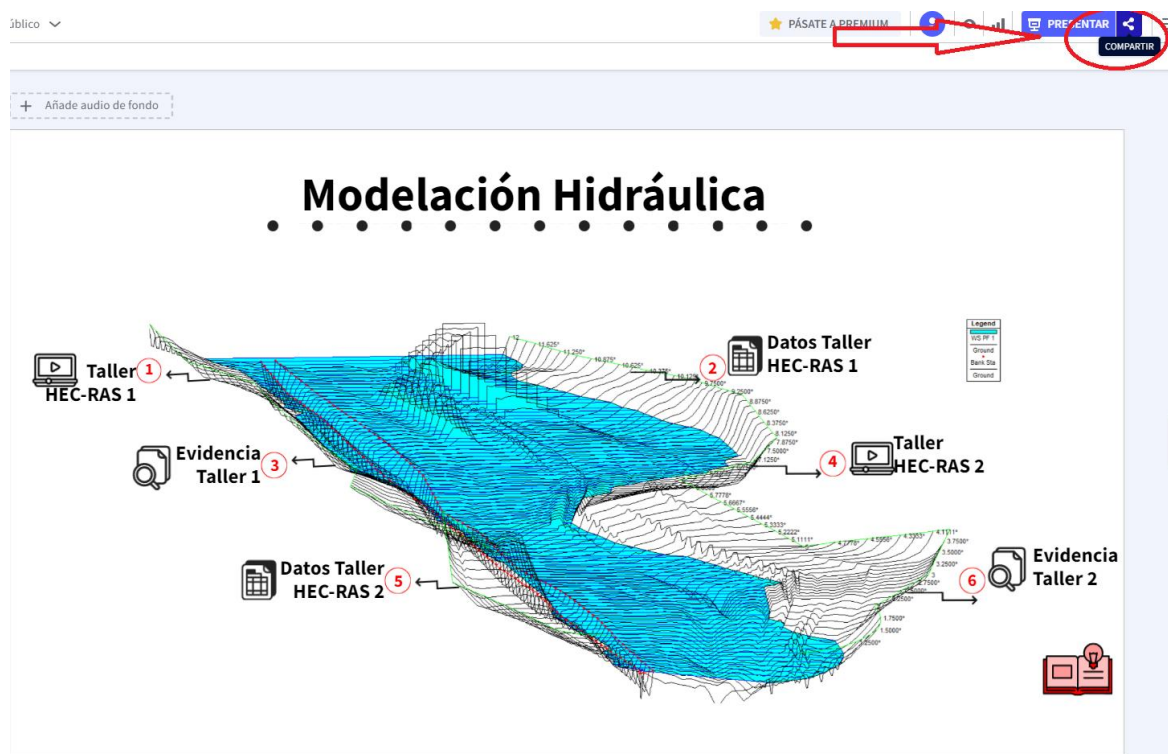
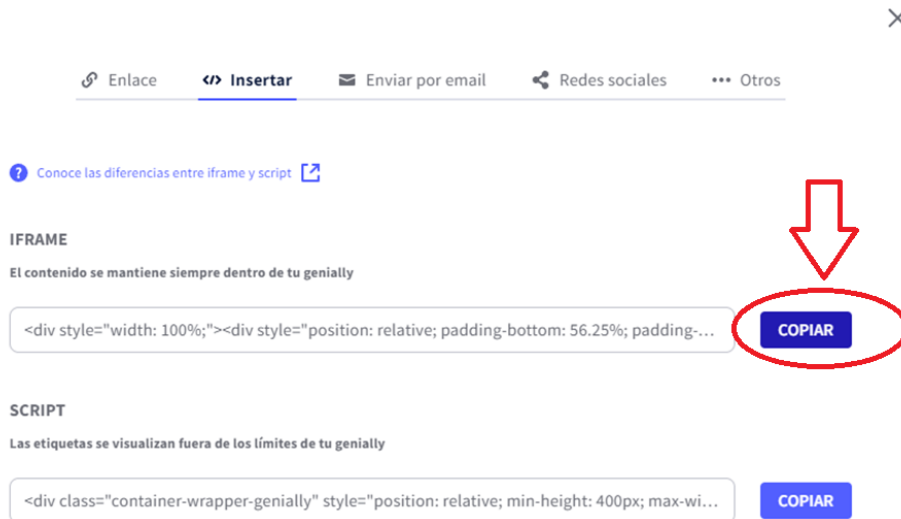
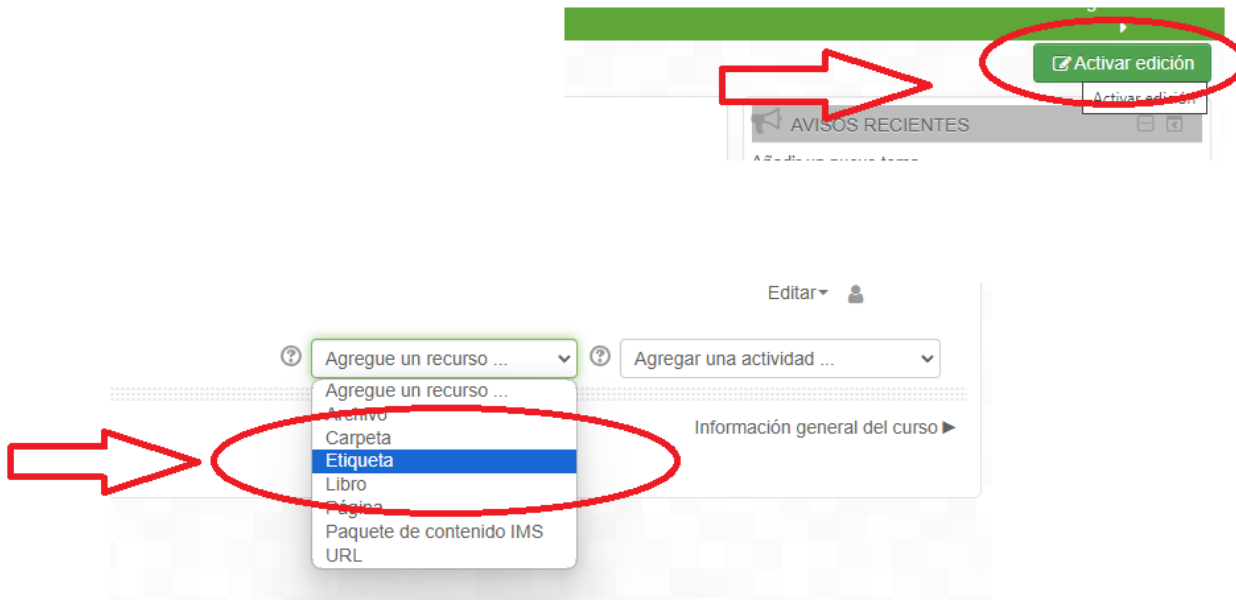


Figura A 2*Enlazar Genially con Moodle, Paso 2*

Con el texto en el portapapeles, se va a Moodle dentro de la pestaña donde se quiere incrustar la imagen y se crea una nueva etiqueta; para que esta opción se muestre se debe tener activada la edición, como se muestra en la Figura A3.

Figura A 3

Enlazar Genially con Moodle, Paso 3



Se activa la opción de texto en formato HTML, se pega el texto que se tiene en el portapapeles y se guardan los cambios; como se muestra en la Figura A4.

