

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

HIDRÁULICA DE TUBERÍAS
ICYA-4704

PRIMER SEMESTRE DE 2020

PROFESOR: Juan Saldarriaga
jsaldarr@uniandes.edu.co
Profesor Titular
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, sistemas de riego localizado de alta frecuencia y redes internas en edificaciones. 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 otros 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. Adicionalmente se tienen metas de aprendizajes más generales, entre las que se incluyen: Capacidad de comunicación efectiva en ingeniería; capacidad de trabajar en equipo.

PROGRAMA DEL CURSO

| FECHA | TEMA | REFERENCIAS |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| <i>Primera Parte: Tuberías Simples</i> | | |
| Enero 20 | Introducción. Hidráulica del flujo a presión. Flujo laminar. Flujo turbulento. Experimento de Reynolds. | R1:6.1 / R2: Cap. 9 B14, B16 |
| Enero 22 | 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 27 | Distribución de esfuerzo y de velocidades en tuberías. Perfiles de velocidad. | R1: Cap.6 R2: Cap.9 / B16 |
| Enero 29 | 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 03 | 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 05 | 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 10 | 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 12 | Laboratorio sobre experimento de Reynolds, perfiles de velocidad y pérdidas de energía en tuberías | |
| Febrero 17 | Ecuación de Hazen-Williams. Comparación con otras ecuaciones. | R1: Cap. 12 R2: Cap. 9 B11 / B20 |
| Febrero 19 | 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 24 | Diseño de tuberías incluyendo la operación de bombas. Efectos económicos. Problemas de diseño. | R1: Cap.11 R2: Cap. 15/B4 / B7 |
| Febrero 26 | PRIMER EXAMEN PARCIAL | |

Segunda Parte: Sistemas de Tuberías

| | | |
|---------|---------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Marzo 2 | Tuberías en serie: Comprobación de diseño, potencia y diseño. | R1: Cap. 12 R2: Cap. 9 |
| Marzo 4 | Diseño de tuberías en serie. Tuberías porosas. | R1: Cap. 12 |
| Marzo 9 | Tuberías en paralelo: Comprobación de diseño y diseño. | R1: Cap. 12 R2: Cap. 9 |

Tercera Parte: Redes de Tuberías

| | | |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Marzo 11 | Diseño de tuberías matrices. Método del balance de alturas piezométricas en el nodo. CLASE VIRTUAL | R1: Cap. 12 R2: Cap. 9 |
| Marzo 25 | Diseño de tuberías matrices incluyendo la operación de Bombas Algoritmos de diseño. Redes cerradas: Principios básicos. | R1: Cap. 12 R2: Cap. 9 / B10 |
| Marzo 30 | Método de Hardy-Cross con corrección de caudales. Método de Hardy-Cross con corrección de cabezas. | B10 |
| Abril 1 | Redes cerradas. Diseño utilizando el método de Newton-Raphson. | B10 |
| Abril 13 | Método de teoría lineal para redes cerradas. CLASE VIRTUAL. | B2 / B3 / B10 |
| Abril 15 | Diseño de redes de tuberías utilizando el método del gradiente. | B17 / B18 |
| Abril 22 | Método del gradiente. Optimización de redes. Programa REDES. CLASE VIRTUAL. | B12 / B17 / B18 |

Cuarta Parte: Sistemas de Riego Localizado de Alta Frecuencia (RLAF)

| | | |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Abril 27 | Sistemas de riego con flujo a presión. Tipos y clasificación Emisores finales. Generalidades | R3: Cap. 9 R4: Cap. 3 |
| Abril 29 | Sistemas de riego por goteo. Goteo normal y goteo autocompensado. Sistemas de riego por aspersión, microaspersión y nebulización. | R3: Cap. 9 R4: Cap. 3 |
| Mayo 4 | SEGUNDO EXAMEN PARCIAL | |
| Mayo 6 | Composición de una red de riego. Módulos, submódulos, tuberías secundarias, tubería principal. | |
| Mayo 11 | Diseño hidráulico de los submódulos. El programa RIEGOS. | |
| Mayo 13 | Diseño de las tuberías secundarias y principal. | |
| Mayo 27 | Introducción al manejo de EPANet | |

TEXTO DEL CURSO

"HIDRÁULICA DE TUBERÍAS, ABASTECIMIENTO, REDES, RIEGOS". Juan G. Saldarriaga. Cuarta edición. Editorial Alfaomega. Bogotá D.C., Colombia. 2019.

