

Sitio Web, Interactivo Y Explicativo Sobre El Uso De La Herramienta Digital Epanet

Camilo José Ardila Pacheco, Víctor Andrés Ortiz Torres

Trabajo De Grado Para Optar El Título De Ingeniero Mecánico

Director

Javier Rúgeles Pérez

Magister En Informatica

Universidad Industrial De Santander

Facultad Ingenierías Físico Mecánicas

Escuela De Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2021

Dedicatoria

Camilo Ardila

Dedico esta tesis a mis padres, por haberme apoyado en cada uno de mis pasos y enseñarme buenos valores, por la motivación constante que permitieron que hoy en día sea la persona que soy y por su amor incondicional.

Víctor Ortiz

Para mi madre y mi padre, sin los cuales nada de esto habría sido posible, a mi hermano por su apoyo incondicional, los amo infinitamente y la vida no me alcanzará para recompensarles por todo.

Contenido

1. Formulación del Problema	16
2. Objetivos	18
2.1 Objetivo General	18
2.2 Objetivos Específicos	18
3. Revisión de Literatura	19
3.1 Marco Referencial	19
3.2 Red Hidráulica.....	20
3.2.1 Acueductos	20
3.2.2 Hidroeléctricas	22
3.2.3 Hidráulica Industrial.....	24
3.2.4 Sistemas de Refrigeración y Aire Acondicionado	24
3.3 Qué es epanet.	25
3.3.1 Elementos Físicos.....	29
3.3.1.1 Conexión o Nudo.	29
3.3.1.2 Embalse.	31
3.3.1.3 Tanques.	33
3.3.1.4 Tuberías.	35
3.3.1.5 Bomba.	38
3.3.1.6 Válvula.	40
3.3.2 Elementos No Físicos.....	42

3.3.2.1 Curvas.....	42
3.3.2.2 Patrones.	45
3.4 Teoría De Perdidas Implementada En Epanet.....	46
3.5 Que es Doodly.....	53
3.6 ¿Qué es un CMS?.....	55
3.7 Entre Todos, ¿Por Qué Wordpress?	55
4. Método Didáctico	57
4.1 Metodología Propuesta.....	57
4.1.1 Recolección Banco de Ejercicios	58
4.1.1.1 Primer Ejercicio Propuesto: Suministro de un Pueblo Colombiano, Distribución de Agua por Gravedad.	58
4.1.1.2 Segundo Ejercicio Propuesto: Distribución de Agua por Medio de una Bomba.	59
4.1.1.3 Tercer Ejercicio Propuesto: Red de Distribución de una Ciudad.....	61
4.1.1.4 Cuarto Ejercicio Propuesto: Complejo Deportivo con Sistema de Filtrado.....	64
4.1.1.5 Quinto Ejercicio Propuesto: Alimentación de Refrigerante Hacia Tanque Presurizado y Recirculación.....	65
4.1.2 Solución en Epanet de los Ejercicios Propuestos.....	67
4.1.2.1 Solución Primer Ejercicio Propuesto: Suministro de un Pueblo Colombiano, Distribución de Agua por Gravedad.....	67
4.1.2.2 Solución Segundo Ejercicio Propuesto: Distribución de Agua por Medio De una Bomba.	75
4.1.2.3 Solución Tercer Ejercicio Propuesto: Red de Distribución de una Ciudad.	87

4.1.2.4 Solución Cuarto Ejercicio Propuesto: Complejo Deportivo con Sistema de Filtrado de Agua.....	105
4.1.2.5 Solución Quinto Ejercicio Propuesto: Alimentación de Refrigerante Hacia Tanque Presurizado y Recirculación.....	130
4.2 Vista General Del Sitio Web.....	154
5. Discusión.....	156
6. Conclusiones y Recomendaciones	164
Bibliografía.....	166

Índice de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Propiedades de conexión en EPANET.....	30
Tabla 2 Propiedades de Tanque en EPANET	34
Tabla 3 Propiedades Tubería en EPANET.....	36
Tabla 4 Propiedades de Bomba en EPANET	39
Tabla 5 Propiedades de Válvula en EPANET.....	41
Tabla 6 Ejemplo Patrón de Tiempo.....	46
Tabla 7 Horas vs Demanda	46
Tabla 8 Métodos para Pérdida de Energía	47
Tabla 9 Rugosidad de algunos Materiales.....	49
Tabla 10 Coeficientes de pérdidas menores para algunos accesorios	53
Tabla 11 Puntos de curva característica	60
Tabla 12 Longitud y Diámetro Nominal Tramos 1B, B2, 23, 24	60
Tabla 13 Cotas y Demandas de los Nudos	63
Tabla 14 Datos de la Tubería	63
Tabla 15 Datos Curva de Eficiencia.....	64
Tabla 16 Datos de las Tuberías	65
Tabla 17 Diámetros y Longitudes de los 5 tramos de tubería.....	66
Tabla 18 Curva Característica Bomba Segundo Ejercicio	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 19 Longitud y Diámetro Nominal Ejercicio 2.....	76
Tabla 20 Valor de la Propiedad Consigna.....	85
Tabla 21 Cotas y Demandas Tercer Ejercicio.....	88

Tabla 22 Longitud, Diámetro y Rugosidad de tuberías Tercer Ejercicio.....	89
Tabla 23 Curva de Eficiencia Bomba Tercer Ejercicio.....	89
Tabla 24 Resultados de Altura, Demanda y Presión.	102
Tabla 25 Curva Bomba Cuarto Ejercicio	118
Tabla 26 Curva de eficiencia Bomba Cuarto Ejercicio.....	120
Tabla 27 valor de la consigna en válvulas.....	124
Tabla 28 Resultados Caudal Cuarto Ejercicio.....	126
Tabla 29 Resultados altura manométrica y presión	127
Tabla 30 Diámetros y longitudes tramos de tubería Quinto Ejercicio	131

Índice de Figuras

	Pág.
Figura 1 red hidráulica	20
Figura 2 acueducto	21
Figura 3 representación red de alcantarillas	22
Figura 4 Central Hidroeléctrica.....	23
Figura 5 Interior de una Central Hidroeléctrica	23
Figura 6 Prensa Industrial	24
Figura 7 Representación de un sistema de aire acondicionado.....	25
Figura 8 Representación de un sistema de aire acondicionado en un piso	25
Figura 9 vista general de EPANET	28
Figura 10 Icono de una Conexión	29
Figura 11 Icono de un Embalse o Reservorio	31
Figura 12 Icono de un Tanque o Deposito	33
Figura 13 Icono de Tubería	35
Figura 14 Icono de Bomba	38
Figura 15 Icono de una Válvula	40
Figura 16 Curva Característica de uno y tres puntos	43
Figura 17 Curva de Rendimiento	44
Figura 18 Curva de Volumen	45
Figura 19 Diagrama de Moody	50
Figura 20 Tipos de Flujo	51
Figura 21 Ilustración Software Doodly	53

Figura 22 Sitio web de Microsoft.....	56
Figura 23 Sitio Web the Rolling Stones.....	57
Figura 24 representación gráfica primer ejercicio.....	59
Figura 25 Representación Gráfica Segundo Ejercicio	61
Figura 26 Representación Gráfica Tercer Ejercicio.....	62
Figura 27 Representación Gráfica Cuarto Ejercicio	64
Figura 28 Representación Gráfica Quinto Ejercicio	66
Figura 29 Representación Gráfica Primer Ejercicio	67
Figura 30 Ventana de Valores por Defecto – Primer Ejercicio.....	69
Figura 31 Plano De Elementos – Primer Ejercicio	70
Figura 32 Editor de Propiedades Embalse A	70
Figura 33 Editor de Propiedades Conexión B.....	71
Figura 34 Editor de Propiedades Tubería D-E.....	72
Figura 35 Iniciar análisis	72
Figura 36 Primer Plano de Resultados – Primer Ejercicio.....	73
Figura 37 Editor de Propiedades Válvula V1.....	74
Figura 38 Segundo Plano de Resultados – Primer Ejercicio.....	74
Figura 47 Representación Gráfica Segundo Ejercicio	76
Figura 48 Ventana de Opciones de Plano	77
Figura 49 Barra de Herramientas de EPANET	77
Figura 50 Plano de Elementos – Segundo Ejercicio	78
Figura 51 Editor de Propiedades Embalse Deposito.....	79
Figura 52 Editor de Propiedades Conexión Residencial.....	80
Figura 53 Editor de Propiedades Tubería 2-V1_1	81