Figura A 4*Enlazar Genially con Moodle, Paso 4*

Agregando Etiqueta

General

Texto de la etiqueta

`<div style="width: 100%;"><div style="position: relative; padding-bottom: 56.25%; padding-top: 0; height: 0;"><iframe title="Unidad 7" frameborder="0" width="1200" height="675" style="position: absolute; top: 0; left: 0; width: 100%; height: 100%;" src="https://view.genially.ly/653f1e2bc13c91001191bd71" type="text/html" allowscriptaccess="always" allowfullscreen="true" scrolling="yes" allownetworking="all"></iframe> </div> </div>`

Ajustes comunes del módulo

Restricciones de acceso

Marcas

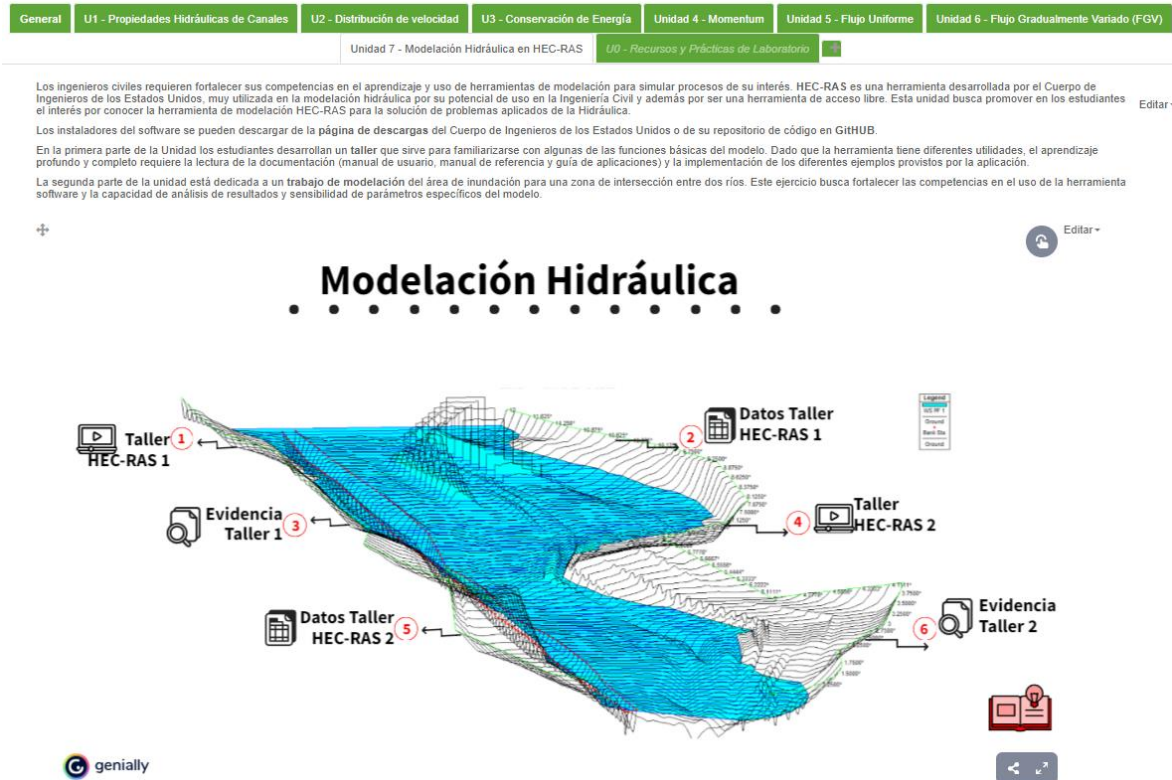
Competencias

Guardar cambios y regresar al curso Cancelar

Y finalmente queda insertada la imagen interactiva dentro de la plataforma Moodle, como se muestra en la Figura A5.

Figura A 5

Enlazar Genially con Moodle, Paso 5



Ahora para realizar la vinculación interactiva entre etiquetas y material del AVA; primero, es necesario cargar el archivo dentro del AVA. Para este caso; como se explicó dentro de la sección “Mejoramiento de la Estructura del AVA del curso de Hidráulica”, se crean etiquetas que se relacionan con la imagen interactiva y con los contenidos de cada unidad, bajo estas etiquetas se carga el material dentro el AVA y estando allí se selecciona la opción “copiar dirección de enlace” y luego se va a la página de Genially, donde previamente se ha creado la imagen interactiva con todos sus elementos.

En Genially se selecciona el elemento al cual se desea enlazar el archivo y se da clic en la opción “Añadir interactividad”. Inmediatamente se abre un panel al costado izquierdo de la página y se selecciona la opción “Enlace” (ver Figura 25), allí se abre una nueva ventana en la que se pega el enlace anteriormente copiado. Se da clic en Guardar, y así queda enlazado el archivo al elemento interactivo.

Figura A 6

Vincular archivos con elementos interactivos



Apéndice B. Modelación de una red de drenaje con EPA-SWMM.

Descripción del ejercicio

EPA-SWMM es un software público de código abierto y gratuito, que puede usarse para la planificación, análisis y diseño relacionado con la escorrentía de agua pluviales, alcantarillados sanitarios y combinados, entre otros sistemas de drenaje. El objetivo de este ejercicio es aprender las funciones básicas de EPA- SWMM mediante la creación de un modelo bidimensional de un sistema de una red de drenaje para una zona residencial. Se espera que los estudiantes tengan un conocimiento básico de hidráulica, canales a flujo libre y funciones GIS al momento de la realización del ejercicio, donde se modelará un tramo de alcantarillado que conecta las aguas lluvias y de escorrentía captadas por una zona residencial, hasta el alcantarillado pluvial existente. Posteriormente, la actividad se completa con la ejecución de la simulación y con un trabajo de análisis de resultados en busca de consolidar el entendimiento de los conceptos básicos implementados dentro de todo el proceso.

Requerimientos de software

Debe instalar EPA-SWMM en su computador para poder llevar a cabo el ejercicio. La herramienta se puede descargar directamente desde la página de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, US-EPA por sus siglas en inglés^{§§}. El software solo está disponible para Windows.

Para el desarrollo de este ejercicio se recomienda usar la versión 5.2.

^{§§} [<https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>]

Requerimientos de información

La información para realizar el trazado de la red sanitaria o pluvial se puede obtener de datos geométricos de la zona de estudio, que se pueden conseguir por medio de la topografía clásica o por medio de herramientas digitales como Google Earth. En este ejercicio se incluye un área en desarrollo residencial ubicado en el municipio de Girón, Santander, y la información se originó a partir de datos Google Earth.

El archivo comprimido “Datos.zip”, contiene información geográfica y geométrica para el desarrollo del ejercicio.

