

**DISEÑO DE INSTRUCTIVOS DE LABORATORIO PARA EL CURSO DE
HIDROLOGÍA DEL PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL DE LA UCM**

ERIKA VANESSA MOLANO LOZANO

HILDUARA DÍAZ DEOSSA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
MANIZALES**

2018

**DISEÑO DE INSTRUCTIVOS DE LABORATORIO PARA EL CURSO DE
HIDROLOGÍA DEL PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL DE LA UCM.**

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL

ERIKA VANESSA MOLANO LOZANO

HILDUARA DÍAZ DEOSSA

TUTORES

ÁNGELA MARÍA ALZATE ÁLVAREZ

WILMAR OSORIO VIANA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
MANIZALES**

2018

TABLA DE CONTENIDO

Abstract	8
Capítulo I	9
Motivación Y Enfoque Del Estudio	9
1.1 Motivación	9
1.2 Planteamiento Del Problema	9
1.3 Justificación	10
1.4 Objetivos	10
1.5 Metodología	11
Capítulo II	14
2.1 Marco Teórico	14
2.1.1 Antecedentes.....	14
2.1.2 Conceptos Básicos.....	17
Capítulo III	21
Dos Ejemplos De La Enseñanza Teórico-Práctica De La Hidrología A Nivel De Pregrado En Colombia	21
Capítulo IV	30
Formulación Y Evaluación Experimental Preliminar De Cuatro Prácticas Para El Curso De Hidrología De La UCM	30
4.1. Experimento 1: Análisis Granulométrico De Un Suelo Por Tamizado. ..	31
4.1.1. Protocolo Experimental.	31
4.1.2. Resultados.....	32
4.1.3. Análisis	35
4.2. Experimento 2: Permeabilidad De Una Muestra De Suelo	36
4.2.1. Protocolo experimental.....	37
4.2.2. Resultados.....	38

4.2.3. Análisis	39
4.3. Experimento 3: Infiltración De Agua En Un Suelo.....	40
4.3.1. Protocolo Experimental	40
4.3.2. Resultados.....	42
4.3.3. Análisis	48
4.4. Experimento 4: Transporte De Sedimentos Sólidos En Un Modelo A Escala Del Lecho De Un Río.	51
4.4.1. Protocolo Experimental	52
4.4.2. Resultados.....	54
4.4.3. Análisis	62
Capítulo V.....	64
Estudio Económico Básico De Costos De Implementación De La Propuesta Del Componente Experimental Del Curso	64
Resultados del Desarrollo de los Instructivos Propuestos con los Estudiantes	66
Conclusiones	69
Referencias	74
Anexos.....	75
Anexo 1.....	75
Descripción Detallada De Equipos De Planta Piloto Para La Experimentación En Hidrología	75
Anexo 2.....	103
Instructivos De Laboratorio Para El Curso De Hidrología Del Programa De Ingeniería Ambiental De La Universidad Católica de Manizales.	103

LISTA DE IMÁGENES

Ilustración 1. Laboratorio de hidrología isotópica ambiental..	16
Ilustración 2. Laboratorio de hidrología isotópica ambiental.	16
Ilustración 3. Ciclo Hidrológico.....	17
Ilustración 4. Laboratorio de Mecánica de fluidos e hidráulica. UCM.....	23
Ilustración 5. Laboratorio de Mecánica de fluidos e hidráulica. UCM.....	23
Ilustración 6. Laboratorio de Mecánica de fluidos e hidráulica. UCM.....	24
Ilustración 7. Laboratorio Manejo de Recursos Naturales y de Ambiente. Universidad del Valle	25
Ilustración 8. Simulador de cuenca del Laboratorio de Hidráulica- UNAL- Manizales.....	27
Ilustración 9. Vertedero Hidráulico, Laboratorio de Hidráulica UNAL Manizales.....	27
Ilustración 10. Canal de rápidas con tapa del modelo de Gestión del Riesgo a pequeña escala UNAL Manizales.	28
Ilustración 11. Canal de pendiente variable- UNAL Manizales.	29
Ilustración 12. Tamizadora.....	31
Ilustración 13. Curva granulométrica muestra tierra N°1	33
Ilustración 14. Curva granulométrica muestra N°2.....	34
Ilustración 15. Permeámetro.	36
Ilustración 16. Montaje de la prueba de infiltración.	40
Ilustración 17. Muestra N°2.	42
Ilustración 18. Capacidad de infiltración muestra N°2- Tamices 30, 40 y 50.	43
Ilustración 19. Capacidad de infiltración de la muestra N°2- Tamices 200 y residual.	45
Ilustración 20. Prueba de infiltración.	45
Ilustración 21. Capacidad de infiltración de la muestra N°1- Tamices 30, 40 y 50.....	46
Ilustración 22. Capacidad de infiltración tamices 200 y residual.	48
Ilustración 23. Altura vs Tiempo de la infiltración de la muestra N°1 y N°2.....	49
Ilustración 24. Simulación de un lecho de un río.....	51
Ilustración 25. Simulador de cuenca. Fuente. (Giraldo & López, 2018).	52
Ilustración 26. Simulador de cuenca.	53
Ilustración 27. Simulación de la cuenca.....	61
Ilustración 28. Masa del suelo sedimentado.....	62
Ilustración 29. Ensayo de los instructivos con estudiantes del curso de Hidrología y Climatología.	67
Ilustración 30. Ensayo de los instructivos con estudiantes del curso de Hidrología y Climatología.	67
Ilustración 31. Ensayo de los instructivos con estudiantes del curso de Hidrología y Climatología.	68
Ilustración 32. Simulador De Flujo De Ripos Armfield.	75
Ilustración 33. Tipos de análisis de perfiles	78
Ilustración 34. Unidad P/Estudiar El Flujo De Aguas Freáticas Armfield – s11	79
Ilustración 35. P/Generar Hidrogramas De Precipitaciones Armfield S10A.....	83
Ilustración 36. Canal de Flujo Abierto Para Estudios De Transporte De Sedimentos Armfield – S8-MKII-A.....	86
Ilustración 37. Simulador de Flujo.....	87
Ilustración 38. Sistema Para Estudios Hidrológicos Avanzados Conectada a PC Armfield-S12-MKII-50-A	95

Ilustración 39. Detalle de la Instrumentación del equipo.....	96
Ilustración 40. Tanque de Arena.	98
Ilustración 41. Aparato P/Estudios De Drenaje y Filtración Armfield-S1-A.	100

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.....	22
Tabla 2.....	24
Tabla 3.....	26
Tabla 4.....	33
Tabla 5.....	34
Tabla 6.....	38
Tabla 7.....	38
Tabla 8.....	38
Tabla 9.....	42
Tabla 10.....	43
Tabla 11.....	43
Tabla 12.....	44
Tabla 13.....	46
Tabla 14.....	46
Tabla 15.....	47
Tabla 16.....	47
Tabla 17.....	54
Tabla 18.....	54
Tabla 19.....	55
Tabla 20.....	56
Tabla 21.....	56
Tabla 22.....	57
Tabla 23.....	57
Tabla 24.....	58
Tabla 25.....	58
Tabla 26.....	59
Tabla 27.....	59
Tabla 28.....	59
Tabla 29.....	60
Tabla 30.....	60
Tabla 31.....	60
Tabla 32.....	61
Tabla 33.....	65
Tabla 34.....	65
Tabla 35.....	72

Resumen

Este proyecto consiste en darle un enfoque teórico práctico a la asignatura de hidrología y climatología, ya que los temas que esta presenta necesitan mayor profundización en la parte experimental.

El objetivo principal del proyecto fue explorar el comportamiento de algunos fenómenos que se presentan en el ciclo hidrológico. Inicialmente, se realizaron unas visitas a diferentes universidades para identificar las prácticas factibles para la UCM, seguido a esto, se formuló y evaluó el componente experimental a través de cuatro pruebas, las cuales fueron: análisis por tamizado, infiltración, cálculo de permeabilidad y arrastre de sedimentos, dejando como resultado las instructivos de las prácticas de laboratorio que incluyen pre saberes, definiciones, metodología (materiales y paso a paso), resultados, preguntas de discusión y referencias o bibliografía; y un estudio económico de equipos sofisticados, con el fin de que el estudiante verifique y aplique a pequeña escala dichos saberes, donde al mismo tiempo se fortalece el perfil profesional del ingeniero ambiental de la UCM.

Palabras claves

Ciclo hidrológico, tamizado, infiltración, permeabilidad, humedad, arrastre de sedimentos.

Abstract

This project consists in giving a practical theoretical approach to the subject of hydrology and climatology, since the topics that it presents need further investigation in the experimental part.

The main objective of the project was to explore the behavior of some phenomena that occur in the hydrological cycle. Initially, visits were made to different universities to identify feasible practices for the UCM, followed by this, the experimental component was formulated and evaluated through five tests, which were: analysis by sieving, infiltration, calculation of permeability and humidity and dragging of sediments, leaving as a result the guides of the laboratory practices that include pre-knowledge, definitions, methodology (materials and step-by-step), results, discussion questions and references or bibliography; and an economic study of sophisticated equipment, in order for the student to verify and apply such knowledge on a small scale, while at the same time strengthening the professional profile of the environmental engineer at the UCM.

Keywords

Hydrological cycle, sieving, infiltration, permeability, humidity, sediment drag.

Capítulo I

Motivación y Enfoque del Estudio

1.1 Motivación

El presente trabajo de grado surgió a partir de los temas tratados en el semillero de investigación “*Gestión Integral del Patrimonio Hídrico*”, el cual es un complemento de la asignatura de hidrología y climatología del programa de ingeniería ambiental de la Universidad Católica de Manizales. Dicha asignatura posee un contenido netamente teórico; por esta razón, se ha visto la necesidad de formular e implementar el laboratorio de hidrología, lo cual permitirá desarrollar diferentes prácticas que contribuyan a la aplicación e interpretación de los conceptos teóricos vistos en la asignatura. Adicionalmente, el laboratorio fortalecerá el perfil del ingeniero ambiental para la vida laboral y ayudará a la institución en el proceso de re acreditación del programa.

1.2 Planteamiento del Problema

Teniendo en cuenta el contenido del curso de hidrología y climatología de la Universidad Católica de Manizales, se observa que no hay una forma práctica de aplicar los conocimientos teóricos, ya que no se cuenta con un laboratorio para desarrollar los ensayos correspondientes de la materia, dando al mismo tiempo el primer paso en el proceso de montajes de laboratorio de la asignatura para el programa.

Por lo anterior, se identifica la necesidad de generar la metodología y el plan de proyecto para la formulación e implementación de un laboratorio de hidrología en la institución.

1.3 Justificación

El proyecto permitirá que los estudiantes del programa de ingeniería ambiental de la universidad Católica de Manizales profundicen los conocimientos adquiridos teóricamente por medio de prácticas, donde el alumno pueda verificar y aplicar a pequeña escala dichos saberes para entender mejor y de manera más clara el contenido de la asignatura de hidrología, por tal razón es importante la continua búsqueda de equipos, técnicas y métodos que permitan fortalecer el perfil del ingeniero ambiental.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar instructivos de laboratorio para el curso de hidrología ofertado en el programa de ingeniería ambiental de la UCM, teniendo en cuenta los aspectos técnicos y didácticos de cada práctica experimental propuesta, considerando los recursos físicos y económicos con los que cuenta la institución.

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Diagnosticar el estado de la enseñanza teórico-práctica de la hidrología a nivel de pregrado profesional, tanto en un contexto nacional como internacional.
2. Formular y evaluar experimentalmente y a nivel preliminar, al menos tres de las prácticas propuestas en el componente experimental para el curso, incluyendo: instructivo de procedimiento, elementos teóricos relacionados, y una muestra del procesamiento de los datos.
3. Realizar un estudio económico básico de los posibles costos de implementar la propuesta del componente experimental del curso, incluyendo: costo de adquisición o fabricación equipos, materiales, suministros, personal, mantenimiento y funcionamiento.

1.5 Metodología

Fases:

- **Diagnóstico del Estado de la Enseñanza Teórico-práctica de la Hidrología a Nivel de Pregrado Profesional, tanto en un Contexto Nacional como Internacional.**

Se realizó una revisión y análisis detallado de la literatura de la cual se obtuvo información para conocer el manejo y desarrollo de otros laboratorios que sirvan como instructivo, donde al mismo tiempo se identificaron las prácticas factibles para la UCM.

Se elaboró un cuadro comparativo, en el cual se especificó el tipo de asignatura, la intensidad horaria y el contenido de la asignatura de hidrología de al menos dos universidades a nivel nacional (Universidad Nacional sede Manizales y Universidad del Valle), teniéndose en cuenta al mismo tiempo la asignatura en la UCM.

Estos establecimientos educativos se eligieron porque inicialmente, son instituciones que cuentan con laboratorios, donde se desarrollan al menos dos experimentos relacionados a la hidrología.

Se llevaron a cabo unas visitas a las universidades nombradas anteriormente, con el fin de identificar prácticas de laboratorios de hidrología que sean factibles en la UCM.

- **Formulación y Evaluación Experimental y a Nivel Preliminar de al menos Tres de las Prácticas Propuestas en el Componente Experimental para el Curso.**

A partir de la información recolectada, se eligieron cuatro experimentos acordes a los recursos con que dispone la institución, para los cuales, se realizó un estudio detallado de la teoría y técnica del experimento y los montajes de los mismos.

Una vez hechos los montajes, se desarrollaron los experimentos mínimos tres veces, donde se compararon, verificaron, analizaron y confrontaron los datos experimentales obtenidos con lo consultado.

A partir de los ensayos elaboraron los instructivos con la siguiente información:

- Pre saberes

- Definiciones
- Metodología:

Materiales

El paso a paso del experimento

- Resultados
- Preguntas de discusión
- Referencias o bibliografía.

Se efectuaron cuatro prácticas de las propuestas para el laboratorio de hidrología, con los estudiantes de VI semestre, quienes cursaban dicha asignatura en el segundo periodo del año 2017.

- **Estudio Económico Básico de los Posibles Costos de Implementar la Propuesta del Componente Experimental del Curso.**

Se elaboró un estudio económico básico de algunos equipos que se implementaron en las prácticas propuestas y de equipos que se pueden implementar a futuro en el laboratorio de hidrología, en el cual figura: nombre, descripción del equipo, imagen y costo.

Por último, se plantearon algunos temas complementarios con sus respectivas pruebas y recomendaciones.

Capítulo II

Enseñanza de la Hidrología: El Aprendizaje a partir de la Experimentación

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Antecedentes

Al pasar de los años, la humanidad ha aumentado el consumo de agua una tercera parte en lo que se lleva del siglo, y se calcula que 2000 millones de personas no cuentan con un servicio de agua potable. El crecimiento poblacional en la tierra arriesga a que este recurso como es el agua dulce comience a ser escaso, por lo cual se deben implementar controles, aumentar las zonas de abastecimiento por medio de reforestación, y tener un buen control en la distribución que se realiza a este recurso natural. Gonfiantini y Stichler (1991)

Entre las medidas que se han empezado a implementar para preservar este recurso, sobre todo en los países en desarrollo, está la creación de laboratorios de hidrología en donde personal capacitado investiga y explora las aguas cuidadosamente, apoyando así analíticamente los estudios de campo con la ayuda de técnicas ambientales.

