

HIDRÁULICA DE TUBERÍAS
ICYA-4704

PRIMER SEMESTRE DE 2026

PROFESOR: Juan Saldarriaga
jsaldarr@uniandes.edu.co
Profesor Titular
Investigador Emérito Minciencias
OFICINA ML-732

FILOSOFÍA DEL CURSO

El objetivo del curso de Hidráulica de Tuberías es introducir al estudiante en los conceptos teóricos del flujo a presión en tuberías, enmarcados en su desarrollo histórico, para llegar a plantear las ecuaciones y metodologías que permiten el diseño de sistemas para el movimiento de fluidos a través de tuberías simples. Dichas metodologías de diseño son aplicables a cualquier tipo de fluido newtoniano incompresible, a pesar de que en el curso se hace énfasis en el fluido agua. Una vez establecidas estas ecuaciones y metodologías, el curso se dedica a establecer la forma de utilizarlas para sistemas complejos de tuberías: tuberías en serie y en paralelo, sistemas de bombeo, redes abiertas de tuberías, sistemas de distribución de agua potable. Se hace énfasis en metodologías de cálculo, de diseño, de calibración de sistemas existentes y de operación de dichos sistemas, tomando como ejemplo el caso de las redes de distribución de agua potable. En particular, el curso introduce el tema del diseño optimizado de sistemas de tuberías con base en técnicas de Inteligencia Artificial. El estudiante tiene la oportunidad de aprender sobre Algoritmos genéticos, Lógica Difusa, Sistemas Expertos y otros tipos de heurísticas que son aplicables a diferentes casos de la Ingeniería Civil. El curso de Hidráulica de Tuberías está basado en clases magistrales, en lecturas complementarias y en la realización, por parte del estudiante, de una serie de ejercicios y un proyecto final, todos con base en programas computacionales. El propósito de las clases magistrales es el de establecer los fundamentos físicos y matemáticos de la mecánica del movimiento del agua en las tuberías, así como las metodologías y tecnologías de Sistemas de Información más utilizadas hoy en día para diseño y operación de redes de tuberías. Para lograr un total entendimiento del curso es necesario complementar las clases con las lecturas recomendadas en este programa, en particular las del texto del curso.

METAS DE APRENDIZAJE

El curso de Hidráulica de Tuberías es un curso profesional avanzado del área de Recursos Hidráulicos del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, de mucha importancia para las carreras de Ingeniería Civil y de Ingeniería Ambiental. Por consiguiente, las metas de aprendizajes están caracterizadas por facilitar la realización de diseños de ingeniería de avanzada. Entre dichas metas se incluyen las siguientes: Capacidad de aplicar conocimientos de matemáticas, ciencias e ingeniería; capacidad de diseñar un sistema para cumplir con necesidades deseadas dentro de restricciones realistas económicas, ambientales, de factibilidad y de sostenibilidad; capacidad para identificar, formular y resolver problemas de ingeniería; responsabilidad profesional y ética; reconocimiento de la necesidad de desarrollar una capacidad de aprendizaje continuo; y capacidad de usar técnicas, destrezas y herramientas modernas para la práctica de la ingeniería.