Figura 54 Editor de Propiedades Válvula V2.....	81
Figura 55 Editor de Propiedades Tubería 10.....	82
Figura 56 Visor EPANET	83
Figura 57 Editor de Curva – Segundo Ejercicio	83
Figura 58 Editor de Propiedades Bomba.....	84
Figura 59 Primer Plano de Resultados – Segundo Ejercicio.....	84
Figura 60 Editor de Propiedades Válvula V2.....	86
Figura 61 Segundo Plano de Respuestas – Segundo Ejercicio	86
Figura 62 Representación Gráfica Tercer Ejercicio	88
Figura 63 Ventana de Valores por Defecto – Tercer Ejercicio	90
Figura 64 Plano de Elementos – Tercer Ejercicio.....	91
Figura 65 Editor de Propiedades Embalse Lago	92
Figura 66 Editor de Propiedades Deposito Tanque.....	92
Figura 67 Editor de Propiedades Conexión 2.....	93
Figura 68 Editor de Propiedades Tubería L-1	93
Figura 69 Botón Añadir.....	94
Figura 70 Editor de patrones	94
Figura 71 Patrón De Demanda patrondeconsumo2.....	95
Figura 72 Patrón de Demanda patrondeconsumo1	95
Figura 73 Patrón de Demanda patrón de bombeo	96
Figura 74 Visor Curvas	97
Figura 75 Curva de la Bomba CB	97
Figura 76 Curva de Rendimiento Ren.....	98
Figura 77 Editor de Propiedades Conexión G.....	98

Figura 78 Incluir Curvas y Patrones en Editor de Propiedades Bomba Bomba	99
Figura 79 Primer Plano de Resultados – Tercer Ejercicio	100
Figura 80 Visor Tiempo 9 horas	100
Figura 81 Segundo Plano de Resultados – Tercer Ejercicio	101
Figura 82 Procedimiento para generar Tablas.....	101
Figura 83 Estimación de Costos.....	103
Figura 84 Costos Bomba	103
Figura 85 selección de grafico	104
Figura 86 Curva de Evolución Temporal demanda en el Nudo Tanque	104
Figura 87 Representación Gráfica cuarto Ejercicio	105
Figura 88 Ventana Valores por Defecto – Cuarto Ejercicio	107
Figura 89 Plano de Elementos – Cuarto Ejercicio	108
Figura 90 Editor de Propiedades Embalse 1	109
Figura 91 Editor de Propiedades Conexión iB.....	110
Figura 92 Editor de Propiedades Tubería 1-B.....	112
Figura 93 Editor de Propiedades Tubería B-V1	113
Figura 94 Editor de Propiedades Tubería 2-F	115
Figura 95 Editor de Propiedades Tubería F-3	115
Figura 96 Editor de Curva Operación	119
Figura 97 Editor de Curva Eficiencia.....	121
Figura 98 Editor de Propiedades Bomba B.....	122
Figura 99 Editor de Propiedades Válvula F	123
Figura 100 Editor de Propiedades Válvula V1.....	125
Figura 101 Editor de Propiedades Válvula V2.....	125

Figura 102 Plano de Resultados – Cuarto Ejercicio.....	128
Figura 103 Coeficiente de Resistencia Vs Apertura Parcial	129
Figura 104 Representación Gráfica Quinto Ejercicio	132
Figura 105 filtrado Valores por Defecto – Quinto Ejercicio.....	134
Figura 106 Plano de Elementos – Quinto Ejercicio	135
Figura 107 Editor de Propiedades Embalse 1	136
Figura 108 Editor de Propiedades Embalse 4	136
Figura 109 Editor de Propiedades Embalse 4virt.....	137
Figura 110 Editor de Propiedades Conexión 2.....	138
Figura 111 Editor de Propiedades Nudo 3	139
Figura 112 Editor de Propiedades Conexión 5.....	140
Figura 113 Editor de Propiedades Conexión 6.....	141
Figura 114 Editor de Propiedades Conexión 7.....	142
Figura 115 Editor de Propiedades Tubería 1-2	143
Figura 116 Editor de Propiedades Tubería 3-4	144
Figura 117 Editor de Propiedades Tubería 4-5	146
Figura 118 Tubería 5-iV1.....	148
Figura 119 Tubería 5-iV2.....	149
Figura 120 Valor de la consigna en válvulas	149
Figura 121 tabla de propiedades válvula V1	151
Figura 122 tabla de propiedades válvula V2.....	151
Figura 123 tabla de propiedades Bomba B	152
Figura 124 Plano de Resultados – Quinto Ejercicio	153
Figura 39 grafico pregunta 1 de la encuesta.....	156

Figura 41 grafico pregunta 2 de la encuesta.....	157
Figura 42 grafico pregunta 3 de la encuesta.....	158
Figura 43 grafico pregunta 4 de la encuesta.....	159
Figura 44 grafico pregunta 5 de la encuesta.....	160
Figura 45 grafico pregunta 6 de la encuesta.....	161
Figura 46 grafico pregunta 7 de la encuesta.....	162

Resumen

Título: Sitio web, interactivo y explicativo sobre el uso de la herramienta digital EPANET*.

Autor: Camilo José Ardila Pacheco, Víctor Andrés Ortiz Torres**

Palabras clave: Software, fluido, EPANET, HTML.

Descripción:

Este proyecto desarrolla un sitio web por medio del cual se facilite el proceso de aprendizaje de los estudiantes de la asignatura Sistemas de transporte y aprovechamiento de fluidos, para este caso se utilizó un software de dominio público para análisis y simulaciones de distribución de agua y otros líquidos llamados EPANET, con el objetivo de que los estudiantes empleen las aplicaciones del programa para solucionar y optimizar ejercicios relacionados con redes y sistemas hidráulicos.

Con base en esto se desarrolló una página web que contiene una serie de videos y archivos en los que se evidencian las facilidades que este software otorga a los docentes y estudiantes, el programa permite desarrollar una gran cantidad de ejercicios relacionados con la hidráulica del fluido en redes de distribución a presión.

Usando un sistema de gestión de contenidos (CMS) llamado WordPress se le dio forma a la página, además se requirió de otra plataforma llamada Doodly para la edición de los videos, con el fin de que estos fueran más ilustrativos e interesantes.

* Trabajo de Grado.

** Facultad físico-mecánica. Escuela de Mecánica. Director Javier Rúgeles.

Abstract

Title: Website, interactive and explanatory on the use of the EPANET digital tool*.

Autores: Camilo José Ardila Pacheco y Víctor Andrés Ortiz Torres**.

Key words: Software, fluent, EPANET, HTML.

Description:

This project seeks to develop a website through which the learning process of the students of the subject Transport systems and use of fluids is facilitated, for this case a public domain software was used for analysis and simulations of distribution of called EPANET, with the aim that students use the program's applications to solve and optimize exercises related to hydraulic networks and systems.

Based on this, a web page was developed that contains a series of videos in which the facilities that this software provides to teachers and students are evidenced, the program allows to develop a large number of exercises related to fluid hydraulics in networks of pressure distribution.

Using a content management system (CMS) called WordPress, the page was shaped, and another platform called Doodly was required to edit the videos, in order to make them more illustrative and interesting.

* Bachelor Thesis.