Gracias al apoyo de los programas científicos y técnicos del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), ha sido posible crear más de 60 laboratorios de hidrología alrededor del mundo en países en vía de desarrollo. Gonfiantini y Stichler (1991) en su artículo “Laboratorios de hidrología isotópica ambiental en los países en desarrollo”, explican que estos

laboratorios tienen como objetivo brindar apoyo analítico adecuado para la aplicación de técnicas isotópicas a los problemas hidrológicos de importancia práctica. Algunos de los laboratorios pertenecen a instituciones nacionales que participan directamente en la evaluación y gestión de los recursos hídricos siendo las más apropiadas para aplicar técnicas isotópicas¹ a los problemas hidrológicos.

Existen centros de investigación que se componen de laboratorios de alto nivel científico y técnico, que carecen de conocimientos especializados en hidrología, los cuales los obliga a trabajar estrechamente de la mano con instituciones que manejan datos de los recursos hídricos, siendo determinante el interés que muestre el personal de ambas instituciones para apoyarse y suministrarse información.

Las universidades también son centros de investigación importantes que promueven la participación los estudiantes a realizar estudios hidrológicos y ambientales permitiendo que desarrollen los conocimientos básicos de las técnicas utilizadas para así llevarlas al ámbito profesional. Sin embargo, se cuenta con la desventaja que este tipo de instituciones en ocasiones no cuentan con los recursos suficientes para desarrollar completamente este tipo de investigaciones, no obstante, se pueden encontrar puntos de equilibrio, para que los nuevos investigadores adquieran estos conocimientos básicos.

¹ Las técnicas que emplean isótopos (generalmente los radiactivos) permiten la detección de moléculas en cantidades muy inferiores a las que se pueden detectar mediante métodos químicos de análisis. (Biomodel, s.f.)

Según Gonfiantini y Stichler (1991) , “*la infraestructura necesaria para estos laboratorios es bastante sencilla: sólo hay que disponer de espacio suficiente (unos 300 metros cuadrados como mínimo para un laboratorio totalmente equipado con un espectro de masa para isótopos estables, uno o dos contadores de centelleo líquido para tritio y carbono 14, y sistemas de preparación); agua corriente; energía eléctrica fiable; acondicionamiento de aire (indispensable en los climas húmedos y cálidos); hielo seco y nitrógeno líquido; un taller de electrónica; y, a ser posible, un taller de mecánica*” (Pág. 11).

Para establecer los laboratorios de hidrología isotópica ambiental, no se cuenta con reglas generales, más bien, cada uno tiene su particularidad, donde su evaluación puede depender de la ubicación, personal y funcionamiento de un laboratorio propuesto. Los centros de investigación para la hidrología y en menor medida las universidades, suelen tener infraestructura donde se puede desarrollar este tipo de investigación.

Actualmente, en instituciones de educación superior en países como España, Perú, México, Argentina, Colombia, entre otros, han optado por implementar dichos laboratorios para el fortalecimiento de perfiles profesionales relacionados con las ciencias ambientales.

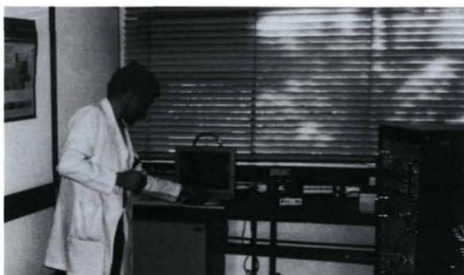


Ilustración 1. Laboratorio de hidrología isotópica ambiental. Fuente. Artículo (Gonfiantini R. &, 1991).

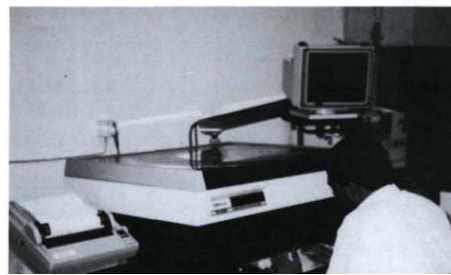


Ilustración 2. Laboratorio de hidrología isotópica ambiental. Fuente. (Gonfiantini & Stichler, 1991)

2.1.2 Conceptos Básicos

Ciclo Hidrológico

“Describe el movimiento continuo y cíclico del agua en el planeta Tierra. El agua puede cambiar su estado entre líquido, vapor y hielo en varias etapas del ciclo, y los procesos pueden ocurrir en cuestión de segundos o en millones de años. Aunque el equilibrio del agua en la Tierra permanece relativamente constante con el tiempo, las moléculas de agua individuales pueden circular muy rápido. El sol dirige el ciclo calentando el agua de los océanos. Parte de esta agua se evapora en vapor de agua. El hielo y la nieve pueden sublimar directamente en vapor de agua”.

(Perez, s.f.)



Ilustración 3. Ciclo Hidrológico. Fuente. (Wikimedia Commons, s.f.)

- **Infiltración:** La infiltración es el proceso por el cual el agua en la superficie de la tierra entra en el suelo. La tasa de infiltración, en la ciencia del suelo, es una medida de la tasa a la cual el suelo es capaz de absorber la precipitación o la irrigación. (Perez, s.f.)

- **Evaporación:** La evaporación es el proceso por el cual las moléculas en estado líquido (por ejemplo, el agua) se hacen gaseosas espontáneamente (ej.: vapor de agua). Es lo opuesto a la condensación. Generalmente, la evaporación puede verse por la desaparición gradual del líquido cuando se expone a un volumen significativo de gas. (Perez, s.f.)

- **Evapotranspiración:** La evapotranspiración se produce a través de la evaporación del agua presente en la superficie terrestre, junto con la que está en mares, ríos y lagos y la que procede también de la tierra, incluyendo la transpiración de los seres vivos, en especial de las plantas. (Climantica, s.f.).

- **Escorrentía:** La escorrentía superficial describe el flujo del agua, lluvia, nieve, u otras fuentes, sobre la tierra, y es un componente principal del ciclo del agua. A la escorrentía que ocurre en la superficie antes de alcanzar un canal se le llama fuente no puntual. Si una fuente no puntual contiene contaminantes artificiales, se le llama contaminación de fuente no puntual. Al área de tierra que produce el drenaje de la escorrentía a un punto común se la conoce como línea divisoria de aguas. Cuando la escorrentía fluye a lo largo de la tierra, puede recoger contaminantes del suelo, como petróleo, pesticidas (en especial herbicidas e insecticidas), o fertilizantes. (Perez, s.f.)

- **Condensación:** es el proceso por el cual el agua cambia de fase, de vapor o gas a estado líquido. (Tierra, 2012)

- **Precipitación:** es cualquier producto de la condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie de la Tierra. Ocurre cuando la atmósfera (que es una gran solución gaseosa) se satura con el vapor de agua, y el agua se condensa y cae de la solución (es decir, precipita). (Perez, s.f.)

- **Aguas subterráneas:** Es aquella parte del agua existente bajo la superficie terrestre que puede ser colectada mediante perforaciones, túneles o galerías de drenaje o la que fluye naturalmente hacia la superficie a través de manantiales o filtraciones a los cursos fluviales. Gálvez (2011)

- **Transpiración (de seres vivos):** La transpiración es el proceso mediante el cual las plantas regresan agua a la atmósfera. Después de absorber agua del suelo, las plantas liberan agua a través de sus hojas. La transpiración ayuda a la plantas a mantenerse frescas, de la misma forma que la respiración mantiene frescos a los seres humanos y animales. Tierra (2012)

2.1.3 Marco Normativo

Para el desarrollo del presente trabajo y de acuerdo al tema tratado se tuvo en cuenta que la normativa ambiental es muy extensa, por consiguiente, se consideró la normatividad relacionada al patrimonio hídrico, la cual se muestra a continuación:

- Decreto-Ley 2811 de 1974 Código de los Recursos Naturales, desde el Saneamiento básico y la salud pública a partir de la Ley 9 de 1979.

- Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico-PNGIRH del año 2010

- Decretos ordinarios compilados en el Decreto Único Reglamentario Compilatorio 1076 de 2015.
- Resolución 0631 de 2015, por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.
- Norma Técnica Colombiana (NTC) 17025, Requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración.
- Cabe resaltar que la entidad encargada de certificar a los laboratorios en Colombia es el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales).

Capítulo III

Dos Ejemplos de la Enseñanza Teórico-práctica de la Hidrología a Nivel de Pregrado en Colombia.

Durante el desarrollo del proyecto se tuvieron en cuenta los actuales laboratorios de la UCM (laboratorio de Mecánica de Fluidos e Hidráulica, laboratorio de Manufactura y el laboratorio de Calidad de Aguas), en los cuales se llevaron a cabo los experimentos propuestos para el desarrollo de los instructivos. Sumado a esto, se realizó una visita al laboratorio de hidráulica de la Universidad Nacional sede Palogrande- Manizales y al laboratorio de Manejo de Recursos Naturales y de Medio Ambiente de la Universidad del Valle, descritos en los siguientes cuadros.

Estos establecimientos educativos se eligieron porque inicialmente son instituciones que cuentan con laboratorios, donde se desarrollan al menos dos experimentos relacionados a la hidrología.

El objetivo principal las visitas fue observar e identificar factores como: el programa, la asignatura, el espacio, los equipos, intensidad horaria, metodología, entre otros, los cuales suministraron información relevante para la formulación de la propuesta del laboratorio.

Tabla 1.

Laboratorio de Mecánica de fluidos e Hidráulica de la UCM.

Universidad	Universidad Católica de Manizales
Programa	Ingeniería ambiental
Asignatura	Hidrología y climatología
Intensidad Horaria	3 horas semanales 3 horas presenciales 6 horas de trabajo independiente
Año de inicio asignatura	2004
Nombre del laboratorio	Mecánica de Fluidos e Hidráulica
Año de creación del laboratorio	2010
Instructivos de laboratorio de hidrología	No hay prácticas de hidrología
Descripción del laboratorio	Este laboratorio cuenta con un área aproximada de 61m ² . Dispone de una caneca metálica la cual suministra el agua a una canaleta aproximadamente de 4 m donde se desarrollan pruebas de las diferentes asignaturas aplicadas como Hidráulica, Mecánica de Fluidos y PTAR.



Ilustración 4. Laboratorio de Mecánica de fluidos e hidráulica. UCM.



Ilustración 5. Laboratorio de Mecánica de fluidos e hidráulica. UCM.



Ilustración 6. Laboratorio de Mecánica de fluidos e hidráulica. UCM.

El laboratorio de la Universidad Católica de Manizales, es un lugar de espacio reducido, donde sólo se llevan a cabo prácticas de hidráulica y de mecánica de fluidos, sin embargo, no es el único laboratorio con el que cuenta la universidad para tratar experimentos del programa de ingeniería ambiental; También cuenta con el laboratorio de Calidad de Aguas y el laboratorio de Manufactura, en el cual, se encuentran los equipos con los que se realizaron las pruebas para la formulación de los instructivos para el curso de hidrología.

Tabla 2.
Laboratorio Manejo de Recursos Naturales y del Ambiente.

Universidad	Universidad del Valle
Programa	Ingeniería Agrícola, Civil, Sanitaria
Asignatura	Hidrología

Intensidad Horaria	3 horas semanales 3 horas presenciales 6 horas de trabajo independiente
Año de inicio asignatura	Se desconoce fecha de inicio
Nombre del laboratorio	Laboratorio de Manejo de Recursos Naturales y del Ambiente.
Año de creación del laboratorio	1970
Instructivos de laboratorio de hidrología	- Simulador de lluvia - Infiltración - Arrastre de sedimentos
Descripción del laboratorio	Este laboratorio cuenta con un área aproximada de 1125m ² , es un laboratorio cerrado, donde se desarrollan prácticas de hidrología e hidráulica.



Ilustración 7. Laboratorio Manejo de Recursos Naturales y de Ambiente. Universidad del Valle

Durante la visita a la Universidad del Valle, se observó que el laboratorio no sólo cumple con ser un espacio de investigación, sino también un aula de clase donde se dicta los conceptos teóricos que llevan a la práctica. En este laboratorio se enseña desde lo más básico (cómo abrir

una válvula) hasta temas de mayor complejidad como lo es el diseño y construcción de equipos de investigación, un ejemplo de ello es el simulador de lluvia.

Tabla 3.

Laboratorio de Hidráulica UNAL sede Manizales.

Universidad	Universidad Nacional de Manizales
Asignatura	Hidráulica
Intensidad Horaria	Se desconoce
Año de inicio asignatura	Se desconoce
Nombre del laboratorio	Hidráulica
Año de creación del laboratorio	1985
Instructivos de laboratorio de hidrología	- Infiltración con anillos de acero inoxidable. - Simulador de cuenca.
Descripción	Actualmente es el Laboratorio de Hidráulica, con mayor capacidad de bombeo del país y cuenta con un área total de 2.000 m ² , de los cuales 500 m ² están cubiertos. Dispone de un área de talleres y depósitos de 70 m ² , con un tanque de almacenamiento de 300 m ³ .

Por otra parte, la Universidad Nacional sede Palogrande Manizales tiene la particularidad que cuenta con un espacio abierto y otro cerrado, donde se desarrollan montajes prácticos a gran escala (simuladores de cuenca, mecanismo de las rápidas, canal de pendiente variable, entre otros).



Ilustración 8. Simulador de cuenca del Laboratorio de Hidráulica- UNAL- Manizales.

Este simulador de cuenca fue construido con el fin de medir la intensidad de las precipitaciones o el caudal de la lluvia, la velocidad de caída de las gotas de lluvia, el tiempo de concentración y los efectos de la cobertura vegetal en la atenuación de picos de crecientes en una cuenca, ya que estos son métodos desarrollados para el diseño de obras hidráulicas.



Ilustración 9. Vertedero Hidráulico, Laboratorio de Hidráulica UNAL Manizales.

En este simulador de vertedero hidráulico fue construido con el fin de elaborar ensayos de flujo libre que al mismo tiempo mide la presión del mismo en un tablero manométrico. Se estudian las características del flujo sobre estructuras hidráulicas.



Ilustración 10. Canal de rápidas con tapa del modelo de Gestión del Riesgo a pequeña escala UNAL Manizales.

Este modelo de canal de rápidas fue construido con el fin de mostrar cómo se deben estabilizar taludes donde se presenten deslizamientos de tierra o que el terreno tenga peligro de movimiento; el terreno se estabiliza con este tipo de obras, se recolectan las aguas que contenga el talud para evitar que la erosión dañe el terreno conduciéndolas a un sistema de riego a un canal principal.



Ilustración 11. Canal de pendiente variable- UNAL Manizales.