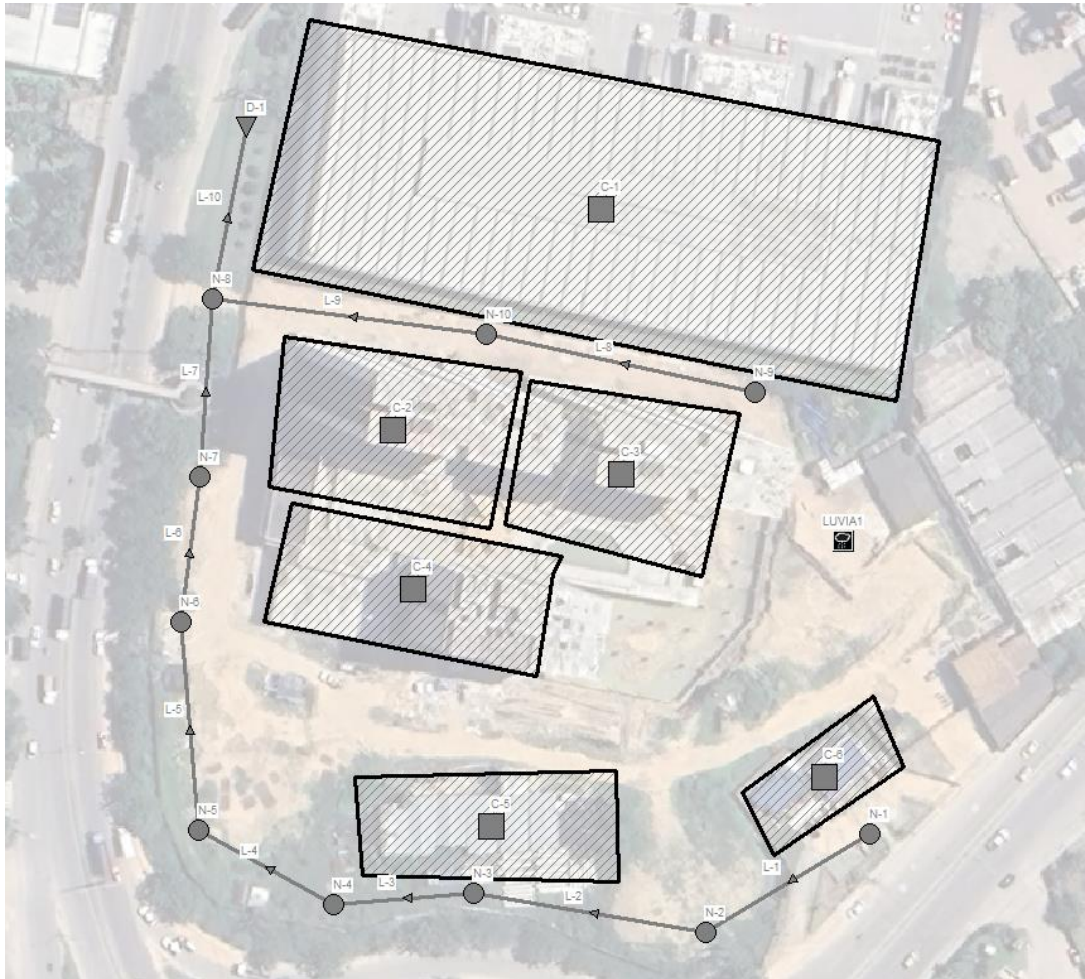
El manual de usuario de la versión 5.0 del software sirve como guía para realización del modelo y la simulación.

Desarrollo de un modelamiento en EPA- SWMM

El área de estudio

El presente ejercicio corresponde a un sistema de alcantarillado pluvial para un área de uso residencial. El trazado se muestra en la Figura B1. El sistema consta de seis cuencas, diez tuberías y diez conductos, y descarga a la red pluvial existente marcada como D-1.

Se debe iniciar con la exportación de la imagen georreferenciada de la zona de estudio; que se encuentra en el archivo comprimido. Luego, se prosigue con el trazado de los objetos, para fijar las distintas propiedades. Se finaliza con la simulación de la respuesta de la red en términos de caudales, para un episodio de lluvia de 76,2 mm y 6 horas de duración.

Figura B 1*Área de estudio- Simulación en EPA-SWMM****Configuración del proyecto***

Primero se debe crear un nuevo proyecto de SWMM y verificar que las opciones por defecto sean establecidas. Estas opciones por defecto simplifican la tarea de introducción de datos.

Al ingresar al programa EPA SWMM, se debe seleccionar crear *New Project*, y luego dar clic en la pestaña *Project >> Defaults*

En la pestaña *Etiquetas ID*, se fija los prefijos deseados, como se muestra en la figura B2

Figura B 2*Project Defaults*

Object	ID Prefix
Rain Gages	LUVIA
Subcatchments	C-
Junctions	N-
Outfalls	D-
Dividers	V-
Storage Units	DEP
Conduits	L-
Pumps	B-
Regulators	REG-
ID Increment	1

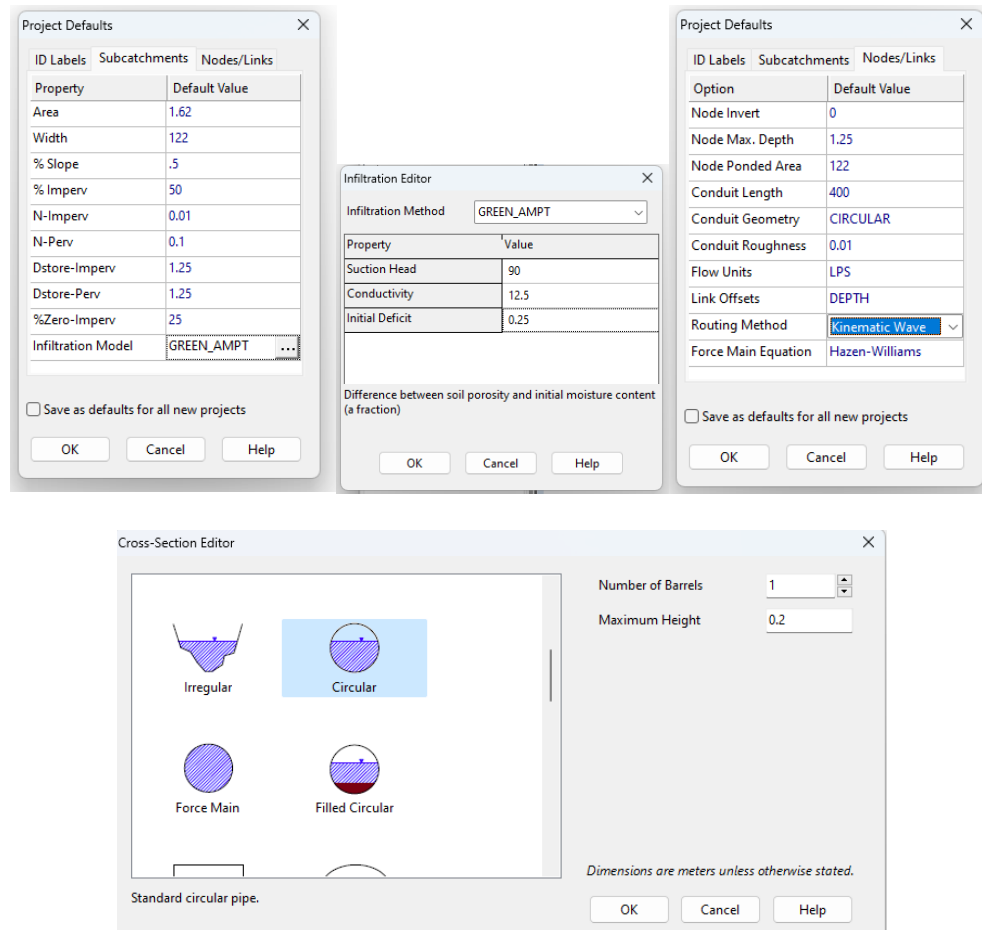
Save as defaults for all new projects

OK Cancel Help

1. En la pestaña *Subcatchments* y *Nodes/Links* fijar los valores de la Figura B3.

Note que con esto se está configurando por defecto el área de las cuencas, la pendiente la impermeabilidad, conductos con geometría circular, profundidad máxima, entre otras cosas.

impermeabilidad, conductos con geometría circular, profundidad máxima, entre otras cosas.

Figura B 3*Project Default - Subcatchments*

- Por último, se pulsa el botón OK y se cierra la ventana. Si desea guardar los valores por defecto para futuros proyectos, seleccione la casilla inferior (*Save as defaults for all new projects*).

A continuación, se fijarán ciertas opciones de presentación del mapa; para esto se selecciona

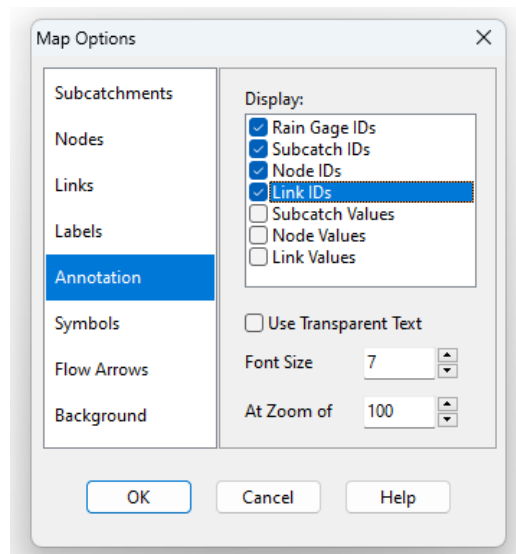
el icono Opciones de vista , de la barra de herramientas.