** Facultad físico-mecánica. Escuela de Mecánica. Director Javier Rúgeles.

1. Formulación del Problema

Debido a la problemática actual, que se vive a causa de la pandemia del COVID-19, las (TIC) han tomado un papel muy importante en nuestro diario vivir. Debido a los impedimentos para reunirnos de forma presencial, los computadores, celulares, tabletas y otros elementos informáticos se han vuelto de gran importancia en la mayoría de las actividades que realizamos, actualmente, como humanidad crecemos tanto cultural como tecnológicamente, creando una estrecha relación entre educación y tecnología, la cual brinda gran ayuda en la labor académica, ayudándonos con resolución de problemas, simulaciones, análisis de datos, etcétera.

En el diseño de sistemas hidráulicos es utilizada la herramienta digital EPANET para el análisis de redes de distribución de agua potable, sin embargo, el semestre académico no cuenta con el tiempo suficiente para una explicación a fondo de este programa y además aplicarlo en los temas correspondientes a la asignatura SISTEMAS DE TRANSPORTE Y APROVECHAMIENTO DE FLUIDOS, presentando algunas dificultades en el proceso de aprendizaje de los estudiantes.

La idea general de este proyecto es que los estudiantes puedan obtener más conocimientos respecto a EPANET, sus propiedades, y aplicaciones, tanto en la asignatura como fuera de ella. Este aplicativo permite a los ingenieros observar los comportamientos que un fluido muestra cuando circula a través de una red hidráulica.

Una gran problemática actual es que los laboratorios de algunas materias son estrictamente virtuales. usando este aplicativo el docente puede enseñar a sus estudiantes como realizar simulaciones de redes verdaderas, introducir datos, generar gráficas, y obtener resultados rápidos y concretos, de esta manera los estudiantes mejoran su manejo de las tecnologías de información y comunicación (TIC), de las que su gran aportación al sistema educativo actualmente es innegable ya que permite que el docente tenga gran versatilidad en la forma de interactuar con el alumno, así como presentar sus contenidos (imágenes, videos, presentaciones, etc.)

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Elaborar sitio web didáctico e ilustrativo del software libre EPANET y emplear las aplicaciones del software para solucionar problemas de forma no lineal y la optimización de redes hidráulicas.

2.2 Objetivos Específicos

Establecer las facilidades que presenta el programa en cuanto al desarrollo de problemas y comprensión de los temas vistos en la asignatura.

Utilizar el lenguaje de marcado de hipertexto (HTML) para estructurar el portal interactivo.

Realizar pruebas de la funcionalidad del software EPANET y cómo aplicarlo en la asignatura SISTEMAS DE TRANSPORTE Y APROVECHAMIENTO DE FLUIDOS.

3. Revisión de Literatura

3.1 Marco Referencial

En la actualidad, la educación informática tiene muchos retos y dificultades, falta de energía, globalización incompleta, costo, pero también ofrece muchas oportunidades, velocidad de conexión, comunicación a distancia. Según (Díaz-Barriga, 2013), la incorporación de las TIC, a la educación se ha convertido en un proceso cuya implicancia, va mucho más allá de las herramientas tecnológicas que conforman el ambiente educativo, se habla de una construcción didáctica y la manera como se pueda consolidar un aprendizaje significativo con base en la tecnología.

la educación y la tecnología deben ir de la mano, es necesario que en todas las aulas se realicen actividades que fomenten el uso de las nuevas tecnologías, aplicándolas a los temas vistos en clase, las herramientas informáticas presentan una gran evolución en la enseñanza, dejando atrás modelos arcaicos que, aunque eficientes en años anteriores presentaban grandes dificultades para transmitir la información de forma clara, variada y actualizada.

EPANET se concibió como una herramienta que permita aumentar nuestro conocimiento sobre lo que pasa con las sustancias líquidas transportadas por el agua a través de una red de distribución, este software proporciona una amplia variedad de formatos para visualizar los resultados entre los que están tablas numéricas, mapas de las redes codificados por colores, graficas de evolución, etcétera.

3.2 Red Hidráulica

En general, una red hidráulica consta de tuberías, nudos (conexiones entre tuberías), bombas, válvulas y tanques de almacenamiento o depósitos. Una red hidráulica tiene como función principal transportar determinadas cantidades de fluido a presión, desde los puntos donde se produce o almacena hasta los puntos de consumo, satisfaciendo las diferentes condiciones de cantidad y calidad requeridas por el usuario.

Figura 1.

Red hidráulica



Nota. Red hidráulica. reproducida de Diseño hidráulico de tuberías., De <https://www.eadic.com>

Algunos ejemplos de redes hidráulicas son:

3.2.1 Acueductos

Son obras de gran magnitud creadas por la necesidad de conducir agua a los asentamientos humanos e industriales, actualmente estas estructuras requieren llevar caudales relativamente grandes, y al pasar de los años irán creciendo con el fin de recorrer distancias más largas y elevadas.

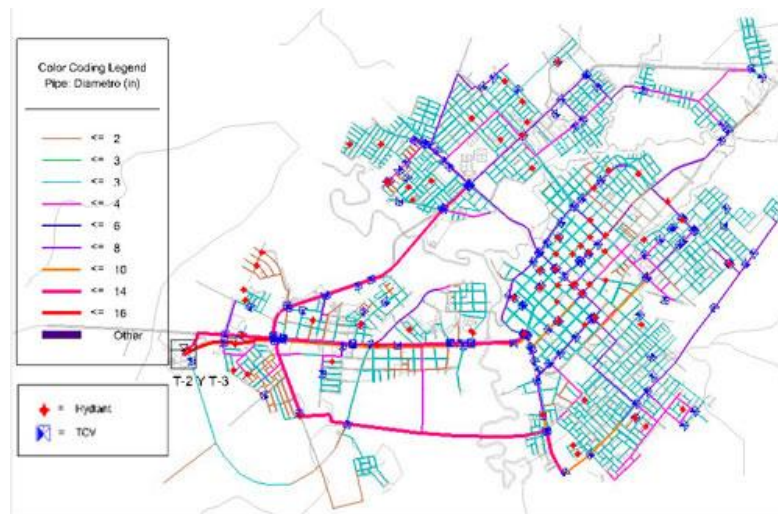
Existen muchos factores que pueden vulnerar estas estructuras, fallas estructurales, sismos, fallas mecánicas o eléctricas ya que se trata de instalaciones de decenas de kilómetros largo, esto causa que a veces puedan funcionar con daños o tener daños que costaría semanas o incluso meses solucionar, es importante realizar una reflexión a la hora de diseñar y construir estas obras y tomar las precauciones necesarias para que estas no sufran ningún problema.

Figura 2.

Acueducto



Nota. Representación de una planta de tratamiento. adaptada Planta Agua Potable Central-Fusagasugá (Cundinamarca)., De:
https://www.emserfusa.com.co/publicaciones/28/planta_central_emserfusa_esp/

Figura 3.*Representación red de alcantarillas*

Nota. Representación de una red de alcantarillas. adaptada de Figura - Red de distribución por diámetro nominal., De <https://www.empitalito.gov.co/programas/14-servicio-acueducto>.

3.2.2 Hidroeléctricas

Son instalaciones creadas con el fin de conducir un gran caudal de agua hacia una central para poder obtener energía eléctrica por medio de la energía potencial del agua almacenada, para lograrlo se hace pasar agua a gran presión a través de una serie de turbinas provocando la rotación de un rotor electromagnético induciendo tensión a unas bobinas del estator que a través de sus electroimanes se encarga de crear un campo magnético fijo, que es donde se produce la electricidad, luego de realizado este proceso el agua se regresa al río para que normalice su curso.

Figura 4.*Central Hidroeléctrica*

Nota. Representación de una central hidroeléctrica. Reproducida de central hidroeléctrica.,

De <https://www.fundacionendesa.org>.