Este simulador de canal de pendiente variable fue construido con el fin de realizar medidas de ensayos de desplazamientos de sedimentos, simular las normales pendientes de los canales reales así como para la calibración de equipos similares.

En cuanto a la intensidad horaria para la asignatura de hidrología en las diferentes universidades, la UCM y la Universidad del Valle tienen la misma intensidad horaria, sin embargo, la U del Valle cuenta con equipos de hidrología, donde se aplican los conocimientos adquiridos durante el semestre, a diferencia de la UCM que sólo cuenta con material didáctico como fotocopias, talleres, etc.

Capítulo IV

Formulación y Evaluación Experimental Preliminar de Cuatro Prácticas para el Curso de Hidrología de la UCM

Introducción

A partir de los recursos y equipos en funcionamiento con los que cuenta actualmente la UCM, se eligieron cuatro experimentos que facilitan el entendimiento de conceptos como: infiltración, permeabilidad análisis granulométrico y arrastre de sedimentos.

Para la formulación y evaluación experimental de las cuatro prácticas para el curso de hidrología se tuvieron en cuenta dos muestras de tierra obtenidas del sector Palogrande de la ciudad de Manizales. Las características identificadas de cada muestra de tierra son las siguientes:

Muestra N°1. Tierra de color amarilla, la cual se aprecia con una contextura gruesa.

Muestra N°2. Tierra de color negra, la cual se aprecia con una contextura arenosa y con algunas muestras cobertura vegetal.

4.1. Experimento 1: Análisis Granulométrico De Un Suelo Por Tamizado.



Ilustración 12. Tamizadora.

4.1.1. Protocolo Experimental.

Para realizar esta prueba se lleva a cabo el siguiente paso a paso:

4.1.1.1. Verificación de materiales, herramientas y equipos a utilizar en el experimento.

4.1.1.2. Verificar que la tamizadora funcione correctamente.

4.1.1.3. Pesar 300g de la muestra del suelo y los tamices vacíos (N° 16- 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 200 y residual), los cuales se ordenaron de menor a mayor, de forma descendiente.

4.1.1.4. Agregar la muestra ya pesada al primer tamiz, en este caso N° 16, se tapa y se ajustan los soportes laterales metálicos.

4.1.1.5. Encender la tamizadora durante 10 minutos para someter a vibración la muestra.

4.1.1.6. Tomar el total del peso de los tamices que contienen las muestras después de la prueba.

4.1.2. Resultados

De acuerdo a las pruebas realizadas a la muestra N°1 y la N°2, y teniendo en cuenta los datos arrojados se realizan cálculos a partir de la siguiente ecuación:

- **Fórmula Para Hallar La Masa Recolectada**

$$m_r = m_f - m_i$$

m_r = Masa Recolectada.

m_f = Masa Final.

m_i = Masa del Tamiz Vacío.

- **Fórmula Para Hallar El Porcentaje De Retención**

$$\%r = \frac{m_r}{m_t} * 100\%$$

$\%r$ = Porcentaje de Retención.

m_r = Masa Recolectada.

m_t = Masa Total De La Tierra Recolectada.

Completando los datos del experimento, se procede a realizar la curva granulométrica, la cual se obtiene de graficar % que pasa vs Abertura de tamiz.

Con la gráfica hecha, se procede a comparar los rangos donde se encuentran estos para determinar si es un suelo tipo grava, arenoso o arcilloso.

Tabla 4.
Datos de tamizado- Muestra N°1 (amarilla)

Muestra de tierra N°1							
N° Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Masa tamiz vacío (g)	Masa tamiz final (g)	Masa recogida (g)	% retención	% Retenido acumulado	% que pasa
16	1,18	367,14	367,41	0,27	0,090495	0,0904947	99,909505
20	0,85	480,19	480,44	0,25	0,083791	0,1742861	99,825714
30	0,6	343,1	345,61	2,51	0,841266	1,01555168	98,984448
40	0,425	355,98	377,48	21,5	7,20606	8,22161148	91,778389
50	0,3	364,48	478,01	113,53	38,05135	46,2729588	53,727041
80	0,18	368,03	465,65	97,62	32,71886	78,991822	21,008178
100	0,15	360,43	369,64	9,21	3,086875	82,0786969	17,921303
200	0,075	297,12	348,01	50,89	17,05658	99,1352728	0,8647272
Residual	0	247,96	250,54	2,58	0,864727	100	0

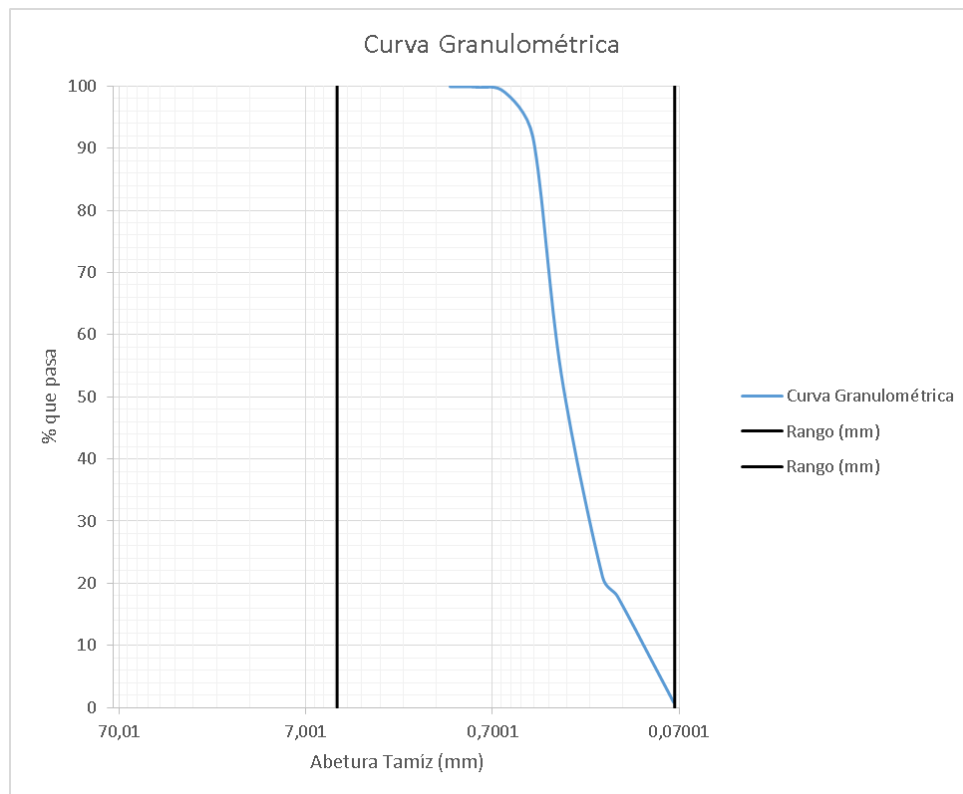


Ilustración 13. Curva granulométrica muestra tierra N°1

Tabla 5.
Datos de tamizado- muestra N°2 (negra)

Muestra de tierra N°2							
N° Tamíz	Abertura tamiz (mm)	Masa tamiz vacío (g)	Masa tamiz final (g)	Masa recogida (g)	% retención	% Retenido acumulado	% que pasa
16	1,18	367,14	375,2	8,06	2,5409035	2,540903502	97,4591
20	0,85	480,19	504,54	24,35	7,6763028	10,21720627	89,78279
30	0,6	343,1	357,24	14,14	4,4576148	14,6748211	85,32518
40	0,425	355,98	381,54	25,56	8,0577535	22,73257464	77,26743
50	0,3	364,48	413,03	48,55	15,305318	38,03789288	61,96211
80	0,18	368,03	433,47	65,44	20,629867	58,66775953	41,33224
100	0,15	360,43	368,73	8,3	2,6165632	61,28432269	38,71568
200	0,075	297,12	397,36	100,24	31,600517	92,8848397	7,11516
Residual	0	247,96	270,53	22,57	7,1151603	100	0

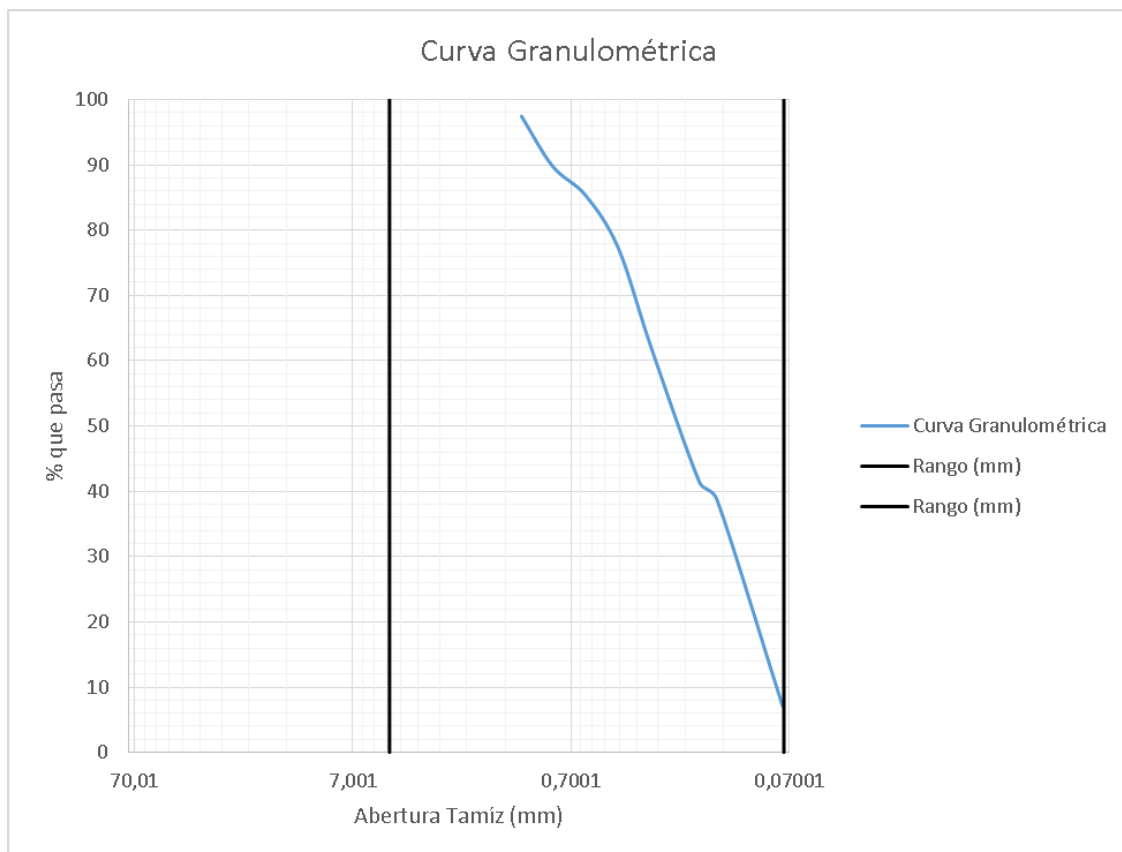


Ilustración 14. Curva granulométrica muestra N°2

4.1.3. Análisis

Analizando las gráficas obtenidas para cada una de las muestras, se concluye que el terreno seleccionado (Sector Palogrande) presenta un patrón de suelo arenoso.

En este ensayo, es posible solo hallar la granulometría del suelo ya que para las demás variables hidrológicas se deben tener en cuenta otro tipo de pruebas de laboratorio y así determinar las características específicas del terreno para la aplicación que requiera.

4.2. Experimento 2: Permeabilidad de una Muestra de Suelo



Ilustración 15. Permeámetro.

4.2.1. Protocolo experimental

Este ensayo se realiza para medir la permeabilidad de los materiales. Este es un método directo para medir el coeficiente de permeabilidad, por lo tanto, está ligado directamente a la ley de Darcy que es la que describe las características del movimiento del agua a través de un medio poroso.

El procedimiento para realizar el experimento se lista a continuación:

4.2.1.1. Verificación de materiales, herramientas y equipos para la práctica.

4.2.1.2. Verificar estado del filtro de arena.

4.2.1.3. Verificar el estado del compactador.

4.2.1.4. Verificar el estado del permeámetro.

4.2.1.5. Filtrar la muestra en la tamizadora.

4.2.1.5. Colocar la muestra resultante de los tamices 30, 40 y 50 en el compactador y comprimirla. Nota: La medida específica de la muestra en el compactador no puede sobrepasar los 50 cm por la especificación del equipo del laboratorio.

4.2.1.6. Colocar la muestra comprimida en el permeámetro y realizarle la prueba de permeabilidad.

4.2.1.7. Registrar los valores de permeabilidad y tiempo que muestra el equipo.

4.2.2. Resultados

Las pruebas de permeabilidad se realizaron sobre las muestras 1 y 2 del terreno en el cual se lleva el estudio, para los cuales se registran los datos mostrados en las tablas 6, 7 y 8.

Tabla 6
Permeabilidad de la muestra N°2 (Negra).

Muestra N°2 - Permeabilidad				
N° Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Tiempo (s)	Permeabilidad (cm/h)	Peso (g)
30	600	62	0,13	114,49
40	425			
50	300			

Tabla 7.
Permeabilidad de la muestra N°2.

Muestra N°2- Permeabilidad				
N° Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Tiempo (s)	Permeabilidad (cm/h)	Peso (g)
200	75	27,9	0,3	90,66
Residual	-----			

Tabla 8.
Permeabilidad de la muestra N°1(amarilla).

Muestra N°1- Permeabilidad				
N° Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Tiempo (s)	Permeabilidad (cm/h)	Peso (g)
30	600	2,23	3,76	114,3
40	425			
50	300			

4.2.3. Análisis

- Al realizar las pruebas de laboratorio para verificar la permeabilidad, notamos que en la muestra N°2 (negro) y en la muestra N°1 (amarillo) para los tamices 30, 40 y 50 muestran una permeabilidad muy rápida, por lo cual se puede decir que presenta una estructura de grano suelto y su consistencia es blanda cuando está mojado y granos sueltos si se encuentra húmedo o seco, por lo tanto, mientras más permeable sea el suelo mayor será la infiltración.

- En la prueba de la muestra N°2 (negro) para el tamiz 200, se observó que en esta capa de suelo la permeabilidad es menor por lo tanto su capacidad de retención es mayor representando así menor facilidad para que un flujo pase a través de este.

4.3. Experimento 3: Infiltración de Agua en un Suelo.



Ilustración 16. Montaje de la prueba de infiltración.

4.3.1. Protocolo Experimental

El laboratorio de infiltración consiste en verificar la velocidad con la que el agua atraviesa una muestra en el laboratorio. Para esta práctica se realiza el siguiente paso a paso:

- 4.3.1.1. Verificar los materiales, herramientas y equipos necesarios para la práctica.
- 4.3.1.2. Acondicionar 6 botellas de forma cilíndrica para la prueba.
- 4.3.1.3. Cortar la base del recipiente y en el pico colocar un trozo de tela para retener la muestra y permitir el paso del agua.
- 4.3.1.4. Filtrar las muestras 1 y 2 en la tamizadora.