PROGRAMA DEL CURSO

FECHA	TEMA	REFERENCIAS
<u>Primera Parte: Tuberías Simples</u>		
Enero 21	Introducción. Hidráulica del flujo a presión. Flujo laminar. Flujo turbulento. Experimento de Reynolds.	R1:6.1 / R2: Cap. 9 B14, B16
Enero 26	Número de Reynolds. Pérdidas por fricción. Esfuerzo de Reynolds. Longitud de mezcla. Interacción flujo-pared sólida.	R1:6.7-6.8 R2: Cap. 9 / B16
Enero 28	Distribución de esfuerzo y de velocidades en tuberías. Perfiles de velocidad.	R1: Cap.6 R2: Cap.9 / B16
Febrero 2	Ecuaciones para el diseño de tuberías. Flujo laminar. Ecuación de Hagen-Poiseuille. Flujo turbulento. Ecuación de Darcy-Weisbach. Ecuaciones explícitas para el cálculo del factor de fricción.	R1: Cap. 6 R2: Cap. 9 B16
Febrero 4	Diagramas de Nikuradse y Moody. Ecuaciones generales para la fricción en tuberías. Ecuaciones de Prandtl-von Kármán. Ecuación de Colebrook- White.	R1: Cap. 12 R2: Cap. 9 B19
Febrero 9	Tipos de problemas en hidráulica del flujo a presión. Cálculo del factor de fricción. Diseño de tuberías simples.	R1: Cap. 12 R2: Cap. 9 B10
Febrero 11	Diseño de tuberías simples con altas pérdidas menores. Ecuaciones empíricas para la fricción en tuberías: Ecuaciones de Moody, Wood y Barr. CLASE VIRTUAL	R1: Cap. 12 R2: Cap. 9 B15 / B19
Febrero 16	Laboratorio sobre experimento de Reynolds, perfiles de velocidad y pérdidas de energía en tuberías	
Febrero 18	Ecuación de Hazen-Williams. Comparación con otras ecuaciones.	R1: Cap. 12 R2: Cap. 9 B11 / B20
Febrero 23	Bombas rotodinámicas. Efecto sobre la línea de energía total. Curvas del sistema y de la bomba. Escogencia de bombas. CLASE VIRTUAL.	R1: Cap. 11 R2: Cap. 15 B4 / B7
Febrero 25	Diseño de tuberías incluyendo la operación de bombas. Efectos económicos. Problemas de diseño.	R1: Cap.11 R2: Cap. 15/B4 / B7
Marzo 2	PRIMER EXAMEN PARCIAL	

Segunda Parte: Sistemas de Tuberías

Marzo 4	Tuberías en serie: Comprobación de diseño, potencia y diseño.	R1: Cap. 12 R2: Cap. 9
Marzo 9	Diseño de tuberías en serie. Tuberías porosas.	R1: Cap. 12 R2: Cap. 9
Marzo 11	Tuberías en paralelo: Comprobación de diseño y diseño.	R1: Cap. 12 R2: Cap. 9

Tercera Parte: Redes de Tuberías

Marzo 25	Diseño de tuberías matrices. Método del balance de alturas piezométricas en el nodo. CLASE VIRTUAL	R1: Cap. 12 R2: Cap. 9
Marzo 27	Diseño de tuberías matrices incluyendo la operación de Bombas Algoritmos de diseño.	R1: Cap. 12 R2: Cap. 9 / B10
Abril 6	Redes cerradas. Ecuaciones de caudal y de altura.	B10
Abril 8	Método de Hardy-Cross con corrección de caudales.	B10
Abril 13	Método de Hardy-Cross con corrección de alturas en los nodos.	B10
Abril 15	Redes cerradas. Cálculo usando el método de Newton-Raphson.	B10
Abril 20	Método de teoría lineal para redes cerradas. CLASE VIRTUAL.	B2 / B3 / B10
Abril 22	Cálculo de redes de tuberías utilizando el método del gradiente.	B17 / B18
Abril 27	Método del gradiente. Programa REDES. CLASE VIRTUAL.	B12 / B17 / B18
Abril 29	SEGUNDO EXAMEN PARCIAL	

Cuarta Parte: Análisis Avanzado de Redes De Distribución de Agua Potable

Mayo 4	Diseño optimizado de RDAP. Ecuaciones de costo. Superficie de gradiente hidráulico	B12 / B17 / B18
Mayo 6	Diseño optimizado de RDAP. Algoritmos genéticos.	B12 / B17 / B18
Mayo 11	Otras heurísticas para el diseño de RDAP.	B12 / B17 / B18
Mayo 13	Aspectos modernos en el diseño de RDAP.	B12 / B17 / B18
Mayo 15	Programa EpaNET.	
Mayo 22	EXAMEN FINAL	

TEXTO DEL CURSO

"HIDRÁULICA DE TUBERÍAS, ABASTECIMIENTO, REDES, RIEGOS". Juan G. Saldarriaga. Cuarta edición. Editorial Marcombo, Editorial Alfaeditorial. Bogotá D.C., Colombia. 2022.

REFERENCIAS

1. "FLUID MECHANICS; FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS". Yunus A. Cengel, John M. Cimbala. McGraw-Hill Editors; Cuarta edition. New York, New York. 2018.
2. "FLUID MECHANICS". Frank M. White. McGraw-Hill Editors; Sixth Edition. New York, 2008.
3. "WATER SUPPLY AND SEWERAGE". Terence J. McGhee. Editorial McGraw-Hill; Sexta edición. New York, 1991.
4. "REGLAMENTO TECNICO DEL SECTOR AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO - RAS 98". Resolución 799 del 2021. del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería.