Figura 5.*Interior de una Central Hidroeléctrica*

Nota. Representación de una central hidroeléctrica. Reproducida de interior de una central hidroeléctrica., De <https://www.fundacionendesa.org>.

3.2.3 Hidráulica Industrial

La hidráulica como parte de la física se encarga de comprender la transmisión de fuerzas y movimiento a través de los líquidos, como concepto es la transformación de energía mecánica o eléctrica en hidráulica. Se trata de aumentar la presión del fluido para utilizarlo como trabajo útil y transforma su fuerza en un movimiento, para abrir algo, levantar una carga o accionar cualquier tipo de mecanismo.

Figura 6.

Prensa Industrial



Nota. Representación de una prensa construida por Mesta Machinery. Reproducida del gigante de aluminio ALCOA., De <https://nocsia.org>

3.2.4 Sistemas de Refrigeración y Aire Acondicionado

La refrigeración es el proceso que consiste en producir frío, o, mejor dicho, en extraer calor ya que para producir frío lo que se hace es transportar calor de un lugar a otro. Así, el lugar al que se le sustrae calor reduce su temperatura.

Figura 7.

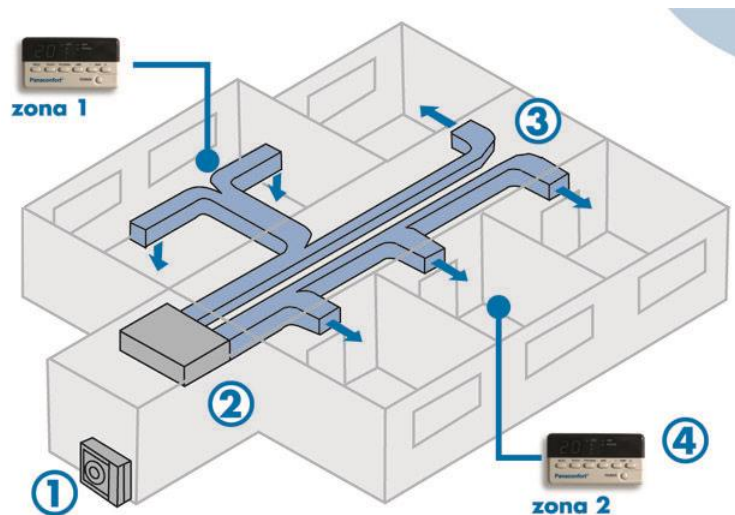
Representación de un sistema de aire acondicionado



Nota. Representación de un sistema de aire acondicionado. Reproducida Sistemas de refrigeración aire acondicionado: compresión y absorción., De <https://www.caloryfrio.com>.

Figura 8.

Representación de un sistema de aire acondicionado en un piso



Nota. Representación de un sistema de aire acondicionado en un piso. Reproducida detalles constructivos por Emily Andrade., <https://www.pinterest.com.mx>

3.3 Qué es epanet.

EPANET es un programa de ordenador que realiza simulaciones en periodo extendido del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de distribución a presión. En general, una red consta de tuberías, nudos (conexiones entre tuberías), bombas, válvulas y tanques de almacenamiento o depósitos. EPANET determina el caudal que circula por cada una de las conducciones, la presión en cada uno de los nudos, el nivel de agua en cada tanque y la concentración de diferentes componentes químicos a través de la red durante un determinado periodo de simulación analizado en diferentes intervalos de tiempo.

EPANET, que puede emplearse bajo sistemas operativos Windows, ofrece un entorno de trabajo integrado para la edición de los datos de entrada de la red, el cálculo hidráulico y las simulaciones de la calidad del agua, y la visualización de los resultados obtenidos en una amplia variedad de formatos. Esta variedad de formatos incluye planos de la red con códigos de colores, tablas de datos, gráficos con evoluciones temporales de diferentes variables, y planos con curvas.

Características del Modelo Hidráulico.

. EPANET es un motor de análisis hidráulico que incluye las siguientes características:

- No existe límite en el tamaño de la red que se desea analizar.
- Calcula las pérdidas por fricción en las conducciones mediante las expresiones de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, o Chezy-Manning.
- Incluye pérdidas menores en elementos tales como codos, acoplamientos, etc.
- Modela diferentes tipos de válvulas, incluyendo válvulas de regulación, válvulas de retención, válvulas de aislamiento, válvulas reductoras de presión, válvulas de control de caudal, etc.

- Considera la posibilidad de establecer diferentes categorías de consumo en los nudos, cada una de ellas con su propia curva de modulación.

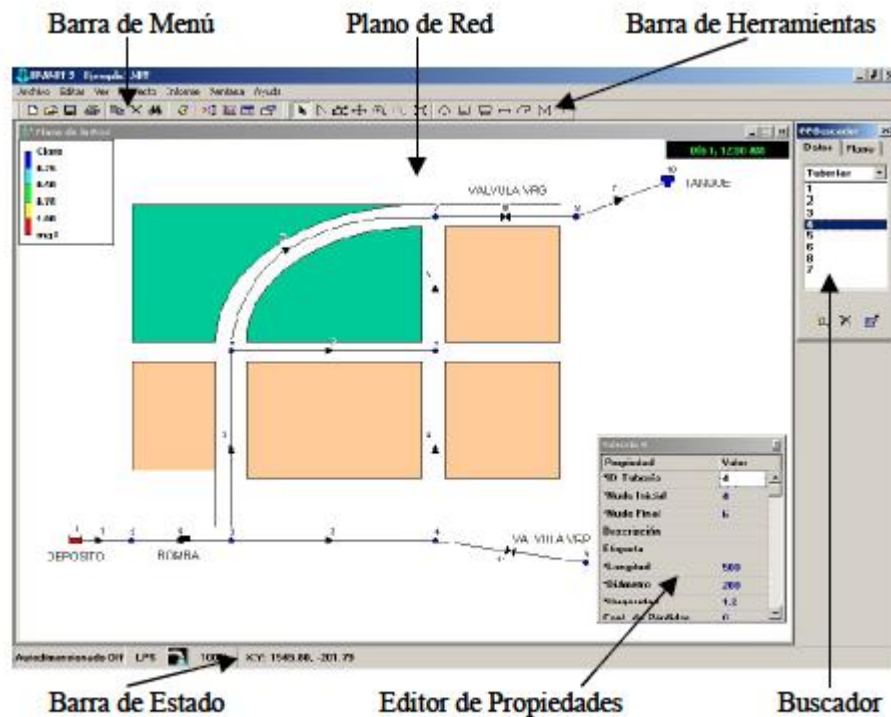
Pasos en la utilización de EPANET.

Los pasos básicos a seguir en la utilización de EPANET para modelar un sistema de distribución de aguas son:

- Edición general de las propiedades de los objetos que conforman el sistema, de las unidades y ecuaciones de pérdidas, así como de las propiedades hidráulicas del líquido a transportar.
- Dibujo de la representación esquemática de la red del sistema de distribución.
- Simulación del comportamiento hidráulico o de calidad del agua.
- Resultados de la simulación.

Manejo Básico de EPANET

El interfaz del programa EPANET consta de diversos elementos entre los que destaca la ventana principal, llamada Plano de la Red, donde se representa gráficamente la red con la que se está trabajando. Una pequeña ventana contigua (Visor) permite controlar parámetros de visualización de datos y resultados (pestaña Plano) y observar y editar todos los datos y parámetros constitutivos de la red (pestaña Datos).

Figura 9.*Vista general de EPANET*

Nota. Vista general de EPANET. Reproducida de Vista general., Rosman, Lewis A. (2012). EPANET 2 MANUAL DE USUARIO.

Sobre ambas ventanas se encuentran el menú de comandos (Archivo, Edición...) y la barra de herramientas del programa, con diversas opciones típicas de gestión de ficheros, impresión, edición, además de herramientas específicas de cálculo, análisis, visualización y creación de nodos y elementos.