4.3.1.5. Colocar en los recipiente plásticos las muestras ya tamizadas así: Recipiente 1 colocar 400g de los tamices 16 y 20 mezclado de la muestra 1, recipiente 2 colocar 400g de los tamices 30, 40 y 50 mezclados de la muestra 1, recipiente 3 colocar 400g de los tamices 200 y residual mezclados de la muestra 1, recipiente 4 colocar 400g de los tamices 16 y 20 mezclados de la muestra 2, recipiente 5 colocar 400g de los tamices 30, 40 y 50 mezclados de la muestra 2 y recipiente 6 colocar 400g de los tamices 200 y residual de la muestra 2.

4.3.1.6. Simular la lluvia por medio de una botella con un contenido total de 600ml en cada uno de los recipientes con las muestras en prueba.

4.3.1.7. Tomar los datos de altura y tiempo para cada uno de los recipientes en el momento de realizar la prueba.

4.3.2. Resultados

- **Infiltración de la muestra N°2 (negra)**



Ilustración 17. Muestra N°2.

Tabla 9.

Infiltración de la muestra N°2

Infiltración de la muestra N°2					
N° Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Masa (g)	Altura total de la tierra (m)	Agua Total (mL)	Agua utilizada (mL)
30	600	400	0,117	600	95
40	425				
50	300				

Tabla 10.
Infiltración de la muestra N°2 de los tamices 30, 40 y 50.

Tiempo (s)	Altura (m)
0	0,117
20	0,07
40	0

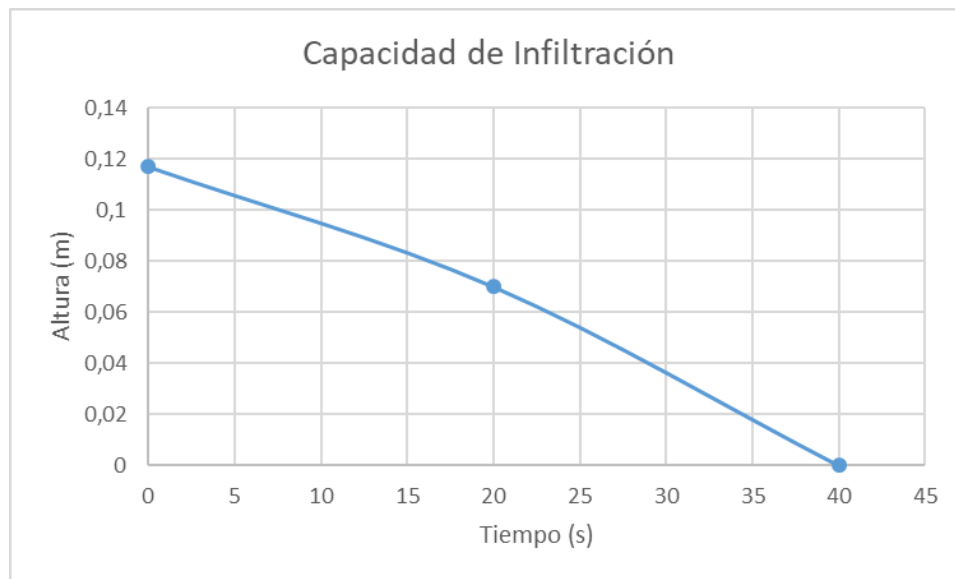


Ilustración 18. Capacidad de infiltración muestra N°2- Tamices 30, 40 y 50.

Tabla 11.
Infiltración de la muestra N°2 (tamices 200 y residual).

Muestra N°2					
N° Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Masa (g)	Altura total de la tierra (m)	Agua Total (ml)	Agua utilizada (ml)
200	75	400	0,135	600	600
Residual	-----				

Tabla 12.

Tiempo y altura de infiltración en de la muestra N°2 tamiz 200 y residual.

Tiempo (s)	Altura (m)
20	0,125
40	0,115
60	0,11
80	0,108
100	0,103
120	0,0999
140	0,095
160	0,094
180	0,087
200	0,084
220	0,081
240	0,079
260	0,077
280	0,075
300	0,0749
320	0,072
340	0,07
360	0,069
380	0,066
400	0,065
420	0,063
440	0,061
460	0,059
480	0,058
500	0,057
520	0,055
540	0,054
560	0,053
580	0,05
600	0,049

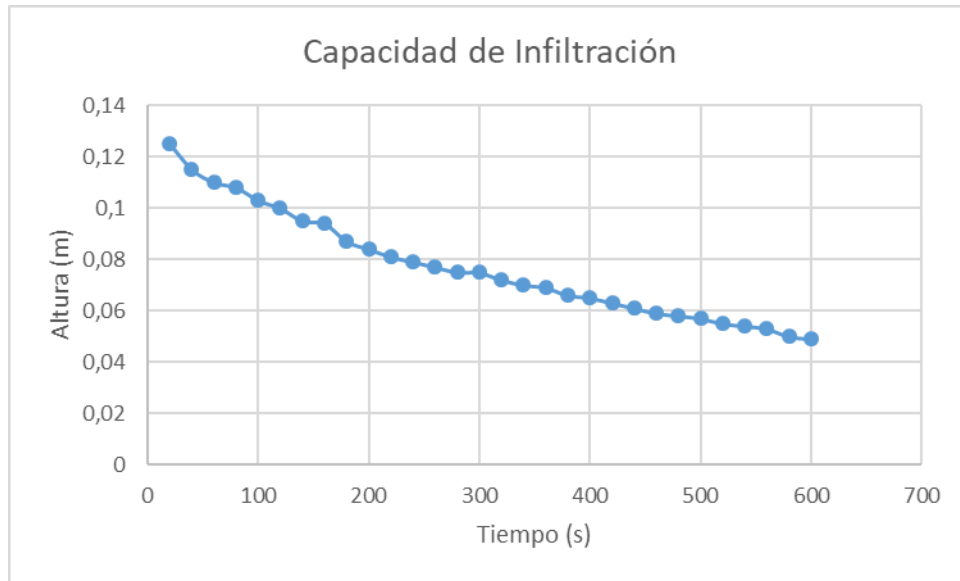


Ilustración 19. Capacidad de infiltración de la muestra N°2- Tamices 200 y residual.

- **Infiltración de la Muestra N°1 (amarilla)**

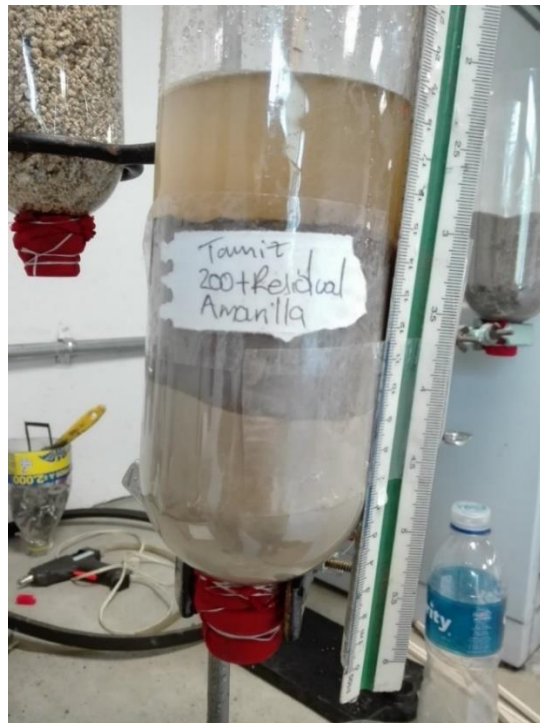


Ilustración 20. Prueba de infiltración.

Tabla 13.
Infiltración de la muestra N°1

Muestra N°1					
N° Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Masa final (g)	Altura total de la tierra (m)	Agua Total (ml)	Agua utilizada (ml)
30	600	400	0,115	600	142
40	425				
50	300				

Tabla 14.
Infiltración de la muestra N°1.

Tiempo (s)	Altura (m)
20	0,1076
40	0,101
60	0,075
80	0

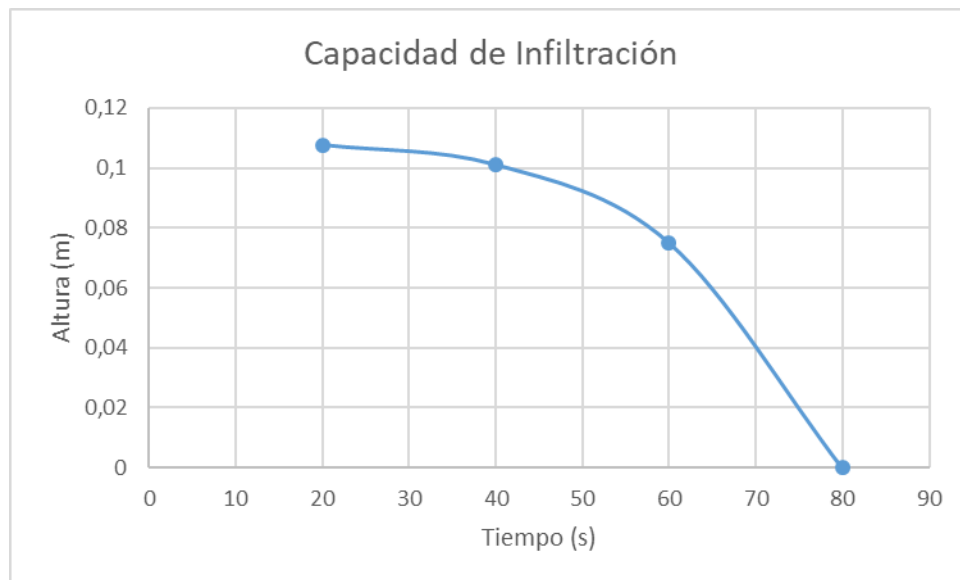


Ilustración 21. Capacidad de infiltración de la muestra N°1- Tamices 30, 40 y 50.

Tabla 15.
Infiltración de la muestra N°1 - Tamiz 200 y residual.

Muestra N°1					
N° Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Masa (g)	Altura total de la tierra (m)	Agua Total (ml)	Agua utilizada (ml)
200	75	400	0,145	600	600
Residual	0				

Tabla 16.
Infiltración de la muestra N°1- Tamices 200 y residual.

Tiempo (s)	Altura (m)
20	0,1250
40	0,1100
60	0,1050
80	0,1000
100	0,0990
120	0,0970
140	0,0960
160	0,0950
180	0,0930
200	0,0900
220	0,0880
240	0,0870
260	0,0850
280	0,0820
300	0,0790
320	0,0750
340	0,0659
360	0,0650
380	0,0600
400	0,0559
420	0,0556
440	0,0549

460	0,0521
480	0,0500
500	0,0456
520	0,0445
540	0,0400
560	0,0359
580	0,0371
600	0,0340

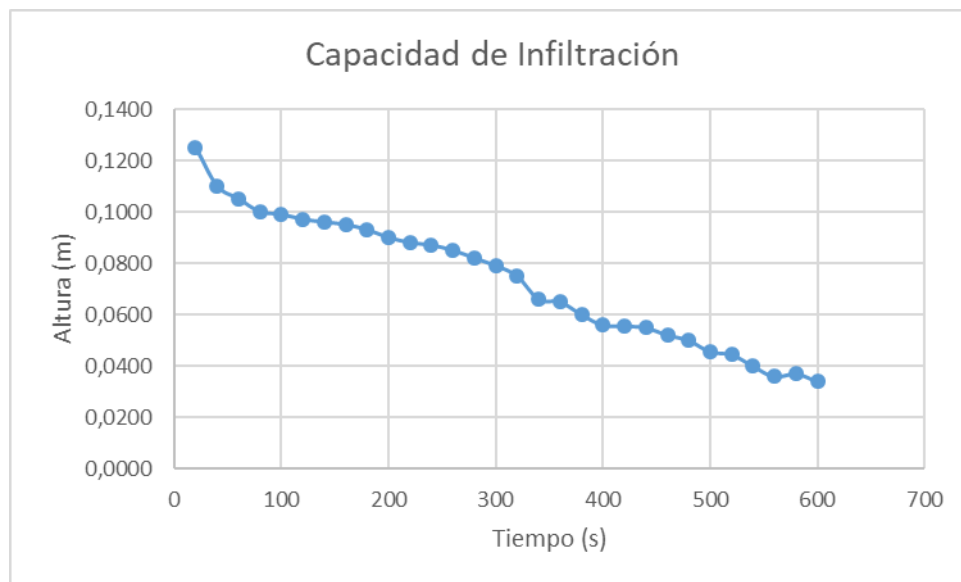


Ilustración 22. Capacidad de infiltración tamices 200 y residual.

4.3.3. Análisis

La resultante de graficar la altura vs el tiempo nos da información de la velocidad de infiltración de las muestras de acuerdo al tamiz utilizado, por lo cual al hacer una línea de tendencia podemos obtener las fórmulas para determinar la velocidad de infiltración en cada punto de la recta así:

Muestra 1 – Tamiz 30,40,50: $y = -0,0029x + 0,1208$

Muestra 1 – Tamiz 200: $y = -0,0001x + 0,113$

Muestra 2 - Tamiz 30,40,50: $y = -0,0017x + 0,1581$

Muestra 2 – Tamiz 200: $y = -0,0001x + 0,1174$

Podemos decir que la capacidad de infiltración disminuye a medida que las muestras presentan saturación de agua, lo que se puede ver evidenciado en la pendiente de cada grafico (pendiente negativa).

A continuación, se realiza una gráfica comparando el comportamiento de todas las muestras analizadas durante la aplicación de la prueba de infiltración:

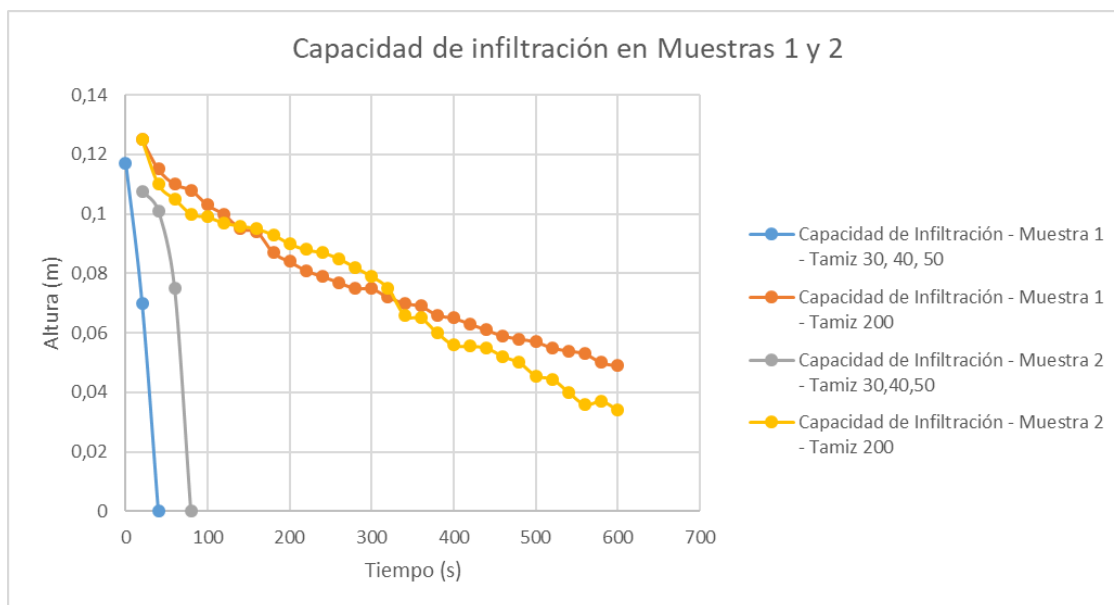


Ilustración 23. Altura vs Tiempo de la infiltración de la muestra N°1 y N°2.