REFERENCIAS

1. "FLUID MECHANICS; FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS". Yunus A. Cengel, John M. Cimbala. McGraw-Hill Editors; Cuarta edición. New York, New York. 2016.
2. "FLUID MECHANICS". Frank M. White. McGraw-Hill Editors; Sixth Edition. New York, 2008.
3. "IRRIGATION PRINCIPLES AND PRACTICES". Vaughn E. Hansen, Orson W. Israelsen, Geln E. Stringham. Editorial Wiley; Cuarta edición. New York, 1979.
4. "RIEGO POR GOTEO". Florencio Rodríguez Suppo. Editorial AGT Editor S.A.; Primera edición. México, 1982.
5. "WATER SUPPLY AND SEWERAGE". Terence J. McGhee. Editorial McGraw-Hill; Sexta edición. New York, 1991.

6. "REGLAMENTO TECNICO DEL SECTOR AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO - RAS 98". Resolución 822 del 6 de Agosto de 1998 del Ministerio de Desarrollo Económico. Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería. Agosto de 1998. Versión definitiva: RAS 2000, Noviembre de 2000.

BIBLIOGRAFÍA

1. "MODELING PIPE NETWORKS DOMINATED BY JUNCTIONS". D. J. Wood, L. Srinivasa, J. E. Funk. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE. Volumen 119, Número 8. Agosto de 1993.
2. "HYDRAULIC NETWORK ANALYSIS USING LINEAR THEORY". D. J. Wood, C. A. O. Charles. Journal of the Hydraulics Division, ASCE. Volumen 98, Número HY7. Julio de 1972.
3. "LINEAR THEORY METHODS FOR PIPE NETWORK ANALYSIS". L. T. Isaacs, K. G. Mills. Journal of the Hydraulics Division, ASCE. Volumen 106, Número HY7. Julio de 1980.
4. "OPTIMAL PUMP OPERATION IN WATER DISTRIBUTION". A. J. Tarquin, J. Dowdy. Journal of the Hydraulics Division, ASCE. Volumen 115, Número 2. Febrero de 1989.
5. "EXPLICIT CALCULATION OF PIPE NETWORK PARAMETERS". P. F. Boulos, D. J. Wood. Journal of the Hydraulics Division, ASCE. Volumen 116, Número 11. Noviembre de 1990.
6. "METHODS FOR ANALYSING PIPE NETWORKS". H. Bruun Nielsen. Journal of the Hydraulics Division, ASCE. Volumen 115, Número 2. Febrero de 1989.
7. "HYDRAULICS OF PIPELINES, PUMPS, VALVES, CAVITATION, TRANSIENTS". Capítulos 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. Capítulo 3. Editorial Elsevier Amsterdam, 1989.
10. "COMPUTATIONAL METHODS IN THE ANALYSIS AND DESIGN OF CLOSED CONDUIT HYDRAULICS SYSTEMS. DEVELOPMENTS IN HYDRAULIC ENGINEERING 1". R. E. Featherstone. Editado por P. Novak. Capítulo 3. Applied Science Publishers. Londres, 1983.
11. "DESIGN, EXPANSION AND REHABILITATION OF WATER DISTRIBUTION NETWORKS AIMED AT 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. Volumen 101, Número IR4. Marzo de 1975.
13. "OPTIMAL DIAMETER SELECTION FOR PIPE NETWORKS". R. E. Featherstone, K. K. El-Jumaily. Journal of the Hydraulics Division, ASCE. Volumen 109, Número 2. Febrero de 1983.
14. "THE HISTORY OF THE POISEUILLE'S LAW". Salvatore P. Sutera. Annual Review of Fluid Mechanics. Número 25, pags. 1-19. 1993.
15. "SOME SOLUTION PROCEDURES FOR THE COLEBROOK-WHITE FUNCTION". D. I. Barr. International Water Power and Dam Construction. Diciembre de 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. Diciembre 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. Septiembre 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. Septiembre de 1987.

19. "AN APPROXIMATE FORMULA FOR PIPE FRICTION FACTORS". Lewis F. Moody. Transactions of the American Society of Mechanical Engineers. Volumen 66, pags. 671-684. 1944.
20. "THE LIMITS OF APPLICABILITY OF THE HAZEN-WILLIAMS FORMULA". M. H. Diskin. La Houille Blanche. Número 6. Noviembre de 1960.

EVALUACIÓN DEL CURSO

| | |
|------------------------|--------------|
| PRIMER EXAMEN PARCIAL | 20 % |
| SEGUNDO EXAMEN PARCIAL | 20 % |
| EXAMEN FINAL | 25 % |
| TAREAS | 10 % |
| PROYECTO FINAL | 25 % |
| | |
| TOTAL | <u>100 %</u> |

NOTA 1: Para el cálculo de la nota definitiva únicamente se hará una aproximación a la centésima superior.

NOTA 2: 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 3: 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 4: 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 5: 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.