Para la simulación de las diversas partes de que consta una red de abastecimiento de agua a presión, EPANET dispone de diversos tipos de nodos y elementos, representados cada uno de ellos por un botón de la parte derecha de la barra de herramientas. Los tipos de nodos son Conexión,

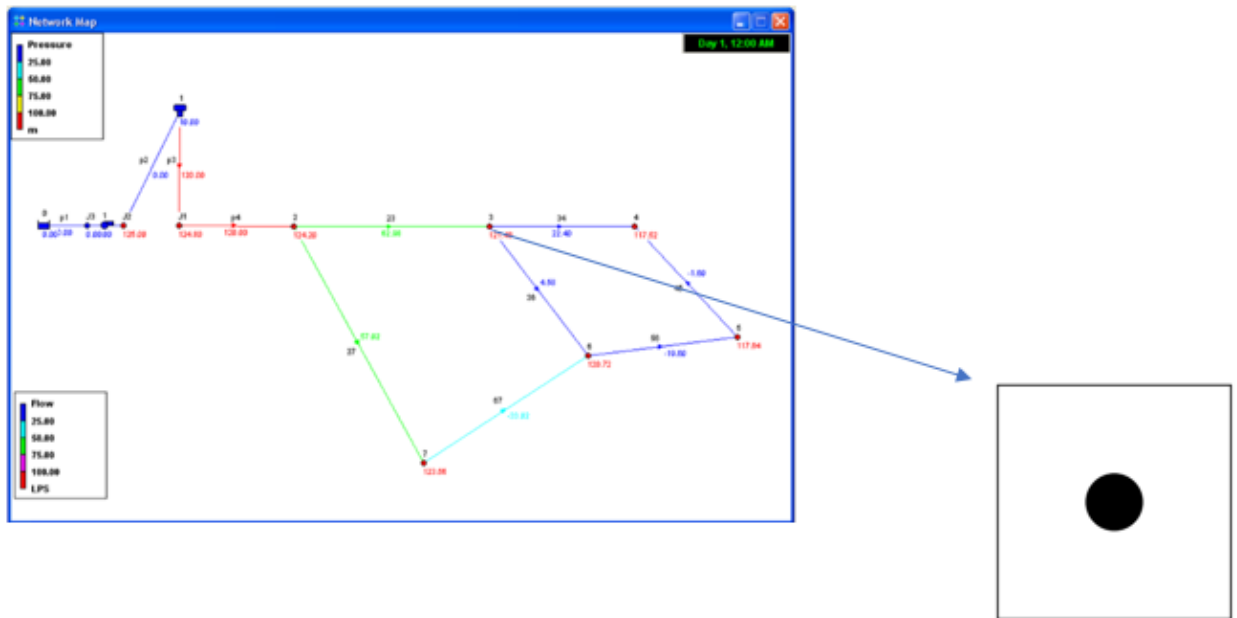
Embalse y Depósito, mientras que los tipos de elementos son Tubería, Bomba y Válvula. El dibujo de estos tres tipos de elementos requiere de dos nodos para fijarse en el esquema de la red

3.3.1 Elementos Físicos

3.3.1.1 Conexión o Nudo.

Figura 10.

Icono de una Conexión



Nota. Representación del icono de conexión en una red. adaptada de Icono conexión o nudo., De Plazas, J. (2017). Ejercicios Prácticos en EPANET.

Se trata de puntos de consumo o suministro de agua, unidos entre sí mediante elementos como tuberías, válvulas y bombas. Requieren como datos:

- **Demanda:** El caudal de agua que entra o sale de la red. En el caso de que este valor sea nulo, el nudo representaría un punto de paso de agua entre diferentes tramos de tubería.

- Cota: Altura topográfica del punto donde se ubica el nodo. El nodo de caudal puede representar consumos de agua diversos como consumos de viviendas, manzanas, sectores urbanos, industria o abastecimientos a subredes.

Tabla 1.*Propiedades de conexión en EPANET*

<i>PROPIEDAD</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>
ID Conexión	Etiqueta de identificación. Puede contener hasta 15 dígitos o caracteres. No puede ser la misma que la etiqueta ID de otro nudo. Esta es una propiedad necesaria.
Coordenada X	Localización horizontal de la conexión en el plano, medida en las unidades del plano. Si se deja en blanco la conexión no aparecerá en el plano.
Coordenada Y	Localización vertical de la conexión en el plano, medida en las unidades del plano. Si se deja en blanco la conexión no aparecerá en el plano.
Descripción	Texto opcional donde escribir información significativa de la conexión.
Marca	Texto opcional (sin espacios en blanco) que se utiliza para asignar la conexión a una categoría, así como una zona de presión.
Elevación	La elevación en metros (pies) de la conexión respecto a una referencia. Es una propiedad necesaria. Se utiliza sólo para calcular la presión en la conexión. No afecta a ningún otro cálculo.
Demanda Base	La variación o la demanda nominal de agua es la categoría principal de consumo en la conexión, se mide en unidades de caudal. Un valor negativo significa una fuente externa de caudal en la conexión. Si se deja en blanco se supondrá una demanda de cero.
Patrón de Demanda	Etiqueta de ID del patrón de tiempos utilizada para caracterizar la variación de demanda con el tiempo. El patrón nos da los factores que se aplican a la demanda base para determinar la demanda real en cada intervalo. Si se deja en blanco se tomarán los parámetros predeterminados (ver Sección 8.1).
Tipos de Demanda	Número de las diferentes demandas de los usuarios en la conexión. Presione el botón punteado (o la tecla Enter) para abrir un Editor de Demanda especial que le permitirá asignar demandas base y patrones de tiempo a los diferentes usuarios de la conexión. Ignórelo si la conexión sólo tiene una demanda simple.
Coefficiente de Emisor	Coefficiente de descarga del Emisor (tobera o aspersor) situado en la conexión. El coeficiente representa el caudal (en unidades del caudal) que hay cuando la pérdida de carga es de 1 mca (o psi). En blanco si no hay emisores. Ver Emisores en la Sección 3.1 para más detalles.
Calidad Inicial	Nivel de calidad del agua en la conexión al iniciarse la simulación. Puede dejarse en blanco si no se va a realizar un análisis de calidad del agua o si el nivel es cero.
Fuente de Calidad	Calidad del agua que entra en la red en éste punto. Presione el botón punteado (o la tecla Enter) para abrir el Editor de Fuentes de Calidad (ver Sección 6.5).

Nota. Propiedades de Conexión. Reproducida de Propiedades de conexiones., Rosman, Lewis

A. (2012). EPANET 2 MANUAL DE USUARIO.

Cuando el consumo es nulo, el nodo representa puntos de conexión de elementos de la red.

EPANET para cada nodo i adiciona al sistema de ecuaciones que modela la red con una ecuación de continuidad:

$$\sum_j Q_{ij} - D_i = 0 \quad \text{for } i = 1, \dots, N.$$

Q_{ij} [LPS]= caudal entrando (+) o saliendo (-) del nodo a través del elemento conector ij

D_i [LPS] = la demanda de líquido en el nodo. La convención de signos utilizada para los caudales de demanda es (+) saliendo y (-) entrando.

Este tipo de nodo también permite una demanda dependiente de la presión, a través de un coeficiente de emisión. La ecuación utilizada para los nodos emisores es

$$D_i = C * p^{0.5}$$

Donde

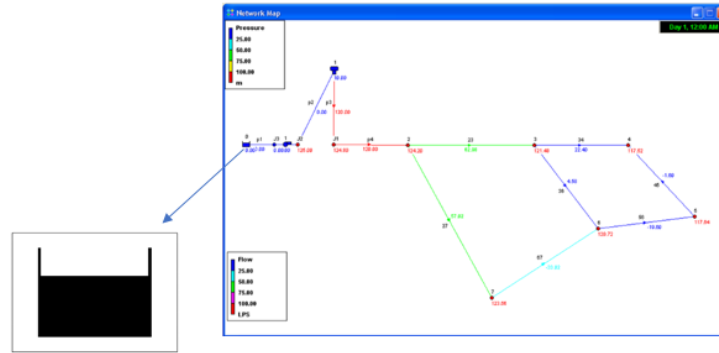
C [LPM/MCA^{0.5}] = coeficiente de descarga del nodo

P [MCA] = presión en el nodo

3.3.1.2 Embalse.

Figura 11.