De la gráfica 7 podemos observar que la capacidad de infiltración en las partículas de los tamices de mayor abertura es mucho más rápida que la obtenida en las partículas del tamiz 200 para las dos muestras a las cuales se le aplicaron las pruebas en el laboratorio.

- Se puede observar que en el montaje de la muestra N°2 para los tamices 30,40 y 50 hay una mayor infiltración, demostrando así que las partículas de esta muestra son más grandes y su tiempo de recorrido es menor.
- En la muestra N°2 para el tamiz 200, el tiempo de infiltración fue más extensa ya que sus partículas son más finas y al estar comprimidas se obstaculiza el recorrido del fluido, en este caso se presentó un nivel de inundación que duro unos minutos antes de que el agua goteara por el filtro del montaje.
- En la muestra N°1 para los tamices 30, 40y 50 se observó que la infiltración ocurrió en menor tiempo, ya que la textura del suelo tiene espacios más grandes entre cada grano el cual hace que el agua pase rápidamente.
- En la muestra de muestra N°1 para el tamiz 200, se observó que las partículas de esta muestra son más finas. Por lo tanto, el proceso fue uno de los más lentos, ya que inicialmente se observó infiltración, pero minutos después se presentó un nivel de inundación y la infiltración se interrumpió por 5 minutos, pasado este tiempo el proceso continuo pero el fluido nunca paso por el filtro del montaje.

4.4. Experimento 4: Transporte de Sedimentos Sólidos en un Modelo a Escala del Lecho de un Río.



Ilustración 24. Simulación de un lecho de un río.

4.4.1. Protocolo Experimental

Este experimento se desarrolló sobre un simulador de cuenca en acrílico, el cual fue un aporte de dos estudiantes del programa de ingeniería ambiental, quienes dieron el primer insumo para la estructuración y ejecución de este experimento y su respectivo instructivo.

Para obtener mejores resultados al realizar el ensayo de arrastre de sedimentos, se hizo unas modificaciones físicas para asemejar la rugosidad del lecho del río del prototipo inicial del modelo de cuenca.

El paso a paso que se sigue en esta práctica es el siguiente:

4.4.1.1. Se toma 400g de cada una de las muestras de tierra (muestra 1 y muestra 2), las cuales se agregan al montaje en tres secciones como se muestra en la ilustración 18 y 19 (Una prueba de laboratorio por cada muestra).

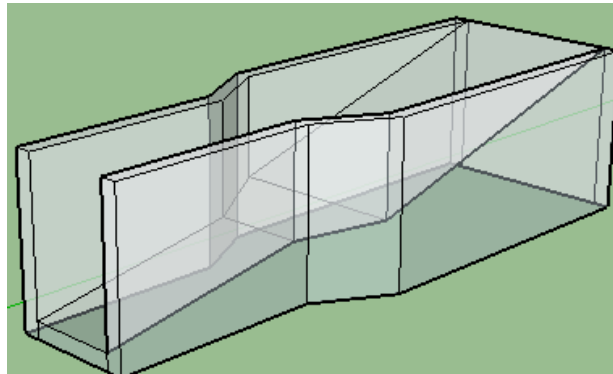


Ilustración 25. Simulador de cuenca. Fuente. (Giraldo & López, 2018).



Ilustración 26. Simulador de cuenca.

4.4.1.2. Conectar la manguera al suministro de agua para tomar caudales y simular el flujo de un río. Esta se ubica en la zona de inundación del equipo.

4.4.1.3. Se toma un tiempo y una distancia para observar el comportamiento del flujo.

4.4.1.4. Al otro extremo del simulador se dispone un recipiente, en el cual se recolecta el agua y los sedimentos que se obtienen durante la prueba, llevándolos después a los conos imhoff, donde sedimentaron las partículas tomando como dato el volumen.

4.4.2. Resultados

La prueba de arrastre de sedimentos se desarrolló con el fin de observar el comportamiento del paso de un flujo de río en una determinada distancia a diferentes caudales.

Inicialmente se realizó el ensayo con arena fina y una arena más fina.

Tabla 17.

Arrastre de Sedimentos- Arena Más Fina.

ARENA MÁS FINA				
Tipo de Arena	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
Caudal (Q) (mL/seg)	14,66	17,33	22,33	18.10
VolSed	4 mL	125 mL	152 mL	93.66
Distancia (d) (cm)	79	79	79	79
tSed	2 min	2 min	2 min	2 min
trecorrido	60 seg	17 seg	5 seg	7,66 seg
Velocidad (Vel) (cm/seg)	1,3	4,64	15,8	12,5

Tabla 18.

Arrastre de Sedimentos, Arena Fina.

ARENA FINA				
Tipo de Arena	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
Caudal (Q) (mL/seg)	11,33	13,5	16	13,61
VolSed	5,5 mL	1,5 mL	14 mL	7,8 mL
Distancia (d) (cm)	79	79	79	79
tSed	2 min	2 min	2 min	2min

trecorrido	26 seg	44 seg	15 seg	28,4
Velocidad (Vel) (cm/seg)	3,0	1,9	5,2	3,36

Tabla 19.
Ensayo 1 de tres secciones, Suelo Humífero.

ENSAYO DE TRES SECCIONES, SUELO HUMÍFERO	
Prueba 1	
Tiempo 1- Partículas Grandes (seg)	55
Tiempo 2- Partículas Medianas (seg)	45
Tiempo 3- Partículas Pequeñas (seg)	9
Tiempo para la recolección de sed (min)	2
Q (Caudal) (vol/t)	8,66
Vol Sedimentos (mL)	13
Distacia de Recorrido (cm)	79

Tabla 20.
Ensayo 2 De Tres Secciones, Suelo Humífero.

ENSAYO DE TRES SECCIONES, SUELO HUMÍFERO	
Prueba 2	
Tiempo 1- Partículas Grandes (seg)	11
Tiempo 2- Partículas Medianas (seg)	4
Tiempo 3- Partículas Pequeñas (seg)	3
Tiempo para la recolección de sed (min)	2
Q (Caudal) (vol/t)	21,06
Vol Sedimentos (mL)	287
Distacia de Recorrido (cm)	79

Tabla 21.
Ensayo 3 de tres secciones, Suelo Humífero.

ENSAYO DE TRES SECCIONES, SUELO HUMÍFERO	
Prueba 3	
Tiempo 1- Partículas Grandes (seg)	12
Tiempo 2- Partículas Medianas (seg)	6
Tiempo 3- Partículas Pequeñas (seg)	3,5
Tiempo para la recolección de sed (min)	2
Q (Caudal) (vol/t)	14,9
Vol Sedimentos (mL)	115
Distacia de Recorrido (cm)	79

Tabla 22.
Ensayo 1 de tres secciones, suelo arcilloso.

ENSAYO DE TRES SECCIONES, SUELO ARCILLOSO	
Prueba 1	
Tiempo 1- Partículas Grandes (seg)	17
Tiempo 2- Partículas Medianas (seg)	37
Tiempo 3- Partículas Pequeñas (seg)	21
Tiempo para la recolección de sed (min)	2
Q (Caudal) (vol/t)	9,3
Vol Sedimentos (mL)	4
Distacia de Recorrido (cm)	79

Tabla 23.
Ensayo 2 de tres secciones, suelo arcilloso.

ENSAYO DE TRES SECCIONES, SUELO ARCILLOSO	
Prueba 2	
Tiempo 1- Partículas Grandes (seg)	14
Tiempo 2- Partículas Medianas (seg)	14
Tiempo 3- Partículas Pequeñas (seg)	4
Tiempo para la recolección de sed (min)	2
Q (Caudal) (vol/t)	20,6
Vol Sedimentos (mL)	270
Distacia de Recorrido (cm)	79

Tabla 24.
Ensayo 3 de tres secciones, suelo arcilloso.

ENSAYO DE TRES SECCIONES, SUELO ARCILLOSO	
Prueba 1	
Tiempo 1- Partículas Grandes (seg)	17
Tiempo 2- Partículas Medianas (seg)	8
Tiempo 3- Partículas Pequeñas (seg)	7
Tiempo para la recolección de sed (min)	2
Q (Caudal) (vol/t)	16,6
Vol Sedimentos (mL)	13,4
Distacia de Recorrido (cm)	79

Tabla 25.
Tamizado del volumen de Sedimentos de la prueba 1, Suelo Arcilloso, Tamices 60, 200, Residual.

PRUEBA 1- SUELO ARCILLOSO				
N° Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Masa final (g)(bolsa)	Masa recogida (g)	% retención
60	250	7,12	0.37	17.703
200	75	6.71	0.78	37.32
Residual	-----	7,28	0.94	44.97
Total			2.09	

Tabla 26.

Tamizado del volumen de Sedimentos de la prueba 2, Suelo Arcilloso.

PRUEBA 2- SUELO ARCILLOSO				
N° Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Masa final (g)(bolsa)	Masa recogida (g)	% retención
40	425	60.88	54.54	58,54
50	300	21.76	15.42	16.55
60	250	8.61	2.27	2.43
200	75	13.61	7.27	7.80
Residual	-----	20.45	14.11	15.14
Total			93.16	

Tabla 27.

Tamizado del volumen de Sedimentos de la prueba 3, Suelo Arcilloso.

PRUEBA 3- SUELO ARCILLOSO				
N° Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Masa final (g)(bolsa)	Masa recogida (g)	% retención
40	425	40.84	34.5	52.26
50	300	12,63	6.34	9.604
60	250	7.84	1.50	2.272
200	75	10.30	3.96	5.999
Residual	-----	26.05	19.71	29.85
Total			66.01	

Tabla 28.

Tamizado del volumen de Sedimentos de la prueba 1, Suelo Humífero.

PRUEBA 1- SUELO HUMÍFERO				
N° Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Masa tamiz final (g)(bolsa)	Masa recogida (g)	% retención
50	300	10.94	4.60	56.72
200	75	8.86	2.52	31.07
Residual	-----	7.33	0.99	12.20
Total			8.11	

Tabla 29.

Tamizado del volumen de Sedimentos de la prueba 2, Suelo Humífero.

PRUEBA 2- SUELO HUMÍFERO				
N° Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Masa tamiz final (g)	Masa recogida (g)	% retención
30	600	82.79	76.45	25.09
40	425	56.70	50.36	16.52
50	300	85.79	79.63	26.13
60	250	23.95	17.61	5.799
200	75	54.09	47.75	15.67
Residual	-----	39.23	32.89	10.79
Total			304.69	

Tabla 30.

Tamizado del volumen de Sedimentos de la prueba 3, Suelo Humífero.

PRUEBA 3- SUELO HUMÍFERO				
N° Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Masa tamiz final (g)	Masa recogida (g)	% retención
40	425	6.73	0.39	5.571
50	300	6.54	0.20	2.857
200	75	8.63	2.29	32.714
Residual	-----	10.46	4.12	58.857
Total			7	

Arrastre De Sedimento Con Los Tres Lechos

Tabla 31.

Tamizado del volumen de Sedimentos de la prueba 1, Tres Lechos.

PRUEBA 1- TRES LECHOS				
N° Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Masa tamiz final (g)	Masa recogida (g)	% retención
60	250	30.81	24.47	25.297
200	75	34.58	28.24	29.194
Residual	-----	50.36	44.02	45.508
Total			96.73	

Tabla 32.

Tamizado del volumen de Sedimentos de la prueba 2, Tres Lechos.

PRUEBA 2- TRES LECHOS				
N° Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Masa tamiz final (g)	Masa recogida (g)	% retención
20	850	83.43	77.09	17.674
30	600	45.67	39.33	9.017
40	425	46.05	39.71	9.104
50	300	45.58	39.24	8.996
60	250	35.16	28.82	6.607
200	75	74.53	68.19	15.633
Residual	-----	150.13	143.79	32.966
Total			436.17	



Ilustración 27. Simulación de la cuenca.

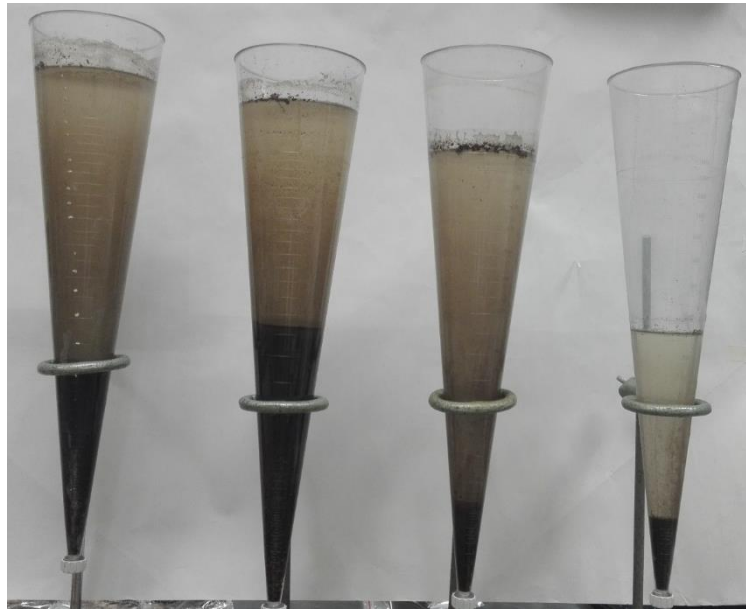


Ilustración 28. Masa del suelo sedimentado.

4.4.3. Análisis

- De acuerdo a las pruebas N° 1, 2 y 3 realizadas con la ayuda de los tamices en el laboratorio para los suelos arcillosos y los suelos humíferos se puede observar que, al aplicar un caudal aproximadamente igual, el suelo arcilloso tiene un porcentaje más alto de retención, es decir, que el mayor arrastre de sedimentos se produce cuando el lecho del río presenta suelos de características humíferos.
- Cuando se presenta un suelo del río con dos lechos el porcentaje de arrastre de sedimentos disminuye de acuerdo a las pruebas ejecutadas con los tamices, es decir, si el río tiene este tipo de suelos el arrastre será menor y menos propenso a erosionarse con el paso del tiempo.

- Durante la ejecución de las pruebas con los dos lechos y los diferentes tamaños de partículas de estos tipos de suelo (Arcilloso y Humífero), se pudo observar que el lecho toma diferentes formas de acuerdo a las condiciones del flujo, formando risos, llanuras de inundación, rápidos y meandros.