- En la opción *Subcatchments* seccionar el estilo de relleno diagonal y el tamaño de símbolo de 10.

2. Para la opción *Nodes*, seleccionar un tamaño de 8.
3. Para *Links*, se selecciona un grosor de 3.
4. En la opción *Annotation*, seleccionar los indicativos de Pluviómetros, Cuencas, Nudos y Líneas como se muestra en la figura B4.

Figura B 4

Opciones del Mapa



5. En la opción flechas de caudal seleccionar el estilo de flecha rellena y el tamaño en 7.
- Antes de empezar a dibujar los objetos, seleccionamos las unidades del proyecto en View>> Dimensions>>Maps Units>> Metres, y verificamos que el cálculo de la longitud automática este desactivado (Off) , en caso de que esté activado, se selecciona en la barra de estado y en el menú emergente se selecciona la opción “Auto-Lenght: Off”.

Utilizar una imagen de fondo

SWWM da la opción de usar una imagen de fondo, ya sea un plano de calles o un plano de la zona de estudio; de esta forma se simplifica el proceso de dibujo, puesto que se podrán digitalizar las cuencas, nudos y demás sobre la imagen. Para este caso se usará la imagen formato *png* que se encuentra dentro del archivo comprimido suministrado, esta imagen contiene la zona de estudio.

Para cargar la imagen de fondo siga el siguiente proceso:

En la barra de herramientas se seleccione View>> Backdrop>>Load.

3. En la opción Backdrop imagen file, se selecciona la imagen png, y damos clic en OK.
4. Ahora para darle dimensiones a la imagen, volvemos a View>>Backdrop>>Resize, aquí seleccionamos la opción *Scale Map to Backdrop Image* y se ingresan las coordenadas suministradas en el archivo Excel dentro del comprimido.

Figura B 5

Dimensiones de fondo

Lower Left	
Backdrop	Map
X-coordinate: 702035	702035
Y-coordinate: 783277	783277

Upper Right	
Backdrop	Map
X-coordinate: 702319	702319
Y-coordinate: 783530	783530

Resize Backdrop Image Only
 Scale Backdrop Image to Map
 Scale Map to Backdrop Image

OK Cancel Help

Dibujo de los objetos

Una vez configurado el proyecto y cargada la imagen de fondo que servirá como guía, se empieza por añadir los componentes de la red. Primero se dibujan las Cuencas.



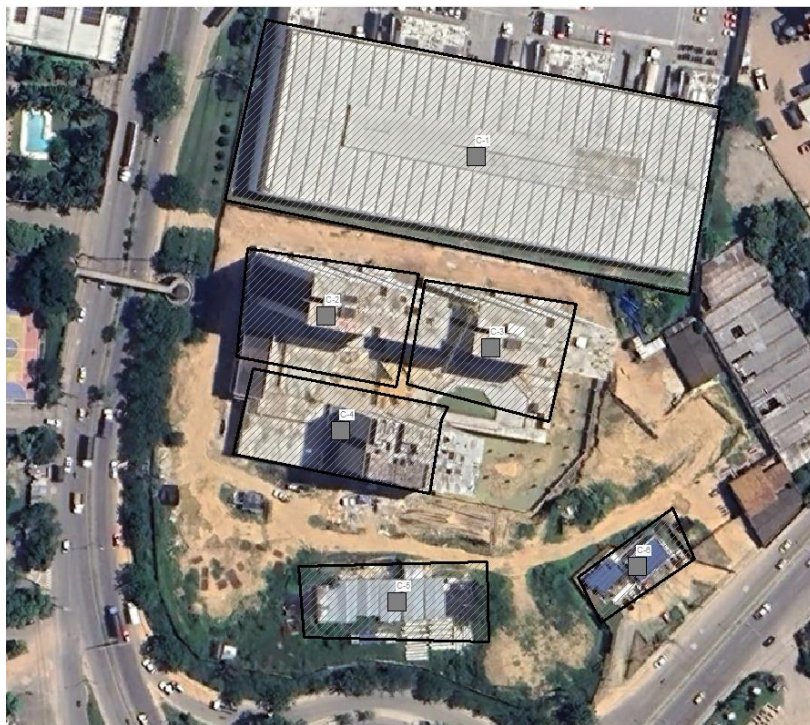
1. En el menú del proyecto se selecciona la opción *Hydrology* y se abre un menú desplegable donde se selecciona *Subcatchments* y en el menú de objetos se da clic en el signo más .
2. Se mueve el ratón sobre el mapa y se dibuja la cuenca C-1 como se muestra en la Figura B6, dando clic izquierdo para marcar los vértices y luego clic derecho cuando desee cerrar el polígono.
3. Si desea eliminar una cuenca solo debe seleccionarla y presionar el botón menos .
4. Se sigue el mismo procedimiento hasta dibujar todas las cuencas.

Figura B 6

Trazado de las Cuencas



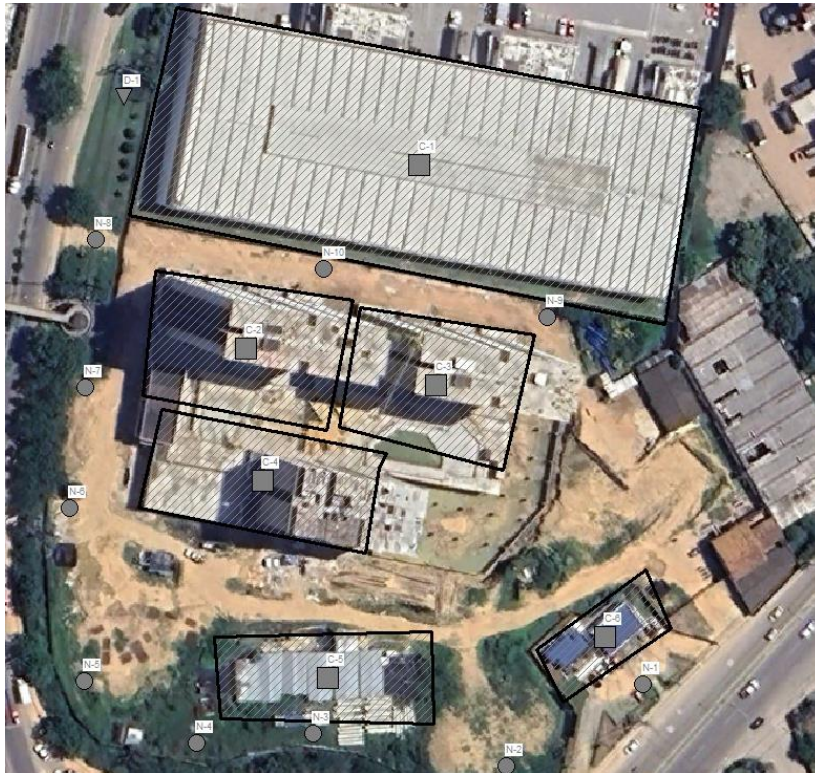
Cabe notar que a medida que se crean las cuencas, estas se identifican de forma secuencial.

A continuación, se añaden los nudos y el nudo de vertido de la red, para esto seleccione en el menú del proyecto *Hydraulics*>> *Nodes*>>*Juntions*, y se da clic sobre el signo más.

Se dibujan los nodos como se muestra en la Figura B7 y por último se añade la descarga seleccionando *Hydraulics*>>*Nodes*>>*Outfalls*.