Icono de un Embalse o Reservorio



Nota. Representación de un Embalse o reservorio en una red. adaptada de embalse., De Plazas, J. (2017). Ejercicios Prácticos en EPANET.

Representa una fuente de abastecimiento de agua cuyo nivel es siempre constante. A efectos prácticos, su capacidad es ilimitada porque suministra cualquier caudal sin variar su altura piezométrica. Requiere como dato:

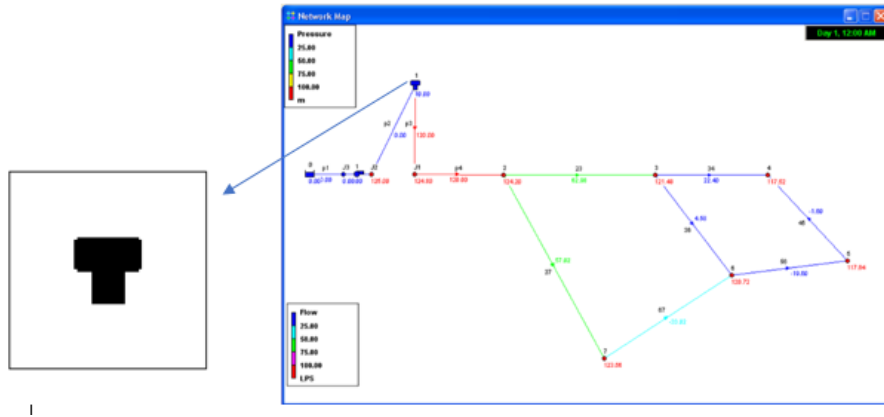
Altura piezométrica: Si el almacenamiento se encuentra abierto a la atmósfera, coincidirá con la altura de la lámina libre de agua.

El embalse podría representar, además de embalses propiamente dichos, ríos, lagos o grandes depósitos. En general, cualquier almacenamiento de agua cuya altura piezométrica se mantiene constante en el análisis que se desea realizar.

3.3.1.3 Tanques.

Figura 12.

Icono de un Tanque o Deposito



Nota. Representación del icono de un tanque en una red. adaptada de Icono tanque o deposito., De Plazas, J. (2017). Ejercicios Prácticos en EPANET.

Se trata también de almacenamientos de agua. A diferencia de los embalses, en los depósitos varía la altura piezométrica (el nivel del agua en depósitos abiertos a la atmósfera) en función de las detracciones o las aportaciones de agua de la red. Los parámetros que definen un depósito son:

Cota de la solera del depósito.

Niveles iniciales, mínimo y máximo del agua; Para el cómputo de la evolución del nivel en el depósito en las simulaciones y para detectar su vaciamiento o desbordamiento.

Diámetro: En el caso de ser un depósito cilíndrico, sería su diámetro. Para otras geometrías, debe calcularse un diámetro equivalente. EPANET también permite definir la curva de cubicación del depósito (relación entre el nivel y el volumen de agua), con lo cual el diámetro deja de ser necesario.

Tabla 2.*Propiedades de Tanque en EPANET*

PROPIEDAD	DESCRIPCIÓN
ID Tanque	Etiqueta de identificación. Puede contener hasta 15 dígitos o caracteres. No puede ser la misma que la etiqueta ID de otro nudo. Esta es una propiedad necesaria.
Coordenada X	Localización horizontal del tanque en el plano, medida en las unidades del plano. Si se deja en blanco la conexión no aparecerá en el plano.
Coordenada Y	Localización vertical del tanque en el plano, medida en las unidades del plano. Si se deja en blanco la conexión no aparecerá en el plano.
Descripción	Texto opcional donde escribir información significante del tanque.
Marca	Texto opcional (sin espacios en blanco) que se utiliza para asignar al tanque a una categoría, así como una zona de presión.
Elevación	La elevación en mca (pies) del fondo del tanque respecto a una referencia. Es una propiedad necesaria.
Nivel Inicial	Altura en metros (pies) del nivel de agua de tanque con respecto al fondo al inicio de la simulación. Es una propiedad necesaria.
Nivel Mínimo	Altura mínima en metros (pies) de la superficie del agua desde el fondo que se ha de mantener como mínimo en todo momento. El tanque no suministrará por debajo de éste nivel mínimo. Es una propiedad necesaria.
Nivel Máximo	Altura mínima en metros (pies) de la superficie del agua desde el fondo que se ha de mantener. Al tanque no se le permitirá superar éste nivel. Es una propiedad necesaria.
Diámetro	Diámetro del tanque en metros (pies). Para tanques cilíndricos es el diámetro real. Para tanques cuadrados o rectangulares es el diámetro equivalente, igual a 1.128 veces la raíz cuadrada de la sección. Para tanques cuya geometría se describe con una curva (ver abajo) puede ponerse cualquier valor. Es una propiedad necesaria.
Volumen Mínimo	Volumen de agua en el tanque cuando se encuentra a su nivel mínimo, en metros cúbicos (pies cúbicos). Es una propiedad opcional, muy útil para describir la geometría del fondo de tanques no cilíndricos de los que no conocemos la curva de volumen profundidad (ver abajo).
Curva de Volumen	Etiqueta de ID de una curva utilizada para describir la relación entre el volumen del tanque y el nivel del agua. Si no se especifica un valor entonces el tanque se considera cilíndrico.
Modelos de Mezclado	Tipo de mezclado que se produce en el tanque. Varios tipos de modelos <ul style="list-style-type: none"> • MIXED (mezclado completo), • 2COMP (dos compartimentos), • FIFO (el que primero entra, primero sale), • LIFO (el último que entra, es el primero en salir). <p>Ver los modelos de mezclado en la Sección 3.4 para más información.</p>
Fración de Mezclado	Fración del volumen total del tanque que se destina al compartimento de entrada/salido del modelo 2COMP. Se deja en blanco si en modelo de mezclado es otro.
Coefficiente de Reacción	Coefficiente de reacción en el seno para las reacciones químicas en el tanque. Las unidades de tiempo son 1/días. Positivo para crecimiento de reacción y negativo en caso contrario. Dejar en blanco si el coeficiente de reacción Global en el Seno que se especifica en las opciones de reacción del proyecto se aplica. Ver Reacciones de Calidad del Agua en la Sección 3.4 para más información.
Calidad Inicial	Nivel de calidad del agua en el tanque al iniciarse la simulación. Puede dejarse en blanco si no se va a realizar un análisis de calidad del agua o si el nivel es cero.
Fuente de Calidad	Calidad del agua que entra en la red en éste punto. Presione el botón punteado (o la tecla Enter) para abrir el Editor de Fuentes de Calidad (ver Sección 6.5).

Nota. Propiedades de tanque. Reproducida de Propiedades de tanques., Rosman, Lewis A. (2012). EPANET 2 MANUAL DE USUARIO.

El depósito puede representar depósitos de cabecera, de cola o de modulación y su nivel formará parte de las incógnitas a calcular por el programa.