Capítulo V

Estudio Económico Básico de Costos de Implementación de la Propuesta del Componente Experimental del Curso

Introducción

Durante el desarrollo de los laboratorios propuestos, se evidencia que se cuenta con los elementos necesarios para realizar tres de los cuatro laboratorios (análisis granulométrico del suelo, permeabilidad e infiltración), por lo tanto, se realiza el estudio económico para el laboratorio de arrastre de sedimentos, el cual es el que presenta deficiencia en equipos para realizar las prácticas de una forma más tecnificada.

Costos para la Adquisición de los Equipos para el Laboratorio de Arrastre de Sedimentos.

De acuerdo a las investigaciones sobre los equipos para llevar a cabo las pruebas de arrastre de sedimentos, se encontró que el Simulador de Flujo de Ríos ARMFIELD-S17 se ajusta a las necesidades de la universidad para llevar a cabo las prácticas, el cual se tomará como punto de partida para tener el valor de referencia para una posible adquisición de la universidad.

Los valores que se muestran en este estudio son válidos a la fecha de presentación del trabajo, por lo cual a futuro se debe tomar como valor de referencia y realizar la respectiva actualización a los precios.

El estudio incluye los costos de adquisición, operación y mantenimiento del equipo, el cual se presenta en la tabla 34.

Tabla 33.

Simulador de flujo de ríos ARMFIELD – S17. Fuente. (Tecnoedu, Tecnología Educativa S.A , s.f.)


NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN	FOTO	COSTO DEL EQUIPO
EQUIPO 1: SIMULADOR DE FLUJO DE RÍOS ARMFIELD - S17	Sirve para demostrar y simular la formación de las características de los ríos, incluidos el flujo y el movimiento de carga sólida.		\$1.300.000

Tabla 34.

Presupuesto para la adquisición, operación y mantenimiento del simulador de flujo de ríos.

Ítem	Descripción	Costo
1	Simulador de flujo de ríos ARMFIELD - S17	\$ 1.300.000
2	Tanque de acero de calibre 18, con un área de trabajo de 100cm x 60cm	\$ 500.000
3	Base en acero calibre 18	\$ 300.000
4	Manguera 2m	\$ 8.000
5	bomba sumergible	\$ 300.000
6	Caudalímetro	\$ 150.000
7	Reservorio de agua	\$ 50.000
8	Esponja	\$ 10.000
9	Mantenimiento preventivo del equipo por año	\$ 500.000
	Total	\$ 3.118.000

De acuerdo a la tabla 34 la inversión inicial para adquirir el equipo será de \$ 3.118.000, y se mantendrá anualmente con \$500.000 en los que está incluido un mantenimiento preventivo anual

donde se revisará a fondo el desgaste que puedan presentar sus piezas y mantenimientos trimestrales más generales.

Resultados del Desarrollo de los Instructivos Propuestos con los Estudiantes

Se desarrollaron las cuatro prácticas propuestas en los instructivos, las cuales se llevaron a cabo con los estudiantes del programa de ingeniería ambiental de VI semestre, quienes cursaban dicha asignatura en el segundo periodo del año 2017, con el fin de verificar la información de los instructivos con los ensayos y los temas de la materia.

Cada grupo de alumnos contaba con su material de trabajo (copia de instructivos, equipos de protección personal e insumos- diferentes tipos de suelo-).

Como resultado para la asignatura, los alumnos dieron a conocer la actividad mediante diapositivas y como resultado para el proyecto, realizaron una encuesta.



Ilustración 29. Ensayo de los instructivos con estudiantes del curso de Hidrología y Climatología.



Ilustración 30. Ensayo de los instructivos con estudiantes del curso de Hidrología y Climatología.



Ilustración 31. Ensayo de los instructivos con estudiantes del curso de Hidrología y Climatología.

Conclusiones

- Se cumplió con el primer objetivo propuesto del proyecto, sin embargo, por falta de tiempo y recursos económicos, no se realizaron visitas a otras universidades que cuentan con la asignatura de hidrología teórico- práctica, las cuales, también son un ejemplo a seguir para la mejora continua del proyecto y de la asignatura.

- Se analizó inicialmente que el espacio es fundamental para la ubicación de los equipos experimentales facilitando el desarrollo, la observación y estudio de las pruebas, donde al mismo tiempo debería de ser el aula de clase como se identificó en la Universidad del Valle.

-Al realizar el trabajo de grado enfocado al planteamiento de instructivos de laboratorio para el curso de hidrología del programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad Católica de Manizales se pudo identificar que, al contar con este tipo de apoyos académicos durante el curso de la carrera universitaria, los estudiantes asimilan de una mejor manera los conceptos que se estudian en forma teórica, dando así un valor agregado para la educación en el plantel educativo.

-Al realizar el estudio del estado de la enseñanza teórico-práctica de la hidrología profesional a nivel nacional e internacional pudimos darnos cuenta que en muy pocas universidades se tiene un laboratorio implementado para profundizar los conceptos del curso de hidrología en la actualidad, por lo cual, empezar a implementar estos instructivos por medio de este trabajo de grado es un avance significativo para que la Universidad Católica de Manizales, debido a que teniendo como base este estudio las personas responsables de esta área pueden iniciar gestiones para que la

universidad pueda ir adquiriendo los equipos y llegar a ser una universidad pionera a nivel nacional con un laboratorio de hidrología.

- Durante la evaluación de los experimentos, se pudo identificar que los instructivos son totalmente realizables con los equipos que se cuentan en la universidad actualmente.

- La universidad puede adquirir equipos que permitan desarrollar todos los laboratorios en su sede, teniendo en cuenta los modelos de planta piloto.

Recomendaciones

- Actualmente, la asignatura de Hidrología y Climatología del programa de Ingeniería Ambiental de la UCM, cuenta con diez unidades, las cuales, en su gran mayoría, explican los diferentes fenómenos del ciclo hidrológico en cuencas hidrográficas. Únicamente, la unidad 2, describe los fenómenos climatológicos y su importancia en el transporte de los contaminantes atmosféricos y su relación con el ciclo hidrológico. Por lo tanto, se propone estudiar la posibilidad de dividir estos temas en asignaturas diferentes, que facilite el aprendizaje teórico- práctico que se busca con la propuesta evidenciada en este documento. Es relevante que el ingeniero ambiental tenga una mirada más profunda de disciplinas como la hidrología y la climatología, ya que estas están a su vez, relacionadas con asignaturas como Geología, Hidráulica, Suelos, Calidad de Aguas, Aires, Gestión del Riesgo, Estudios de Impacto Ambiental, entre otras.
- Durante el desarrollo del proyecto y a partir de los factores que se tuvieron en cuenta en las visitas a las universidades, se proponen los siguientes experimentos y cinco equipos de planta piloto comerciales para implementar en el laboratorio de hidrología una vez este tenga su aprobación para su ejecución, donde al mismo, son proyectos que pueden servir como trabajos de grados para los estudiantes pertenecientes a los semilleros de investigación, específicamente al semillero de Gestión Integral del Patrimonio Hídrico.

Los equipos de planta piloto son:

Tabla 35.

Propuesta de equipos de planta piloto. Fuente. (Tecnoedu, Tecnología Educativa S.A , s.f.)

NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	FOTO
<p>EQUIPO 1: UNIDAD P/ESTUDIAR EL FLUJO DE AGUAS FREÁTICAS ARMFIELD - S11.</p>	<p>Este aparato para montaje en banco es capaz de demostrar, a pequeña escala, los principios hidrológicos del flujo de aguas subterráneas y las aplicaciones de éstos a determinadas construcciones de ingeniería.</p>	
<p>EQUIPO 2: CANAL DE FLUJO ABIERTO PARA ESTUDIOS DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS ARMFIELD -S8-MKII-A.</p>	<p>Este aparato para montaje en banco es capaz de demostrar, a pequeña escala, los principios hidrológicos del flujo de aguas subterráneas y las aplicaciones de éstos a determinadas construcciones de ingeniería.</p>	
<p>EQUIPO 3: EQUIPO P/GENERAR HIDROGRAMAS DE PRECIPITACIONES ARMFIELD - S10-A</p>	<p>El objetivo de este aparato es demostrar, a pequeña escala, algunos de los procesos físicos que se producen en la hidrología.</p>	

<p><u>EQUIPO 4:</u> SISTEMA PARA ESTUDIOS HIDROLÓGICOS AVANZADOS C/INSTRUMENTACIÓN CONECTADA A PC ARMFIELD -S12-MKII-50-A</p>	<p>Este aparato demuestra algunos de los procesos físicos más importantes encontrados en la hidrología y la geomorfología fluvial, incluyendo: hidrogramas de precipitaciones de lluvia para cuencas de captación de diferente permeabilidad; la abstracción de aguas subterráneas por pozos, con y sin recarga superficial aportada por precipitaciones de lluvia; la formación de características de ríos y los efectos del transporte de sedimentos.</p>	
<p><u>EQUIPO 3:</u> APARATO P/ESTUDIOS DE DRENAJE Y FILTRACIÓN ARMFIELD - S1-A.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Visualización de la línea de flujo. - Construcción de red de flujo. - Determinación de tasas de filtración. - Verificación de la Ley de Darcy. 	

Referencias

(s.f.). Obtenido de google.com/imagenes

Biomodel. (s.f.). Obtenido de <http://biomodel.uah.es/tecnicas/isotopos/inicio.htm>.

Biomodel. (s.f.). Obtenido de Biomodel: <http://biomodel.uah.es/tecnicas/isotopos/inicio.htm>

Climantica. (s.f.). Climantica. Obtenido de Climantica:

<http://es.contenidos.climantica.org/unidades/3/a-auga-en-movemento/evapotranspiracion-e-escorrentia/a-evapotranspiracion>

Diaz, H., & Molano, E. (s.f.).

Gálvez, J. O. (2011). Contribuyendo al Desarrollo de una Cultura del Agua y Gestion Integral de Recurso Hídrico . Obtenido de http://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/aguas_subterranas.pdf

Giraldo, M., & López, C. (2018). Estudiantes de Ingeniería Ambiental.

Gonfiantini, R. &. (1991). Laboratorios De Hidrología Isotópica Ambiental En Los Países En Desarrollo. Boletín de la OIEA, 5.

Gonfiantini, R., & Stichler, W. (1991). Laboratorios de Hidrología Isotópica Ambiental en los Países en Desarrollo. Boletín de la OIEA, 4/1991, 9.

Perez, G. (s.f.). Ciclo Hidrológico . Obtenido de Ciclo Hidrológico :
<https://www.ciclohidrologico.com/>

Tecnoedu, Tecnología Educativa S.A. (s.f.). Obtenido de Tecnoedu, Tecnología Educativa S.A:
<https://tecnoedu.com/Armfield/SerieS.php>

Tecnoedu, Tecnología Educativa S.A . (s.f.). Obtenido de Tecnoedu, Tecnología Educativa S.A:
<https://tecnoedu.com/Armfield/SerieS.php>

Tierra, A. N. (2012). Ventanas al Universo . Obtenido de
<https://www.windows2universe.org/earth/Water/condensation.html&lang=sp>

Wikimedia Commons. (s.f.). Obtenido de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ciclo-del-agua.jpg>

Anexos

Anexo 1

Descripción Detallada De Equipos De Planta Piloto Para La Experimentación En Hidrología

Nombre Y Descripción Del Equipo

Equipo 1: Simulador De Flujo De Ripos Armfield.



Ilustración 32. Simulador De Flujo De Ripos Armfield.

El Armfield S17 es un tanque de simulación profesional que sirve para demostrar y simular la formación de las características de los ríos, incluidos el flujo y el movimiento de carga sólida.

Constituye una introducción excelente al estudio de la geomorfología fluvial y permite demostrar conceptos complejos y avanzados.

También puede utilizarse con fines de investigación.

- Simulador independiente del flujo de los ríos para el estudio y la visualización de formaciones fluviales, estudios de carga sólida y geomorfología fluvial.
- Tanque de acero inoxidable con un área de trabajo de 2150x900 mm.
- Tanque fijado a un armazón de acero con sistema de tornillos ajustables para alterar de manera sencilla y segura la inclinación del tanque aunque esté lleno.
- Utiliza la arena para estudiar el desarrollo de características detalladas y el movimiento de carga sólida.
- Recipiente de entrada de agua con sistema de amortiguación que se puede colocar en cualquier lugar del tanque.
- Depósito de agua, bomba sumergible, medidor de caudal de área variable y válvula de control, que permiten alcanzar flujos de 1,5 a 15 l/min.
- Se incluye un completo manual de instrucciones.

Descripción:

- La unidad se compone de un tanque rectangular de acero inoxidable, que mide 215x90 cm.
- El tanque está sujeto a un armazón de metal.
- El sistema de dos tornillos ajustables manualmente permite modificar de manera sencilla y segura la inclinación del tanque, incluso cuando está lleno de agua y materiales.
- La robustez del tanque permite utilizar arena de verdad.
- Esto aporta una simulación detallada y realista imposible de lograr en otros

sistemas que utilizan bolas de plástico.

- De este modo, se pueden estudiar todos los principios de la formación de los ríos y el movimiento de carga sólida.
- Para obtener los mejores resultados, se aconseja el uso de arena lavada y de grano fino.
- El depósito de agua se encuentra situado en la descarga del tanque, y el agua se envía desde el depósito al recipiente de entrada por medio de una bomba sumergible de baja tensión.
- El recipiente de entrada tiene una capacidad de 1,8 litros, y se puede colocar en cualquier lugar del tanque principal.
- La arena del interior del tanque lo mantiene en su posición adecuada.
- El recipiente incorpora un mecanismo de amortiguación y una represa de salida diseñada para que el agua fluya de manera suave al tanque principal.
- El sistema permite ajustar totalmente el flujo del agua utilizando un medidor de caudal de área variable y una válvula de esfera manual, que están acoplados al tanque.
- A continuación, el agua fluye a través de la arena, donde se puede observar y analizar la formación de meandros, barras de sedimentos, bancos de corte, rápidos, vaguadas, etc.
- Al final del tanque se encuentra una tubería vertical de salida que devuelve el agua al depósito.
- La altura de la tubería es ajustable, lo que permite analizar diferentes condiciones de salida.
- El sistema también incorpora una pala de arena, una espátula y un sistema de

análisis del perfil de la superficie, que se compone de un haz transversal y un profundímetro.

- El tanque se puede retirar fácilmente del armazón, el cual se puede desmontar para su almacenamiento mediante el uso de herramientas sencillas.