BIBLIOGRAFÍA HISTÓRICA

1. *"Modeling Pipe Networks Dominated by Junctions"*. D. J. Wood, L. Srinivasa, J. E. Funk. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE. Volume 119, Number 8. August de 1993.
2. *"Hydraulic Network Analysis Using Linear Theory"*. D. J. Wood, C. A. O. Charles. Journal of the Hydraulics Division, ASCE. Volume 98, Number HY7. July de 1972.
3. *"Linear Theory Methods for Pipe Network Analysis"*. L. T. Isaacs, K. G. Mills. Journal of the Hydraulics Division, ASCE. Volume 106, Number HY7. July de 1980.
4. *"Optimal Pump Operation in Water Distribution"*. A. J. Tarquin, J. Dowdy. Journal of the Hydraulics Division, ASCE. Volume 115, Number 2. February de 1989.
5. *"Explicit Calculation of Pipe Network Parameters"*. P. F. Boulos, D. J. Wood. Journal of the Hydraulics Division, ASCE. Volume 116, Number 11. November de 1990.
6. *"Methods for Analyzing Pipe Networks"*. H. Bruun Nielsen. Journal of the Hydraulics Division, ASCE. Volume 115, Number 2. February 1989.
7. *"Hydraulics of Pipelines, Pumps, Valves, Cavitation, Transients"*. Chapters 2 y 3. J. P. Tullis. Editorial Wiley Interscience. USA, 1989.
8. *"Fluid Mechanics with Engineering Applications"*. R. L. Daugherty, J. B. Franzini, E. J. Finnemore. Octava edición. Capítulo 17. Editorial McGraw-Hill. New York, 1985.
9. *"Pipeline Design for Water Engineers. Developments In Water Science"*. D. Stephenson. Tercera edición. Chapter 3. Editorial Elsevier Amsterdam, 1989.
10. *"Computational Methods in the Analysis and Design of Closed Conduit Hydraulics Systems. Developments in Hydraulic Engineering I"*. R. E. Featherstone. Edited by P. Novak. Chapter 3. Applied Science Publishers. Londres, 1983.
11. *"Design, Expansion and Rehabilitation of Water Distribution Networks Aimed to Reducing Water Losses. Where Are We?"*. E. Todini. Proceedings of the 10th International Water Distribution System Analysis Conference. Kruger National Park, South Africa. 2008.
12. *"Design Of Drip Irrigation Main Lines"*. I-pai Wu. Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE. Volume 101, Number IR4. March de 1975.
13. *"Optimal Diameter Selection for Pipe Networks"*. R. E. Featherstone, K. K. El-Jumaily. Journal of the Hydraulics Division, ASCE. Volume 109, Number 2. February de 1983.
14. *"The History of the Poiseuille's Law"*. Salvatore P. Sutera. Annual Review of Fluid Mechanics. Number 25, pages. 1-19. 1993.
15. *"Some Solution Procedures for the Colebrook-White Function"*. D. I. Barr. International Waterpower and Dam Construction. December 1976.
16. *"Turbulent Flow in Pipes: A Historic Speculation"*. G. D. Matthew. Paper 10073. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Water Maritime and Energy. December de 1994.
17. *"Comparison of the Gradient Method with Some Traditional Methods for the Analysis of Water Supply Distribution Networks"*. R. Salgado, E. Todini, P. E. O'Connell. International Conference on Computer Applications for Water Supply and Distribution. Leicester, U. K. September de 1987.
18. *"Extending the Gradient Method to Include Pressure Regulating Valves in Pipe Networks"*. R. Salgado, E. Todini, P. E. O'Connell. International Conference on Computer Applications for Water Supply and Distribution. Leicester, U. K. September de 1987.
19. *"An Approximate Formula for Pipe Friction Factors"*. Lewis F. Moody. Transactions of the American Society of Mechanical Engineers. Volume 66, pages. 671-684. 1944.
20. *"The Limits of Applicability of the Hazen-Williams Formula"*. M. H. Diskin. La Houille Blanche. Number 6. November de 1960.