Figura B 7

Dibujo de Nodos



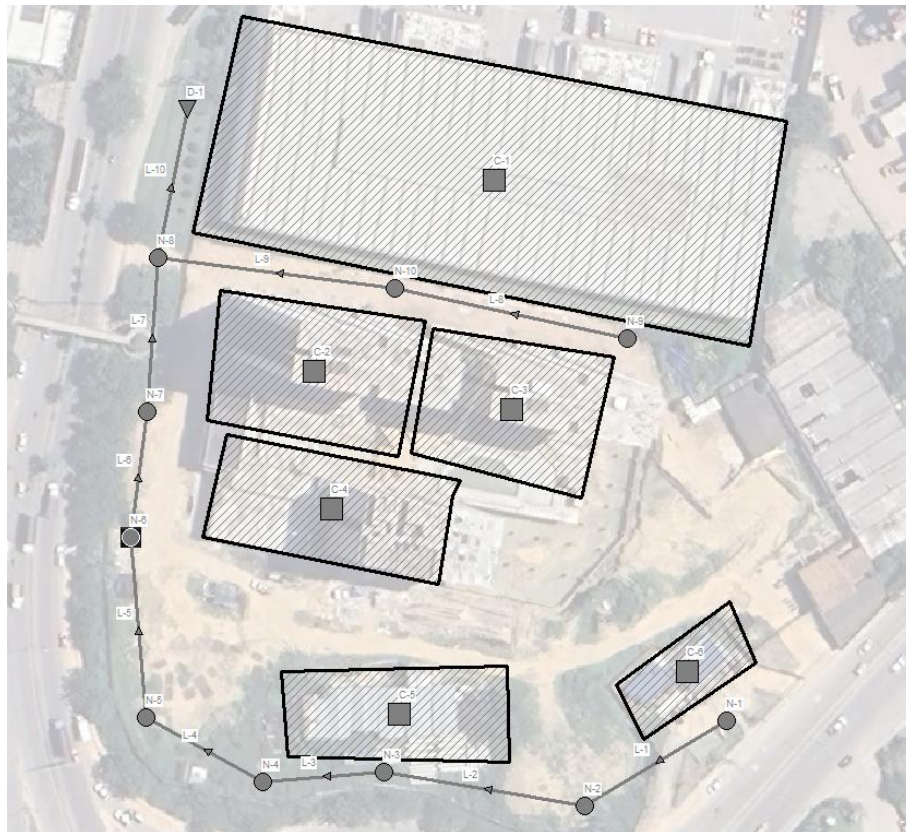
Luego se añaden los conductos, los cuales conectan entre si los nudos del sistema; por lo que es importante tener creados previamente los nudos. Se empieza conectando N-1 y N-2, para ello en el menú del proyecto se selecciona *Hydraulics*>> *Links*>>*Conduits*.

Al igual que con las Cuencas y los Nodos, se va creando cada conducto y el programa le va asignando una identificación con números consecutivos (ver Figura B8)

Nota: Para una mejor visualización de los objetos añadidos es posible convertir el mapa a marca de agua, ingresando a *View>> Backdrop>> Watermark*


Figura B 8

Trazado de los conductos



Para terminar la construcción del área de estudio es necesario agregar un pluviómetro. En el menú del proyecto selecciona *Hidrology>>Rain Gages*, se da clic sobre el signo más, y se ubica el pluviómetro. En este punto nuestra área de estudio se debe ver como en la Figura B1

Introduciendo las propiedades de los objetos

A medida que se fueron añadiendo los objetos dentro del programa, se le fueron asignando una serie de propiedades y valores por defecto. Para modificar los valores de las propiedades de los objetos debe seleccionarse el editor de propiedades, ingresando en el menú del proyecto se selecciona el objeto que se desea editar y se da clic sobre el botón .

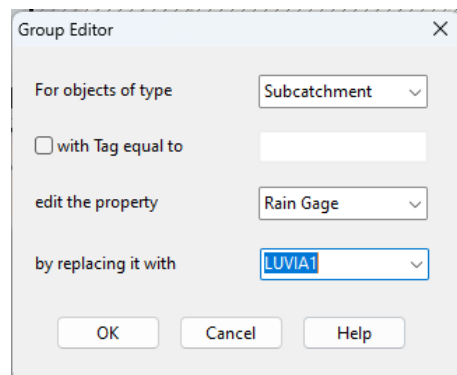
Para el caso de las Cuencas se van a editar tres valores, el pluviómetro (*Rain Gage*), la descarga (*Outlet*) y el Área

Para el caso del pluviómetro, ya que todas las cuencas usan el mismo, podemos usar un atajo para ajustar este valor en todas con un solo paso.

1. En el menú principal selecciona *Edit>>Select All*.
2. Luego selecciona *Edit>> Group Edit*.
3. En la ventana que aparece, selecciona *Subcatchment*, en el tipo de propiedad a editar selecciona *Rain Gage*, y se añade LLUVIA1 como el nuevo valor. (ver Figura B9)
4. Se da clic en OK y luego en NO seguir editando.

Figura B 9

Edición grupal de elementos



Para agregar el valor de las descargas y el área, si es necesario hacerlo uno por uno.

Para esto, se da clic en editar la Cuenca C-1 y se agrega la información correspondiente, como se muestra en la Figura B10. Esto lo repetimos para todas la Cuencas. (ver Tabla B1)

Figura B 10

Editar Cuencas

Property	Value
X-Coordinate	702213.852
Y-Coordinate	783485.770
Description	
Tag	
Rain Gage	LUVIA1
Outlet	N-10
Area	0,8492
Width	122
% Slope	.5
% Imperv	50
N-Imperv	0.01

Area of subcatchment (ha)

Para la cuenca C-5, por ser un área menos desarrollada que las otras, en el editor de propiedades la impermeabilidad será cambiada por un valor del 25%.

Tabla B 1

Propiedades de cuencas

Cuenca	Descarga	Área (ha)
C-1	N-10	0,8492
C-2	N-7	0,0937
C-3	N-9	0,0972
C-4	N-6	0,1199
C-5	N-3	0,1046
C-6	N-1	0,069

En la figura B11, se puede observar cómo se crearon unas líneas punteadas que asigna la descarga de cada Nodo.

Figura B 11

Asignación de nodos de descarga



El mismo procedimiento de edición de propiedades se sigue con los Nodos y con los Conductos, para los Nodos es necesario editar el valor de cota de fondo con los valores mostrados en la Tabla B2, y para los conductos es necesario editar las longitudes, por las que se muestran en la Tabla B3.

Tabla B 2*Propiedades de Nodos*

Nodo	Cota (m)
D-1	684,48
N-1	690,1
N-2	688,98
N-3	687,37
N-4	685,6
N-5	685,46
N-6	685,27
N-7	685,01
N-8	685,72
N-9	685,38
N-10	684,78

Tabla B 3*Propiedades de Conductos*

Conducción	Longitud (m)	Diámetro(mm)	Coef. Manning, n
L-1	52,93	200	0,01
L-2	56,31	200	0,01
L-3	33,75	200	0,01
L-4	26,32	200	0,01
L-5	42,11	200	0,01
L-6	34,2	200	0,01
L-7	45,82	200	0,01
L-8	58,57	200	0,01
L-9	52,55	200	0,01
L-10	39,42	200	0,01

Para finalizar el modelado se debe establecer una determinada lluvia de entrada, la cual se especifica en las propiedades del Pluviómetro. Se selecciona Lluvia1 del menú *Project>>Hydrology>> Rain Gages* y se da clic en editar.

Se abre una ventana donde se ingresan los valores de la Figura B12 , en la opción *Series Name* se crea la serie TS1.