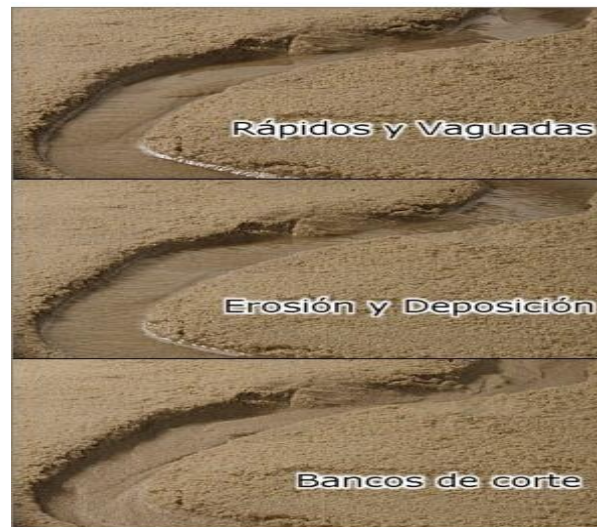


Ilustración 33. Tipos de análisis de perfiles

Especificaciones Técnicas

- Área de trabajo: 2150x900 mm
- Rango de caudales: 1,5-15 l/min
- Precisión de la medición de caudal: $\pm 2\%$ escala completa
- Ajuste de la pendiente/Pendiente de trabajo: 0-6°, 10° máx.

Alimentación

- 24 Vcc, 2,5 A

Dimensiones

- Altura: 1.02 m (hasta la parte superior del indicador de punta) - Anchura: 1.06 m - Longitud: 2.6 m
- Volumen del embalaje: 1.4 m³

Equipo 2: Unidad P/Estudiar El Flujo De Aguas Freáticas Armfield - s11.



Ilustración 34. Unidad P/Estudiar El Flujo De Aguas Freáticas Armfield – s11

Este aparato para montaje en banco es capaz de demostrar, a pequeña escala, los principios hidrológicos del flujo de aguas subterráneas y las aplicaciones de éstos a determinadas construcciones de ingeniería. Las demostraciones son de interés para geólogos y geógrafos que trabajan con el flujo de aguas subterráneas.

El equipo es de valor en cursos relacionados con la ingeniería de recursos hídricos. Se realizan fácilmente demostraciones de riesgos de avenidas asociados a obras de drenaje del suelo, el uso de pozos para la abstracción de agua, el desagüe y el drenaje de lagos y pólderes.

La Unidad de flujo de aguas subterráneas Armfield permite configurar rápidamente situaciones sencillas de flujo tridimensional y realizar mediciones de niveles piezométricos en lugares apropiados dentro del modelo.

El tanque de arena está fabricado de plástico reforzado con fibra de vidrio para conferirle una mayor durabilidad en el uso, y está montado en un bastidor de acero dulce pintado, diseñado para ser colocado en un banco de laboratorio.

En cada extremo del tanque de arena va instalada una entrada/salida de agua con difusor, con su válvula de control de flujo asociada. Esto permite establecer el nivel de agua deseado para las diversas demostraciones del flujo de agua subterránea.

Dos pozos con válvulas de control situadas en la base del tanque permiten estudios de abstracción. Diecinueve puntos de muestreo situados en la base del tanque, dispuestos en forma de cruz, están conectados a un manómetro de múltiples tubos en un lateral del tanque. Éstos indican el perfil del nivel de agua en la arena. Un cursor deslizante permite la medición de cualquier nivel.

Se suministran unos anillos cilíndricos de tamaño apropiado como accesorios para algunas de las demostraciones descritas anteriormente.

Posibilidades De Demostración

- Gradientes hidráulicos en el flujo de aguas subterráneas, incluyendo el efecto de la permeabilidad.
- Cono de depresión para un solo pozo en un acuífero libre.
- Abstracción de un solo pozo en un acuífero confinado.
- Cono de depresión para dos pozos.
- Desagüe de un lugar de excavación usando dos pozos.
- Drenaje de un polder o un lago.

Además de las demostraciones citadas, para las cuales se suministran la información didáctica y los accesorios necesarios, los docentes y estudiantes de la ingeniería de la hidrología pueden construir fácilmente modelos para el estudio de otras situaciones.

Características Técnicas

- Tanque:
 - Longitud: 990mm - Ancho: 490mm - Profundidad: 235mm
- Manómetro:
 - Intervalo: 0 a 155mm
 - Calibrado: intervalos de 1mm
- Puede demostrarse visualmente el gradiente hidráulico (Ley de Darcy) que resulta del flujo subterráneo entre dos potenciales. Los niveles existentes en los tubos piezométricos son trazados para dar un perfil lineal.

- El agua que fluye a un pozo crea una depresión en el nivel freático. El perfil del nivel freático se traza usando los niveles de los tubos piezométricos. Los resultados obtenidos pueden ser comparados con las fórmulas de Dupuit o Thiem.
- Puede obtenerse un perfil del nivel freático cuando se usan dos pozos simultáneamente. Es posible comparar el resultado con los resultados teóricos obtenidos de un solo pozo usando el método de la superposición.
- Se utiliza un anillo rectangular para formar los lados de una excavación por debajo del nivel freático. Se utilizan pozos para bajar el nivel freático en la proximidad de la excavación. De esta manera se evita que la excavación se llene de agua.
- Se utiliza un gran anillo rectangular para crear un pólder o lago. El agua que fluye a una zanja próxima al muro es drenada a través de los dos pozos. El experimento difiere del desagüe de un emplazamiento puesto que el drenaje tiene lugar desde el lecho del pólder.

Instalaciones/Servicios Requeridos

- Banco de servicios comunes F1-10-A o suministro de agua fría
- Desagüe para agua fría
- 0,1m³ de arena limpia de 0,6-2,0mm lavada y graduada

Dimensiones

- Longitud: 1.115mm - Ancho: 585mm Altura: 530mm
- Volumen del embalaje: 0,8m³

Equipo 3: Equipo P/Generar Hidrogramas De Precipitaciones Armfield - S10-A

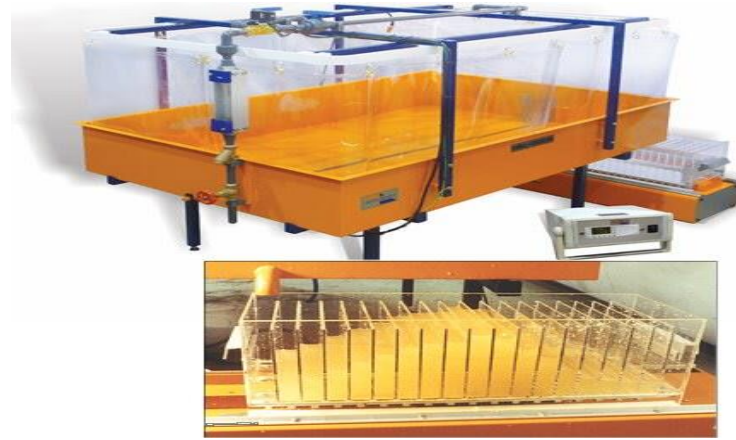


Ilustración 35. P/Generar Hidrogramas De Precipitaciones Armfield S10A

El objetivo de este aparato es demostrar, a pequeña escala, algunos de los procesos físicos que se producen en la hidrología.

Éstos se dividen en dos categorías relacionadas: la relación entre precipitaciones de lluvia y escorrentía de cuencas de captación de permeabilidad variable y la abstracción de aguas subterráneas por pozos, con o sin recarga superficial de precipitaciones de lluvia.

Por lo tanto, se refiere a esa parte del ciclo hidrológico limitada por la llegada de la precipitación neta a la superficie del suelo y la escorrentía en forma de corrientes superficiales.

Posibilidades de demostración

- Hidrogramas de tormenta de tormentas únicas o múltiples
- Hidrograma de tormenta de una cuenca de captación previamente saturada
- Esorrentía de tormenta de una cuenca de captación impermeable
- Efecto de una tormenta en movimiento sobre un hidrograma de avenidas
- Efecto del almacenamiento en embalse sobre un hidrograma de avenida

- Efecto de conductos de drenaje sobre un hidrograma de avenidas

Descripción

Las demostraciones se inician usando un tanque lleno de gravilla que incorpora un sistema de suministro de agua a la superficie de la gravilla y de medición de la escorrentía. El tanque de gravilla está fabricado en acero dulce esmaltado y descansa sobre un bastidor de acero dulce pintado.

El equipo puede ser montado en un banco o sobre el suelo del laboratorio. El agua es suministrada a dos boquillas de aspersión superior de patrón cuadrado mediante una válvula de control de flujo, un caudalímetro y una válvula de solenoide. Las cortinas transparentes retirables que rodean el tanque retienen cualquier escape de aspersión. La escorrentía es llevada a una salida situada en un extremo del tanque. Una unidad de recogida y medición está ubicada cerca de la salida del tanque. Consta de un recipiente móvil dividido internamente en diecisiete compartimentos de almacenamiento. El recipiente está montado en un plinto que incorpora un motor de transmisión y un canal central de drenaje.

Una consola de control remoto aloja un reloj de tiempo transcurrido, un temporizador electrónico y un botón que controla el agua suministrada a los cabezales de aspersión.

Un temporizador electrónico mueve el recipiente debajo de la salida del tanque a un ritmo preseleccionado. El agua recogida en el recipiente proporciona un histograma inmediato de la escorrentía como función del tiempo.

Una gama de accesorios permite efectuar demostraciones de retención superficial, efecto de almacenamiento en las depresiones del suelo y conductos de drenaje.

Éstos incluyen:

- Hoja de polietileno para cuenca de captación impermeable
- Cuatro recipientes de plástico para el almacenamiento superficial
- Tubo permeable para el dren de tubos

Especificaciones Técnicas

- Dimensiones del tanque: Longitud: 1,2m - Ancho: 0,6m - Altura: 0,2m
- Rango del medidor de caudal: 0,4 - 4,4 litros/min
- Recogedor de escorrentía: 17 compartimentos de 0,5L

Instalaciones/Servicios Requeridos

- Banco de Hidráulica (F1-10) o suministro de agua fría (se requieren 4 litros/min)
- Desagüe
- Suministro eléctrico
- 1m³ de gravilla lavada, bien graduada, tamaño 2,0 - 5,0mm

Dimensiones

- Longitud: 1,58m - Ancho: 0,9m - Altura: 1,05m
- Volumen del embalaje: 1,6m³

Equipo 4: Canal de Flujo Abierto Para Estudios De Transporte De Sedimentos Armfield

- s8-mkii-a.



Ilustración 36. Canal de Flujo Abierto Para Estudios De Transporte De Sedimentos Armfield

– S8-MKII-A.

Esta versión mejorada de la instalación didáctica de transporte de sedimentos de Armfield permite demostrar toda la gama de formas de fondo que se producen en un lecho móvil al aumentar el flujo y/o la inclinación.

El Canal puede utilizarse para realizar la mayor parte de los experimentos y demostraciones normalmente realizados en canales de flujo de laboratorio mucho más grandes, pero con un coste mucho menor y sin necesidad de la asistencia de un técnico.

El equipo es portátil, y por tanto puede utilizarse tanto en el aula como en el laboratorio.

Aunque es demasiado pequeño para aplicaciones de investigación, este canal de flujo de demostración puede tener un papel útil en cursos relativos a la mecánica del flujo en canal abierto y el transporte de sedimentos, incluyendo los impartidos en facultades de Ingeniería de Obras Públicas, Geología y Geografía Física.

Temática Abordada



Ilustración 37. Simulador de Flujo

Flujo Sobre Lecho Fijo Y Liso

El canal de flujo puede utilizarse sin sedimentos en el lecho para demostrar los siguientes fenómenos de flujo y las ecuaciones que los rigen:

- Flujo tranquilo sub-crítico - movimiento de olas en la superficie aguas arriba contra el flujo
- Flujo rápido super-crítico - dominio de las fuerzas de inercia sobre las gravitacionales, ondas de choque debido a obstrucciones en el flujo
- Salto hidráulico - transición de flujo super-crítico a sub-crítico, arrastre de aire, mezclado
- Turbulencia - visualización de flujo mediante inyección de tinte, por ejemplo, con una jeringuilla hipodérmica (no suministrada)
- Medición del flujo - usando represas de cresta aguda

- Ecuaciones que rigen el flujo en canal abierto - número de Reynolds, número de Froude, continuidad, ecuación de Bernouilli, ecuaciones de represa.

Flujo Sobre Un Lecho Móvil De Arena

Secuencia de formas de fondo asociadas a intensidad de flujo y transporte de sedimentos en aumento. Se exhiben las siguientes formas de fondo (a medida que aumenta la descarga y/o la inclinación):

- Régimen inferior
 - lecho plano (sin movimiento)
 - ondulaciones
 - ondulaciones y dunas
 - dunas
 - dunas lavadas
- Régimen superior
 - Lecho plano (con movimiento)
 - Olas estacionarias
 - Antidunas
 - Antidunas rotas
 - Canales y estanques

Mecánica De Transporte De Sedimentos

Empezando con un lecho plano sin movimiento, puede observarse el movimiento de los granos, especialmente lo siguiente:

- iniciación del movimiento
- trayectoria del movimiento inicial
- movimiento por rodamiento y deslizamiento (carga de contacto)

Se suministra un indicador de nivel de agua para medir la carga sobre la represa de descarga del canal para inferir caudales con la ayuda de una tabla de calibración. Se suministran modelos macizos de una columna de puente y una represa de paso inferior para demostrar los efectos socavantes de las estructuras artificiales en el lecho de los ríos:

- movimiento por saltación (carga de saltación)
- movimiento por suspensión (carga en suspensión)

Características De Deposición Y Facies

Es posible observar la deposición de la carga de sedimentos e identificar los patrones resultantes de granos dentro de la masa de arena (por ejemplo, estratificación cruzada, capas de serie frontal, etc.). Puede comentarse la importancia de estas características cuando son halladas en registros geológicos.

Socavación Local

Se observa socavación bajo remolinos y vórtices en el flujo en las formas de fondo de régimen superior e inferior. Es posible introducir obstrucciones artificiales para representar pilares de

puentes, pedraplenes, zapatas de asiento u otras estructuras artificiales, y examinarse el patrón de socavación resultante. Se incluyen dos modelos de este tipo.

Estructuras De Flujo

También puede examinarse la estructura de la turbulencia en el flujo usando la inyección de tinte (inyector de tinte no incluido). Esto es especialmente interesante en el caso de la configuración de formas de fondo con dunas, y demuestra claramente la separación en la cara de sotavento.

Histéresis De La Forma De Fondo

Si la descarga del canal de flujo cambia rápidamente, no hay tiempo suficiente para que las formas de fondo se ajusten al nuevo régimen de flujo. Así, si se simula un hidrograma de avenidas aumentando y luego reduciendo la descarga, se producirán diferentes profundidades (etapas) para la misma descarga en los periodos de ascenso y descenso. Este efecto es sumamente importante para estaciones de medición en ríos de lecho de arena. Se demuestra fácilmente y de forma clara en el canal de flujo.