Por cada tanque, EPANET alimenta el sistema de ecuaciones con la ecuación de continuidad:

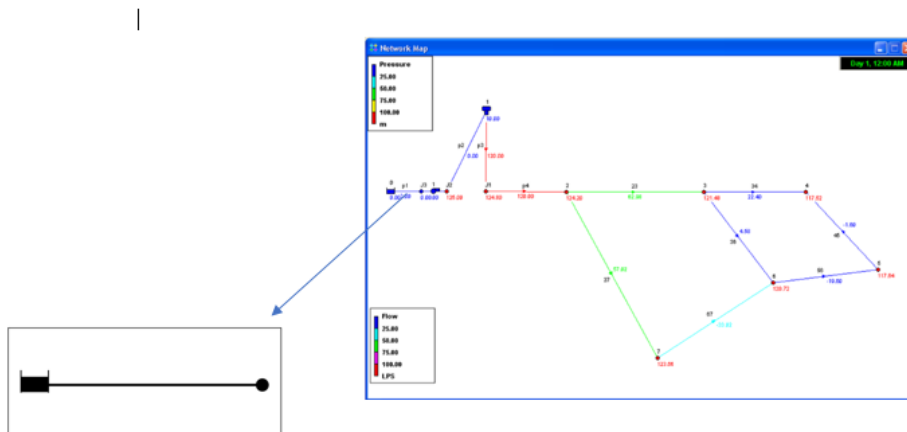
$$\sum Q_{ij} * 1 = A_T * (H_{t+1} - H_t)$$

Que evalúa el cambio del nivel de agua ($H_{t+1} - H_t$) en el tanque de área A_T por cada unidad de tiempo de simulación.

3.3.1.4 Tuberías.

Figura 13.

Icono de Tubería



Nota. Representación del icono de un tanque en una red. adaptada de Icono tubería., De Plazas, J. (2017). Ejercicios Prácticos en EPANET.

La tubería puede representar todo tipo de conducciones a presión, desde pequeños tubos hasta grandes arterias de un sistema de abastecimiento urbano. Representa elementos pasivos que transportan el agua a presión de un nodo a otro, desde el extremo con mayor altura piezométrica

hasta el de menor. El agua circula a presión por el interior del elemento. Sus características principales son:

- Nodos inicial y final; Se trata de los nodos que conecta la Tubería.
- Longitud: Distancia que recorre la tubería.
- Diámetro: Se supone una sección circular de tubería.
- Rugosidad: Depende del material y también del estado de la tubería. Es necesario para el cómputo de las pérdidas de carga.
- Estado Inicial: La tubería puede estar abierta o cerrada, y también puede contener una válvula de retención.

Tabla 3.

Propiedades Tubería en EPANET

<i>PROPIEDAD</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>
ID Tubería	Etiqueta de identificación. Puede contener hasta 15 dígitos o caracteres. No puede ser la misma que la etiqueta ID de otra línea. Ésta es una propiedad necesaria.
Nudo Inicio	La ID del nudo donde empieza la tubería. Es una propiedad necesaria.
Nudo Fin	La ID del nudo donde termina la tubería. Es una propiedad necesaria.
Descripción	Texto opcional donde escribir información significativa de la tubería.
Marca	Texto opcional (sin espacios en blanco) que se utiliza para asignar a la tubería a una categoría, así como una zona de presión.
Longitud	Longitud real de la tubería en metros (pies). Es una propiedad necesaria.
Diámetro	Diámetro de la tubería en mm (pulgadas). Es una propiedad necesaria.
Rugosidad	Coefficiente de rugosidad de la tubería. Es adimensional para Hazen-Williams y Chezy-Manning y tiene unidades de mm (milipies) para Darcy-Weisbach. Es una propiedad necesaria.
Coefficiente de Pérdidas	Coefficiente adimensional de pérdidas menores asociado a codos, cambios de dirección, etc. En blanco se supone cero.
Estado Inicial	Determina cuando la tubería se encuentra inicialmente abierta, cerrada o tiene una válvula reguladora. Si la válvula reguladora está especificada entonces la dirección del caudal en la tubería siempre será desde el nudo inicio al nudo fin.
Coefficiente de Reacción	Coefficiente de reacción en el seno de la tubería. Las unidades de tiempo son 1/días. Positivo para crecimiento de reacción y negativo en caso contrario. Dejar en blanco si el coeficiente de reacción Global en el Seno que se especifica en las opciones de reacción del proyecto se aplica. Ver Reacciones de Calidad del Agua en la Sección 3.4 para más información.
Coefficiente de Pared	Coefficiente de reacción en la pared de la tubería. Las unidades de tiempo son 1/días. Positivo para crecimiento de reacción y negativo en caso contrario. Dejar en blanco si el coeficiente de reacción Global en el Seno que se especifica en las opciones de reacción del proyecto se aplica. Ver Reacciones de Calidad del Agua en la Sección 3.4 para más información.

Nota. Propiedades Tubería. Reproducida de Propiedades de tuberías., Rosman, Lewis A. (2012). EPANET 2 MANUAL DE USUARIO.

Por cada tubería, EPANET alimenta el sistema de ecuaciones con la ecuación de energías:

$$H_i - H_j = h_{ij} = rQ_{ij}^n + mQ_{ij}^2$$

Donde

H_i [mca] = altura piezométrica en el nodo inicial i

H_j [mca] = altura piezométrica en el nodo final j

$r = \frac{8 * f_{ij} * L_{ij}}{\pi * D_{ij}^5 * g}$ es el coeficiente de resistencia hidráulica de la tubería. f_{ij} , es el factor de

fricción adimensional de Darcy, L_{ij} , La longitud de la tubería y D_{ij} , El diámetro interno de la tubería

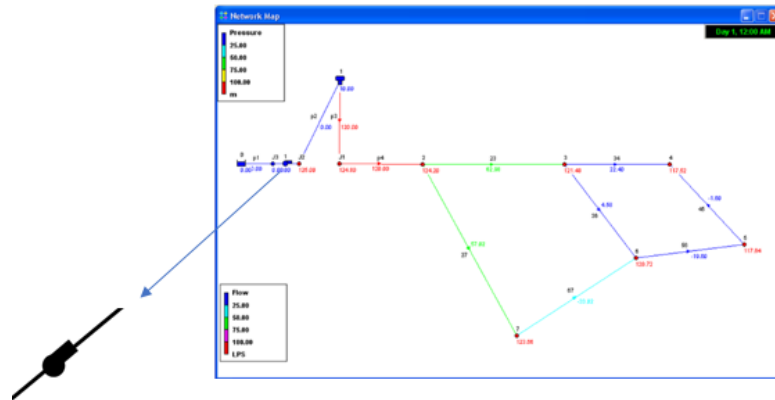
$m = \frac{8 * K_{ij}}{\pi * D_{ij}^4 * g}$ Es el coeficiente de pérdidas menores. K_{ij} representa la suma de las

constantes de pérdidas de los accesorios montados en el tramo de tubería.

3.3.1.5 Bomba.

Figura 14.

Icono de Bomba



Nota. Representación del icono de una bomba en una red. adaptada de icono bomba en plano de la red., De Plazas, J. (2017). Ejercicios Prácticos en EPANET.

Una bomba es un dispositivo que suministra altura piezométrica al fluido. Para su definición se requiere:

- Nodos inicial y final. Nodos que conecta la bomba.
- Curva característica. Relación entre caudal trasegado por la bomba y altura suministrada al fluido. Opcionalmente, también se puede establecer un funcionamiento a potencia constante, con lo que la altura de impulsión sería calculada directamente a partir del caudal circulante.

Tabla 4.