Figura B 12*Creación de Series de Tiempo*

Property	Value
Y-Coordinate	783414.312
Description	
Tag	
Rain Format	INTENSITY
Time Interval	1:00
Snow Catch Factor	1.0
Data Source	TIMESERIES
TIME SERIES:	
- Series Name	TS1
DATA FILE:	
- File Name	

Name of rainfall time series
(double-click to edit time series)

Como se indicó al inicio se modelará una tormenta de 6 horas y lluvia de 76,2 mm, para esto se creó la serie temporal ST1.

Para incluir los valores de esta serie se selecciona en el menú del *Project>> Time Series* y se ingresan los valores mostrados en la Figura B13.

Una vez terminado el modelo, es buena idea guardar el proyecto, para esto desde la opción Archivo pulsa la opción *Save as*, le da el nombre deseado y presiona *Save*. La extensión del archivo sera .inp

Figura B 13*Editor de Series de Tiempo*

Time Series Editor

Time Series Name
TS1

Description

Use external data file named below

Enter time series data in the table below

No dates means times are relative to start of simulation.

Date (M/D/Y)	Time (H:M)	Value
	0	0
	1	12.5
	2	25.4
	3	19.05
	4	12.7
	5	6.35
	6	0

View

OK

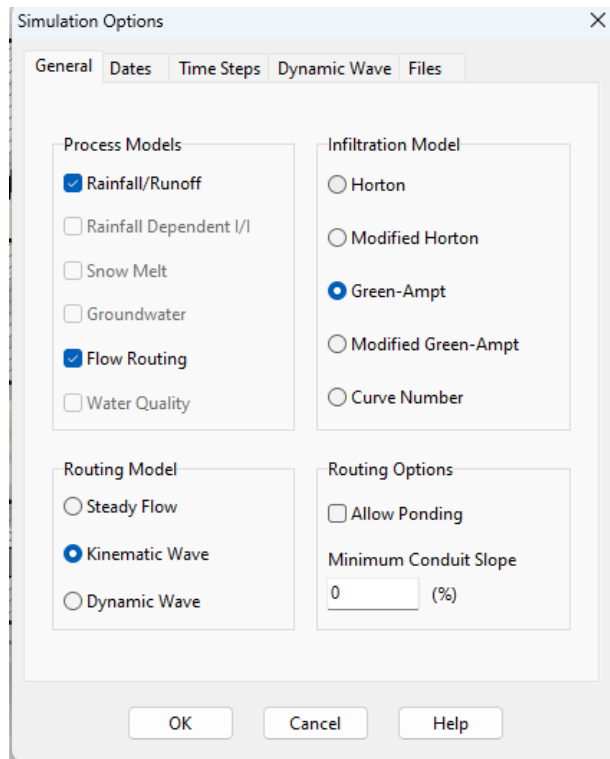
Cancel


Help

Corriendo la simulación

Antes de iniciar la simulación es necesaria especificar algunas opciones que determinan como se llevara a cabo el análisis:

1. En el menú del proyecto seleccione *Opciones* y de clic en el botón de editar.
2. Aparecerá la ventana general de simulación, la cual debe marcarse como se muestra en la Figura B 14.
3. En la pestaña *Dates* se fija la finalización del análisis (*End Analysis on*) en 12:00.
4. En la pestaña *Time Steps*, fijamos *Routing Time Step* en 60 segundos y presionamos OK.

Figura B 14*Opciones de simulación*

Ahora estamos listos para iniciar la simulación. Para hacerlo, vamos a *Project>>Run Simulation*, o damos clic en el botón . Si hay algún problema aparecerá una ventana describiendo los errores. Una vez completada exitosamente la simulación se podrán ver los resultados de esta.

Revisión del Reporte de Estado


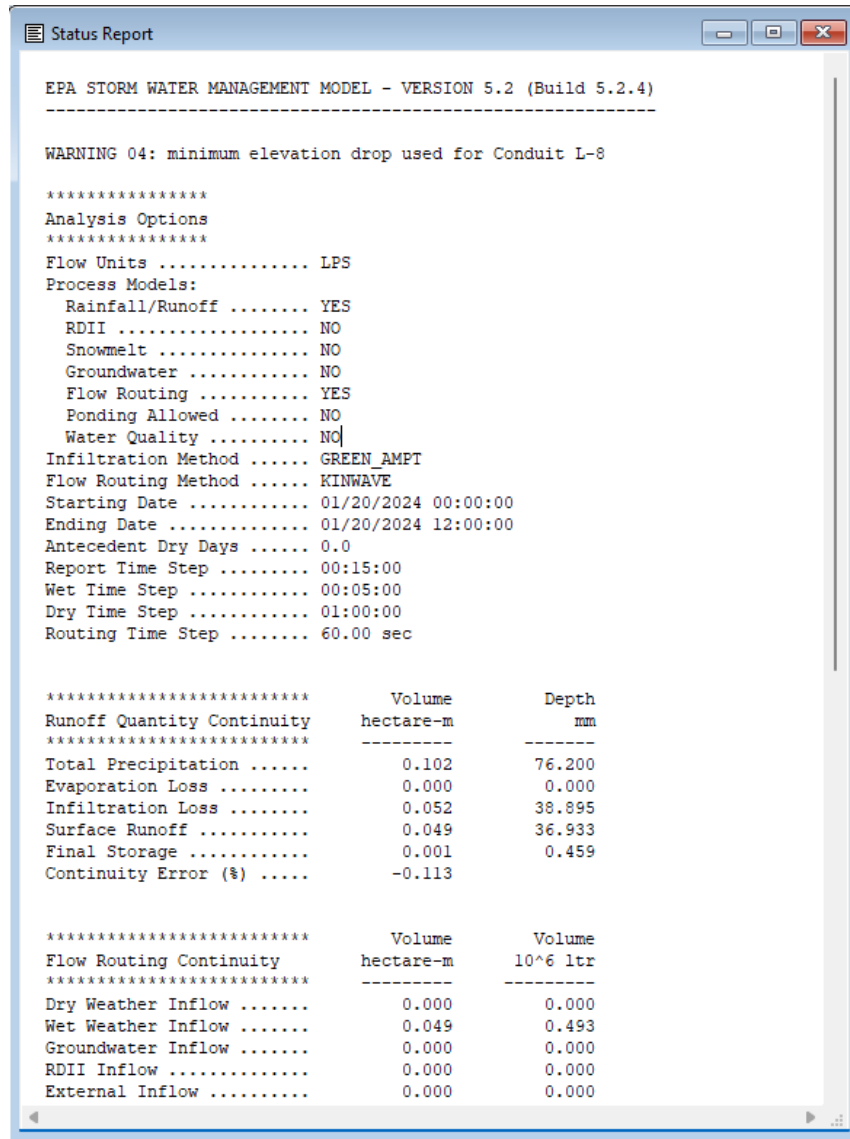
El Reporte de Estado (*Status Report*) contiene información útil a cerca de la calidad de la simulación. Incluyendo un balance de precipitaciones, infiltración, evaporación, escorrentía y flujo de salida y entrapa del sistema. Para visualizarlo se da clic en *Report>> Status*, o simplemente se da clic en el botón , de la barra de herramientas.

Figura B 15

Reporte de Estado



Para el sistema analizado el reporte indica que la calidad de la simulación es buena, con errores de continuidad insignificantes tanto para la escorrentía y el encaminamiento (*runoff* y

routing) de 0.11 % y 0.05 % respectivamente. También de 76.2 mm de lluvia que cayó en el área de estudio, 38,895 se infiltraron en el suelo y el resto se convirtió en escorrentía.

Además, advierte que el conducto L-8 tiene un desnivel mínimo.