Trabajos Computacionales

Además de ilustrar fenómenos de flujo y sedimento, el canal de flujo puede utilizarse para la recogida básica de datos y la evaluación numérica de:

Resistencia al flujo

- Manning, Chezy y Darcy

- factores de fricción de Weisbach para diversas configuraciones de formas de fondo

Predicción de formas de fondo

- Diagrama de Hjulstrom (velocidad)
- Diagrama de Bogardi (parámetro de Shields)
- Gráficos de Simons y Richardson (Potencia de corriente)
- Gráfico de Leeder (tensión de cizalladura del límite)

Iniciación del movimiento

- Curva de Hjulstrom
- Diagrama de Shields

Flujo Sobre Un Lecho Fijo De Gravilla

El canal de flujo no puede transportar gravilla, pero sí puede ser utilizado para investigar la resistencia al flujo en ríos con lecho de gravilla o de pólder. Los coeficientes de resistencia al flujo pueden calcularse usando ecuaciones (tales como las de Bray, Limerinos, Hey, Lacey, Thompson y Campbell y Bathurst), comparándose los resultados con los valores reales obtenidos de la observación. Se recomienda que los usuarios obtengan la gravilla localmente (Armfield no puede suministrar gravilla).

Formas De Fondo En Arena

A medida que el agua fluye sobre la arena en un río o en una playa, ejerce una fuerza de cizalladura sobre el lecho. Si el flujo es suficientemente fuerte, los granos de arena son

levantados y ruedan y botan por el fondo. La forma del lecho responde a este movimiento transformándose en ondulaciones. A medida que aumenta la energía del flujo y la velocidad de transporte de arena, las formas de fondo se modifican. Las ondulaciones son sustituidas por dunas más grandes.

Con energías aún mayores, las dunas son lavadas y se produce un lecho plano, y en flujos extremadamente energéticos, aparecen antidunas.

Las formas de fondo son importantes por su efecto sobre el flujo de agua y el movimiento de sedimentos en los ríos y en las playas. También se producen en los desiertos, debido al desplazamiento de la arena por el viento.

Las formas de fondo son preservadas cuando los depósitos de arena se convierten en piedra arenisca por procesos geológicos. Se utilizan para reconstruir el entorno y las condiciones en los que se depositó la arena.

Descripción Del Equipo

La unidad consta de un canal inclinable montado en una placa base, junto con un tanque de descarga y bomba de recirculación.

Para comenzar una demostración, se coloca arena de forma homogénea a lo largo del lecho del canal, entre el tanque de entrada y la represa de descarga de paso superior.

Se hace circular agua por el sistema a uno de los tres caudales seleccionables.

La inclinación de canal se ajusta mediante un tornillo de elevación de ajuste fino al cual está acoplado un indicador preciso de inclinación.

Los lados del canal son transparentes a fin de poder observar con claridad el perfil del lecho, y una sección de uno de los laterales lleva una retícula gráfica para permitir evaluaciones cuantitativas de la dinámica de la forma de fondo.

Especificaciones Tipo Pliego

Un canal de flujo transparente e inclinable a través del cual una bomba recircula agua sobre un lecho móvil para demostrar toda la gama de formas de fondo, desde el movimiento incipiente de las partículas hasta el lavado del lecho.

Puede seleccionarse (y medirse) el caudal de descarga entre tres opciones en el intervalo de 0,2 a 0,6 litros/seg.

La inclinación del canal puede ajustarse del 0 al 10%. La sección de trabajo del canal tiene 1,55m de largo, 78mm de ancho y 110mm de profundidad. El equipo es autónomo y su portabilidad permite montarlo en un banco, en el aula o en el laboratorio.

Se incluyen un modelo de represa de paso inferior y de columna de puente para demostraciones de erosión local.

Se suministra un indicador de nivel de agua para la calibración de la represa de paso superior.

Especificaciones técnicas

- Sección de trabajo del canal: Longitud: 1,55m - Ancho: 78mm - Profundidad: 110mm
- Caudal de descarga: 3 caudales fijos entre 0,2 y 0,6 litros/seg, seleccionados por un interruptor en la bomba

- Inclinación: 0 a 10%
- Diámetro del sedimento: 0,1 a 0,3mm
- Peso de la arena suministrada: 15kg
- Peso [incluyendo arena y agua]: 74 kg

Instalaciones y suministros requeridos

- Primer llenado de agua (aprox. 22 litros)
- Suministro eléctrico monofásico

Dimensiones

- Altura: 1,1m (hasta la parte superior del indicador de punta) - Ancho: 0,4m

Longitud: 2,5m

- Volumen del embalaje: 0,6m³

Equipo 5: Sistema Para Estudios Hidrológicos Avanzados C/Instrumentación Conectada

A Pc Armfield - S12-Mkii-50-A



Ilustración 38. Sistema Para Estudios Hidrológicos Avanzados Conectada a PC Armfield-S12-MKII-50-A

Este aparato demuestra algunos de los procesos físicos más importantes encontrados en la hidrología y la geomorfología fluvial, incluyendo: hidrogramas de precipitaciones de lluvia para cuencas de captación de diferente permeabilidad; la abstracción de aguas subterráneas por pozos, con y sin recarga superficial aportada por precipitaciones de lluvia; la formación de características de ríos y los efectos del transporte de sedimentos.

Pueden obtenerse resultados realistas con este aparato de suelo de pequeña escala, fácil de ubicar y que no requiere ningún servicio especial.

- Un tanque de entrada amortiguado proporciona condiciones de flujo de río desarrollado, permitiendo utilizar la longitud total del tanque para simulaciones de río
- Tanque de salida de diseño novedoso para la medición del flujo de agua y el flujo de sedimentos
- Tanque de arena de acero inoxidable
- Dos tornillos de ajuste para ajustar la inclinación
- Boquillas de aspersión de altura ajustable

- El uso de arena de grano fino permite el modelado de características detalladas
- Un único grado de arena para todas las demostraciones definidas, sin necesidad de cambiar la arena
- Control y medición de flujos de entrada
- Configuración flexible que permite una amplia gama de simulaciones
- Configuración flexible que permite una amplia gama de simulaciones
- Opción de registro de datos en computadora para la medición del flujo de salida de agua y sedimentos

Detalle de la Instrumentación

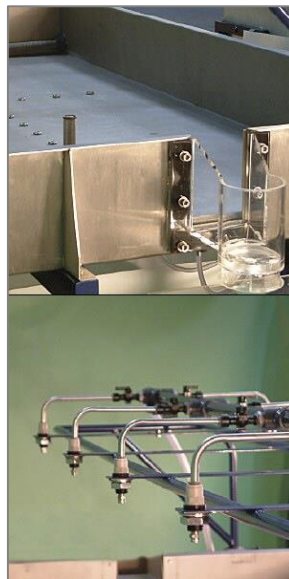


Ilustración 39. Detalle de la Instrumentación del equipo.

- El sistema mide electrónicamente:

- Presión estática del agua (con un sensor de presión)
- Peso total del agua y arena recogidas en el tanque de salida (con una celda de carga)
- A partir de las mediciones calcula:
 - Nivel del agua
 - Caudal de agua, por su elevación sobre una placa aforadora
 - Caudal de sedimento, como diferencia entre la velocidad de variación de peso del tanque (que recibe agua y sedimentos) y el caudal de agua
- Se incluye un software con textos de ayuda, generación de gráficos, etc (requiere que el usuario cuente con una PC bajo Windows con, al menos, un puerto USB libre).

Posibilidades de Investigación

- Determinación de hidrogramas de escorrentía en modelos de cuencas de captación, incluyendo múltiples tormentas, tormentas en movimiento, y los efectos del almacenamiento superficial y los conductos de drenaje
- Construcción de curvas de descenso de nivel para uno o dos sistemas de pozo en un lecho arenoso
- Gradientes hidráulicos en el flujo de aguas subterráneas. Investigación del flujo de corrientes modelo en material aluvial.
- Formación de características de ríos y su desarrollo en el tiempo
- Transporte de sedimentos, movimiento de carga sólida, socavación y erosión

Descripción del Equipo

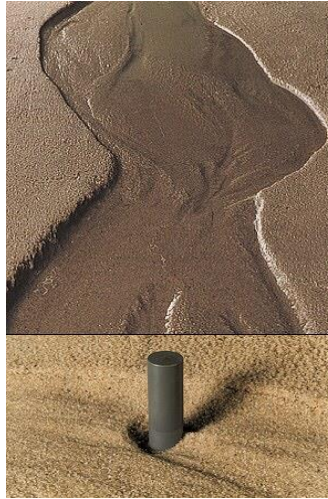


Ilustración 40. Tanque de Arena.

La unidad consta de un tanque de arena, fabricado en acero inoxidable, de 2 metros por 1 metro. El agua puede entrar en el tanque de arena desde unas boquillas de aspersion ubicadas sobre del tanque (simulando precipitaciones de lluvia), desde un tanque de entrada que simula el flujo de un río, o desde dos desagües franceses enterrados en la arena en cada extremo del tanque. La salida del agua es desde un sistema de tanque de salida y sistema de medición de caudal ubicado en un extremo del tanque de arena principal, desde uno de los dos pozos ubicados en el tanque, o desde ambos, o desde uno de los desagües franceses, o desde ambos. Debajo del tanque de arena está ubicado un gran depósito de plástico.

Los niveles de agua subterránea (superficie freática) se miden a través de veinte puntos de muestreo situados en el tanque de arena, configurados en cruz, y mostrados en un banco de manómetros.

Hay ocho boquillas de aspersion de acero inoxidable montadas sobre un puente por encima del tanque de arena, ubicadas de tal forma que la distribución es homogénea en toda la superficie del

tanque. La altura del puente es fácilmente ajustable. Cada boquilla dispone de su propia válvula de conexión/desconexión, lo que permite simular una gran variedad de patrones de precipitaciones de lluvia en movimiento.

El tanque de entrada del río utiliza bolas de vidrio para amortiguar el flujo, y una sección de canal perfilado proporciona condiciones de flujo formado al tanque de arena.

Las entradas de flujo subterráneo se realizan mediante dos desagües franceses, enterrados en la arena en cada extremo del tanque. Estos desagües franceses cubren la anchura completa del tanque. Cada desagüe puede configurarse como entrada o como salida para permitir una gran variedad de demostraciones hidrológicas.

Se utilizan dos caudalímetros de área variable con válvulas ajustables integradas para controlar y medir los diferentes flujos al tanque. El uso de acoplamientos de liberación rápida autosellantes permite configurar el sistema de varias maneras diferentes, lo que permite una gran variedad de demostraciones. Los dos caudalímetros tienen diferentes rangos, potenciando aún más la flexibilidad del sistema en su conjunto. Las líneas de suministro de agua incorporan reguladores de presión y filtros, minimizando interrupciones del sistema. El tanque de salida está ubicado en un extremo del tanque de arena, y se utiliza para demostraciones de hidrogramas, escorrentía y la formación de ríos. Se utiliza una represa escalonada para ajustar las condiciones de salida. (Cuando se realizan demostraciones del nivel freático, esta represa escalonada es sustituida por una placa sellante.)

El tanque de salida consta de un desarenador, un sistema de amortiguación de agua y un dispositivo de medición de caudal. La medición de flujo se realiza midiendo la altura del agua que fluye por encima de la represa de salida, usando un manómetro inclinado de lectura directa.

El desarenador está configurado para permitir recoger el sedimento en una criba. De esta manera, es posible medir la cantidad de sedimento recogido en un periodo de tiempo determinado.

Esta versión incluye instrumentación adicional y un sistema de registro de datos que se utiliza para medir tanto el flujo de agua como el de sedimento. Este sistema funciona midiendo el peso de la arena y agua recogidas en el tanque de salida, y calculando el caudal de sedimento a partir de la velocidad de cambio de este peso. Se suministra completo con software educativo, textos de ayuda, ploteado de gráficos, etc., y requiere una PC a suministrarse por el usuario.

Con el código S12-MODELS se ofrece un conjunto adicional opcional de formas y modelos para usar en la investigación de superficies.

Dimensiones

- Longitud 2,7 m - Anchura 1,3 mm - Profundidad 1,7 m
- Volumen del embalaje: 7,5m³

Equipo 6: Aparato P/Estudios De Drenaje Y Filtración Armfield - S1-A.

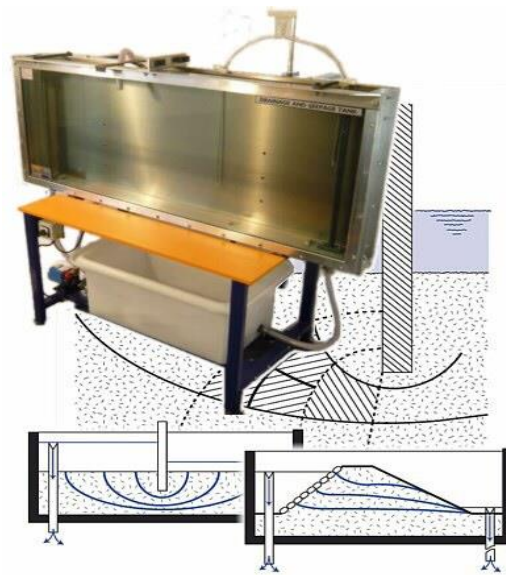


Ilustración 41. Aparato P/Estudios De Drenaje y Filtración Armfield-S1-A.

Unidad autónoma para el estudio del flujo a través de medios permeables, con sección útil de 150 x 100 x 600mm.

El tanque tiene un panel delantero de vidrio endurecido y un panel trasero de aluminio para permitir la inserción de puntos de muestreo de presión según sea necesario (a su salida de la fábrica, este panel cuenta con 6 puntos de muestreo).

El diseño de los soportes laterales permite el acceso libre al interior con mínimas obstrucciones para la visualización.

El equipo incluye depósito, bomba, válvula de arranque y control. También se suministra un sistema de inyección de tinte y un surtido de modelos.

El completo manual de instrucciones incluye hojas de datos y experimentos para los estudiantes:

- Visualización de la línea de flujo
- Construcción de red de flujo
- Determinación de tasas de filtración
- Verificación de la Ley de Darcy
- Comparación de resultados experimentales con soluciones analíticas
- Filtración debajo de una pantalla de tablestacas.
- Filtración a través de una presa de tierra
- Control de filtración a través de suelos permeables mediante drenaje del subsuelo
- Distribución de la subpresión en estructuras hidráulicas
- Reducción de la subpresión y del empuje lateral mediante drenaje
- Formación y comportamiento de las arenas movedizas

- Estabilidad de una presa de tierra
- Drenaje de un lugar de excavación usando pozos

Accesorios básicos

- Placa de presión de cimentaciones
- Membrana permeable recta
- Membrana permeable curva
- Placa de presión lateral
- Drenaje

Instalaciones/Servicios Requeridos

Suministro eléctrico: 220/240V, monofásico, 50Hz

Dimensiones

Longitud: 1,60m - Ancho: 0,60m - Altura: 1,45m

Datos relevantes para el Cálculo del Fletes

Volumen: 2,4m³

Peso bruto: 270kg

Anexo 2

Instructivos De Laboratorio Para El Curso De Hidrología Del Programa De Ingeniería Ambiental De La Universidad Católica de Manizales.

Se adjuntan los instructivos de los laboratorios en la Carpeta con el nombre ANEXO 2.