BIBLIOGRAFÍA CIACUA

1. *"A new methodology for the optimal design of series of pipes in sewer systems"*. Natalia Duque, Daniel Duque, Juan Saldarriaga. *Journal of Hydroinformatics*, IWA Publishing. DOI: 10.2166/hydro.2016.105.

2. “A Direct Approach for the Near-Optimal Design of Water Distribution Networks Based on Power Use”. Juan Saldarriaga, Diego Páez, Camilo Salcedo, Paula Cuero, Laura Lunita López, Natalia León, David Celeita. *Water* 2020, 12(4), 1037; Received: 7 February 2020 / Revised: 19 March 2020 / Accepted: 24 March 2020 / Published: 6 April 2020. <https://doi.org/10.3390/w12041037> (registering DOI). ISI Periodical.
3. “Use of Energy-Based Domain Knowledge as Feedback to Evolutionary Algorithms for the Optimization of Water Distribution Networks”. Diego Páez, Camilo Salcedo, Jorge Garzón, María González, Juan Saldarriaga. *Water* 2020, 12 (11), 3101; Received: 18 October 2020 / Accepted: 28 October 2020 / Published: 4 November 2020. <https://doi.org/10.3390/w12113101> (registering DOI). ISI Periodical.
4. “On the Evolution of the Optimal Design of WDS: Shifting towards the Use of a Fractal Criterion”. Juan Saldarriaga, Camilo Salcedo, María Alejandra González, Catalina Ortiz, Federico Wiesner, Santiago Gómez. *Water* 2022, 14, 3795; Received: 1 October 2022 / Accepted: 18 November 2022 / Published: 22 November 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/w14233795>. ISI Periodical.
5. “Fractal Analysis of the Optimal Hydraulic Gradient Surface in Water Distribution Networks”. Andrés Jaramillo, Juan Saldarriaga. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Volume 148 Issue 6, American Society of Civil Engineers, ASCE. WRENG-5292R3 DOI:10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001608. ISI Periodical.
6. “Application of Black-box Models Based on Artificial Intelligence for the Prediction of Chlorine and TTHMs in the Trunk Network of Bogotá, Colombia”. Laura Enríquez, Laura González, Juan Saldarriaga. *Journal of Hydroinformatics*. 1 July 2023. DOI: 10.2166/hydro.2023.028. ISI Periodical.
7. “Using symbolic machine learning to assess and model substance transport and decay in water distribution networks”. Daniele Biagio Laucelli, Laura Enríquez, Juan Saldarriaga, Orazio Giustolisi. *NATURE Scientific Reports*. 8 February 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-53746-1>. ISI Periodical.
8. “The Effects of Minimum Cost Optimization in Water Distribution Networks on Residual Chlorine and Trihalomethanes Dynamics”. Laura González, Sergio Serrano, Valeria Rodríguez, Daniel Álvarez, María Alejandra González, Jaime Plazas-Tuttle: Daniele B. Laucelli, Juan Saldarriaga. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Volume 151 Issue 10: 04025049, American Society of Civil Engineers, ASCE. WRENG-6727R3. <https://doi.org/10.1061/JWRMD5.WRENG-6727>. ISI Periodical.

EVALUACIÓN DEL CURSO

PRIMER EXAMEN PARCIAL	20 %
SEGUNDO EXAMEN PARCIAL	20 %
EXAMEN FINAL	25 %
TAREAS	10 %
PROYECTO FINAL	25 %
TOTAL	100 %

NOTA 1: En caso de que el estudiante considere que existe un error en las calificaciones parciales, podrá hacer el reclamo correspondiente, dentro de las fechas estipuladas en el Reglamento General de Estudiantes.

NOTA 2: Una vez establecidas las fechas definitivas para las entregas de tareas e informes de laboratorio, incluyendo la hora de entrega, éstas se deberán respetar. No se recibirán trabajos entregados posteriormente.

NOTA 3: En algunas ocasiones será necesario cambiar las fechas propuestas para tareas o exámenes; estos cambios obedecen a razones de fuerza mayor. De todas formas, los cambios de fechas serán avisados por el profesor con suficiente antelación.

NOTA 4: En caso de que un estudiante no pueda, **con causa justificada**, presentar alguno de los exámenes del curso, para el cálculo de la nota definitiva el porcentaje de peso del examen no presentado se repartirá proporcionalmente entre las demás calificaciones del curso.