Visualizando el informe resumido

El reporte resumido (*Summary Report*), contiene un resumen de los resultados para cada elemento de nuestro sistema de drenaje. Para visualizarlo se selecciona *Report>> Summary Report* del menú principal. En esta ventana es posible seleccionar la variable que se quiere revisar en particular.

Por ejemplo, seleccionando *Node Flooding* se puede ver que los Nodos N-8 y N-9 se inundan y que tiene un caudal máximo de 7.45 lps y 2.77 lps respectivamente. Además, los conductos L-8 y L-10 superan su capacidad por lo que están sub dimensionados. (ver Figura B16)

Figura B 16

Resumen de Resultados

Summary Results

Topic: **Node Flooding** Click a column header to sort the column.

Node	Hours Flooded	Maximum Rate LPS	Day of Maximum Flooding	Hour of Maximum Flooding	Total Flood Volume 10 ⁶ ltr	Maximum Poned Volume 1000 m ³
N-8	0.98	7.45	0	03:01	0.021	0.000
N-9	3.95	2.77	0	03:01	0.020	0.000

Summary Results

Topic: **Conduit Surcharge** Click a column header to sort the column.

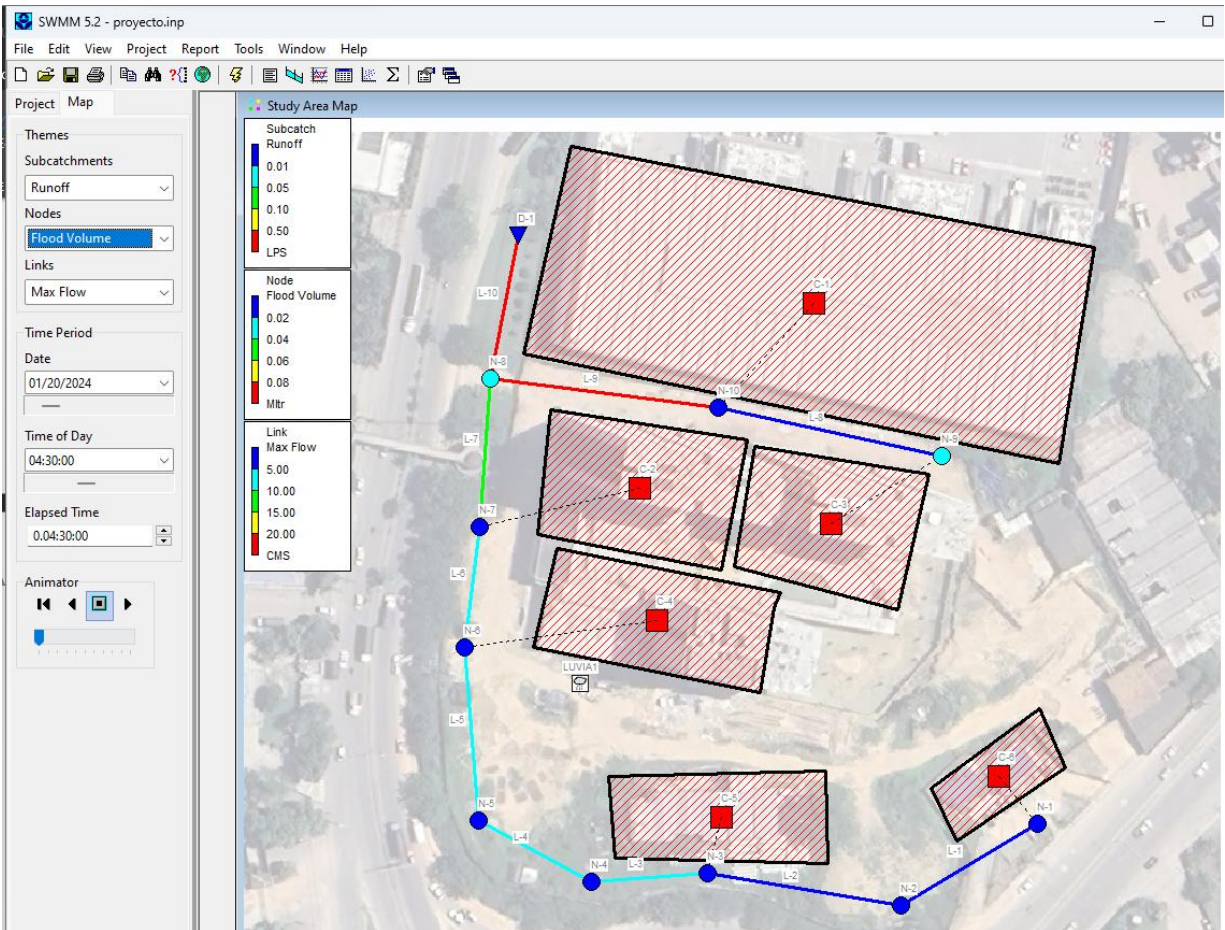
Conduit	Hours Both Ends Full	Hours Upstream Full	Hours Downstream Full	Hours Above Normal Flow	Hours Capacity Limited
L-8	3.95	3.95	3.95	4.02	3.95
L-10	0.98	0.98	0.98	0.07	0.98

Visualización de los resultados en el Mapa

Los resultados de la simulación tales como el área de las cuencas, la elevación de los nodos, la profundidad máxima de los conductos, entre otras cosas; se pueden visualizar por medio de códigos de colores en e mapa del área de estudio. (ver Figura B17)

Figura B 17

Visualización del mapa



Para modificar una variable en particular:

Seleccione *Map* del panel izquierdo.


5. Seleccione; para *Subcatchments*, *Nodes* y *Link* que aparecen en el panel, las variables que desea visualizar.

Para este caso se está visualizando la escorrentía en las cuencas, el volumen de inundación en los nodos y el caudal máximo para los conductos.


Nota: Para visualizar los resultados de la simulación en el tiempo use el control *Animator*, este permite animar la visualización del mapa por un tiempo de 12 horas.

Visualizar el gráfico de series temporales

Para generar una serie temporal de los resultados de la simulación seleccione *Report>>*

Graph>>Time Series, o simplemente de clic sobre  en la barra de herramientas.

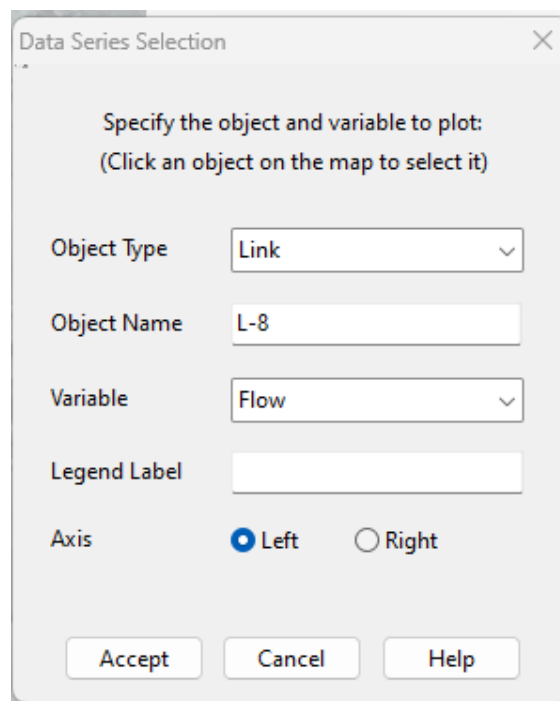
Para este ejercicio, se mostrará el grafico de caudal para los conductos L-8 y L-9.

Seleccione el botón  y aparecerá la ventana de la Figura B18, llénelo como se muestra y de clic en *Accept*. Haga el mismo procedimiento para el conducto L-9.

El resultado se puede ver en la Figura B19.

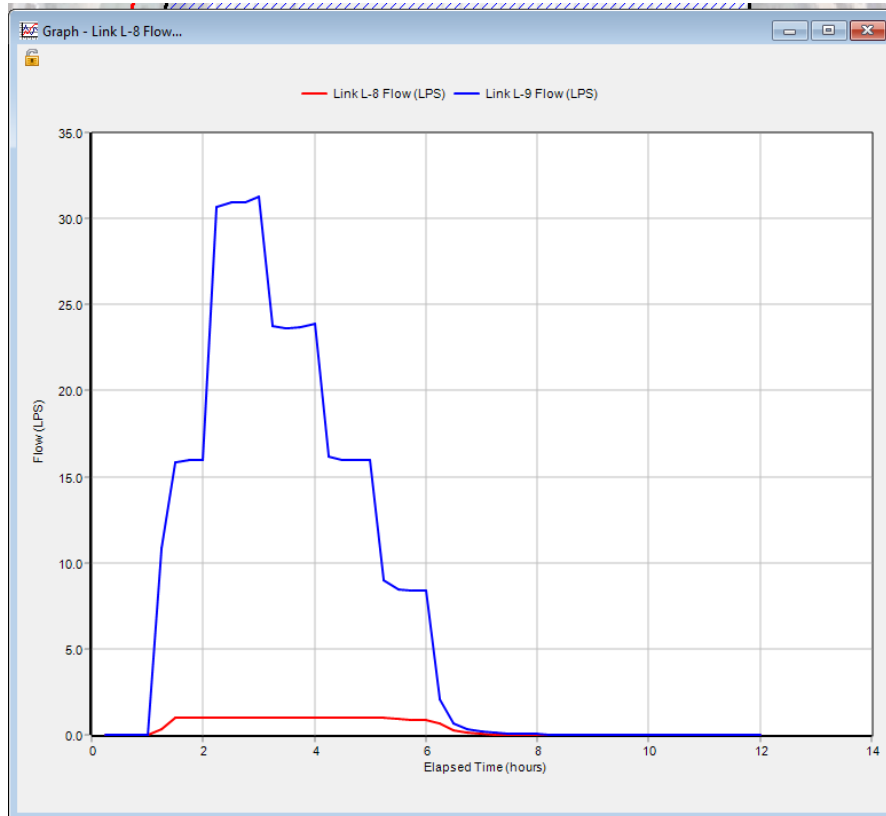
Figura B 18

Graficar series temporales




The image shows a dialog box titled "Data Series Selection" with a close button (X) in the top right corner. The dialog contains the following fields and options:

- Instruction: "Specify the object and variable to plot: (Click an object on the map to select it)"
- Object Type: A dropdown menu with "Link" selected.
- Object Name: A text input field containing "L-8".
- Variable: A dropdown menu with "Flow" selected.
- Legend Label: An empty text input field.
- Axis: Two radio buttons, "Left" (selected) and "Right".
- Buttons: "Accept", "Cancel", and "Help" at the bottom.

Figura B 19*Visualización de series de tiempo*

Visualización del perfil

SWMM puede generar perfiles mostrando la profundidad de la superficie del agua a lo largo de una ruta de nodos y conductos. Para este ejercicio crearemos el perfil de los nodos N-9, N-10 y N-8, que conectan los conductos L-8 y L-9. (ver Figura B20)

Para hacerlo se da clic en el botón  , se selecciona el nodo inicial N-9 y el nodo final N-8, se da clic en *Find Path* y luego en OK.


Para visualizar la animación de debe dar clic en  en la opción *Animator*; y podemos notar que medida que el tiempo pasa se inundan los nodos N-9 y N-8 ¿(Ver Figura B21).

Figura B 20

Selección del perfil

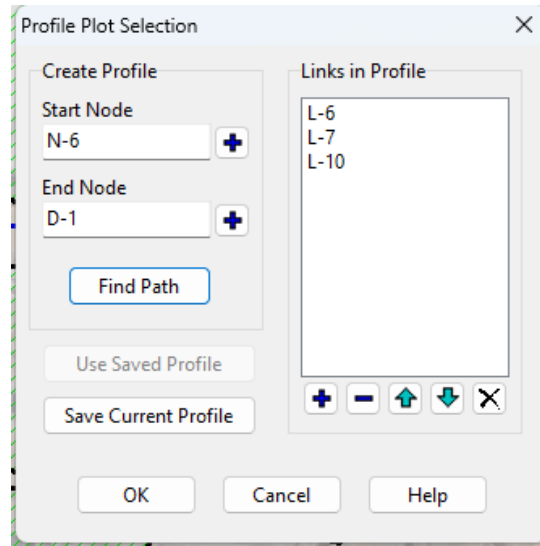
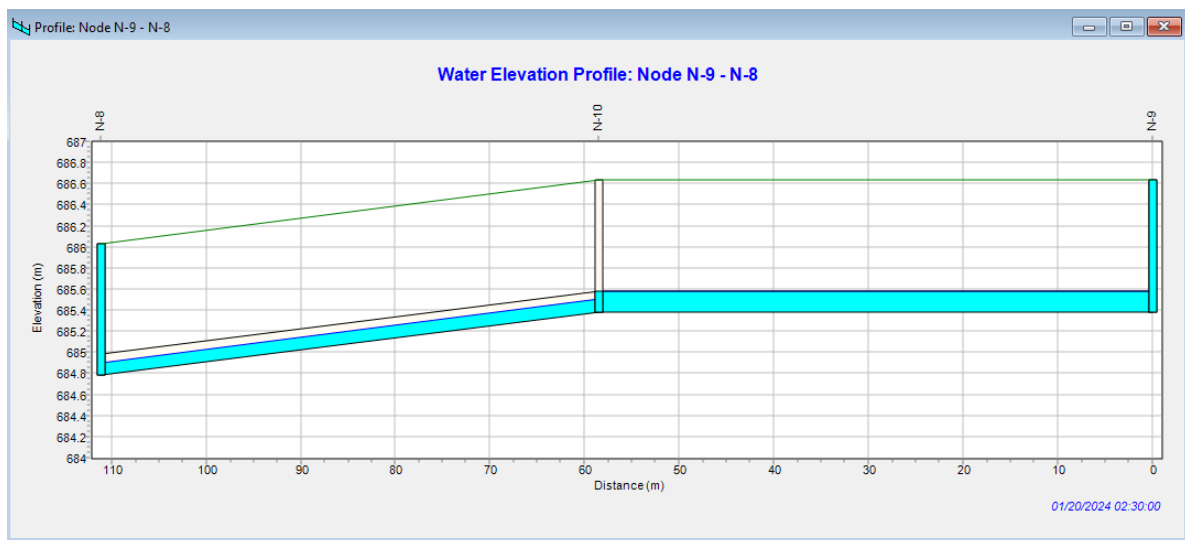


Figura B 21

Visualización del perfil



Solucionando los errores y advertencias

Como se pudo ver en el reporte de resultados, existe inundación en los nodos N-8 y N-9 y una sobrecarga de capacidad en los conductos L-8 y L-10. Además, el programa nos advierte que el conducto L-8 está usando el mínimo desnivel.

Para darle solución a estos errores y advertencias se debe:

1. Ajustar las profundidades de los nodos para que las pendientes de los conductos estén entre 1% y 5%. Para obtener los datos de la pendiente del sistema en las opciones de visualización del mapa, en la opción *Links* seleccione *Slope*.
2. Ajustar los diámetros de los conductos para que la altura máxima de la profundidad del agua en el sistema no supere el 75% del diámetro del conducto. Si requiere la información de la profundidad del agua en una tabla ingrese a *Report>>Table>By object*, seleccione el conducto de interés y marque la variable *Deep*.
3. Verificar que la velocidad del flujo en los conductos esté entre 0,5 m/s y el 5 m/s.
4. Al finalizar, correr nuevamente la simulación y verificar que no existe inundación en los nodos, ni hay sobredimensionamiento.