Propiedades de Bomba en EPANET

PROPIEDAD	DESCRIPCIÓN
ID Bomba	Etiqueta de identificación. Puede contener hasta 15 dígitos o caracteres. No puede ser la misma que la etiqueta ID de otra línea. Ésta es una propiedad necesaria.
Nudo Inicio	La ID del nudo donde empieza la bomba. Es una propiedad necesaria.
Nudo Fin	La ID del nudo donde termina la bomba. Es una propiedad necesaria.
Descripción	Texto opcional donde escribir información significativa de la bomba.
Marca	Texto opcional (sin espacios en blanco) que se utiliza para asignar la bomba a una categoría, tal vez basada en la edad, el tamaño o la situación.
Curva Característica	Etiqueta ID de la curva característica de la bomba se utiliza para describir la relación existente entre la altura desarrollada por la bomba y el caudal trasgado. Déjelo en blanco si la bomba es una constante (ver debajo).
Potencia	La potencia suministrada por la bomba en caballos de vapor (kW). Se supone que la bomba suministra la misma potencia independientemente del caudal que trasiega. Si lo deja en blanco se utilizará una curva característica. Se utiliza cuando la curva característica no está disponible. ⁵
Velocidad	Velocidad relativa de la bomba (adimensional). Por ejemplo, una velocidad de 1.2 implica que la velocidad angular de la bomba es el 20% de su valor nominal.
Patrón	Etiqueta ID del Patrón de Tiempo utilizada para controlar el modo de operación de la bomba. Los factores del patrón son equivalentes a las series de velocidad. Un factor de cero implica que la bomba se desconectará durante el intervalo de tiempo correspondiente. Dejarlo en blanco no es aplicable.
Estado Inicial	Estado de la bomba (abierto o cerrado) al inicio del periodo de simulación.
Curva de Rendimiento	de Etiqueta ID de la curva que representa el rendimiento de la bomba (en tanto por cien) en función del caudal. Esta información se utiliza únicamente para calcular utilización de energía. Esta opción se puede dejar en blanco sino se desea calcular el consumo energético o bien si se ha especificado una curva de rendimientos global en las Opciones Energéticas del proyecto (ver Sección 8.1).
Precio de Energía	de El incremento o el precio nominal de la energía en unidades monetarias por kW-hr. Se utiliza sólo para calcular el coste de energía. Esta opción se puede dejar en blanco sino se desea calcular el consumo energético o bien si se ha especificado una curva de rendimientos global en las Opciones Energéticas del proyecto (ver Sección 8.1).
Patrón de Precios	de La etiqueta ID del Patrón de Tiempos utilizada para describir la variación en el precio de la energía a lo largo del día. Cada factor del patrón es aplicable al Precio de la Energía de la bomba para determinar el precio a lo largo del día en el intervalo correspondiente. Esta opción se puede dejar en blanco sino se desea calcular el consumo energético o bien si se ha especificado una curva de rendimientos global en las Opciones Energéticas del proyecto (ver Sección 8.1).

Nota. Propiedades de Bomba. Reproducida de Propiedades de las Bombas., Rosman, Lewis A. (2012). EPANET 2 MANUAL DE USUARIO.

Por cada bomba, EPANET alimenta el sistema de ecuaciones con la ecuación de energías:

$$H_i - H_j = h_{ij} =: -\omega^2 (h_0 - r (Q_{ij} / \omega)^n)$$

Donde

Hi[mca] = altura piezométrica en el nodo inicial i o brida de succión de la bomba

Hj[mca] = altura piezométrica en nodo final j o brida de descarga de la bomba.

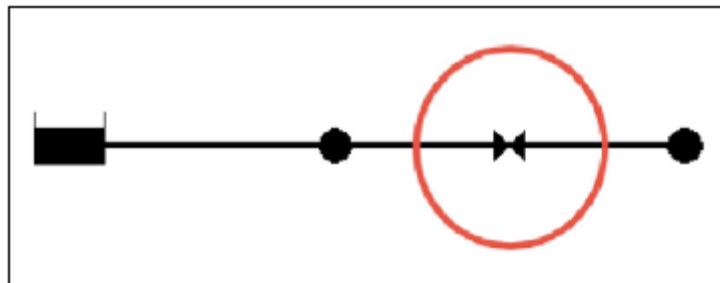
$\omega = \frac{N_1}{N_2}$ relación de RPM de la bomba si es de velocidad variable.

$h_0 - r (Q_{ij})^n$ curva de desempeño de la bomba. A las RPM (N_2) nominales

3.3.1.6 Válvula.

Figura 15.

Icono de una Válvula



Nota. Representación del icono de una válvula en una red. reproducida de Icono de válvula en plano de la red., De Plazas, J. (2017). Ejercicios Prácticos en EPANET.

Este tipo de elemento impone una limitación de presión o de caudal al fluido. Requiere:

Tabla 5.*Propiedades de Válvula en EPANET*

<i>PROPIEDAD</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>														
ID Válvula	Etiqueta de identificación. Puede contener hasta 15 dígitos o caracteres. No puede ser la misma que la etiqueta ID de otra línea. Ésta es una propiedad necesaria.														
Nudo Inicio	La ID del nudo aguas arriba de la válvula (VRPs y VSPs mantienen el caudal en una única dirección). Es una propiedad necesaria.														
Nudo Fin	La ID del nudo aguas abajo de la válvula. Es una propiedad necesaria.														
Descripción	Texto opcional donde escribir información significativa de la válvula.														
Marca	Texto opcional (sin espacios en blanco) que se utiliza para asignar a la válvula a una categoría, así como una zona de presión.														
Diámetro	Diámetro de la válvula en mm (pulgadas). Es una propiedad necesaria.														
Clase	Tipo de válvula (VRP, VSP, VRC, VCQ, VRG, o VPG). Ver Válvulas en la Sección 6.1 para las descripciones de los diferentes tipos. Es una propiedad necesaria.														
Tarado	Un parámetro necesario para describir el tipo de funcionamiento de la válvula. <table border="1" data-bbox="516 892 1015 1171"> <thead> <tr> <th><u>Tipo de Válvula</u></th> <th><u>Parámetro de Operación</u></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>VRP</td> <td>Presión (m o psi)</td> </tr> <tr> <td>VSP</td> <td>Presión (m o psi)</td> </tr> <tr> <td>VRC</td> <td>Presión (m o psi)</td> </tr> <tr> <td>VCQ</td> <td>Caudal (en unidades de caudal)</td> </tr> <tr> <td>VRG</td> <td>Coefficiente de Pérdidas (adimensional)</td> </tr> <tr> <td>VPG</td> <td>ID o curva de pérdidas</td> </tr> </tbody> </table>	<u>Tipo de Válvula</u>	<u>Parámetro de Operación</u>	VRP	Presión (m o psi)	VSP	Presión (m o psi)	VRC	Presión (m o psi)	VCQ	Caudal (en unidades de caudal)	VRG	Coefficiente de Pérdidas (adimensional)	VPG	ID o curva de pérdidas
<u>Tipo de Válvula</u>	<u>Parámetro de Operación</u>														
VRP	Presión (m o psi)														
VSP	Presión (m o psi)														
VRC	Presión (m o psi)														
VCQ	Caudal (en unidades de caudal)														
VRG	Coefficiente de Pérdidas (adimensional)														
VPG	ID o curva de pérdidas														
Coefficiente de Pérdidas	Coefficiente adimensional de pérdidas menores que se aplica cuando la válvula está completamente abierta. Si se deja en blanco se supone 0.														
Estado Fijo	Estado de la válvula al inicio de la simulación. Si se elige ABIERTO o CERRADO entonces se ignora el control de la válvula y ésta empieza como una línea abierta o cerrada respectivamente. Si se elige NINGUNO, entonces la válvula comenzará según lo determinado. El Estado Fijo y el Funcionamiento de una válvula puede hacerse variar a lo largo de la simulación con el uso de los controles de estado. Si el estado de una válvula se fija en ABIERTO / CERRADO, entonces puede hacerse activar de nuevo utilizando un control que le asigne un nuevo parámetro numérico.														

Nota. Propiedades de Válvula. Reproducida de Propiedades de válvulas., Rosman, Lewis A. (2012). EPANET 2 MANUAL DE USUARIO.

EPANET contempla diversos tipos de válvulas: válvula reductora de presión, válvula sostenedora de presión, válvula de rotura de carga, válvula limitadora de caudal, válvula de regulación y válvula de propósito general.

Para la simulación de las concentraciones de cloro en una red, todos los nodos admiten como dato la calidad inicial del agua, es decir, la concentración inicial de la sustancia cuya presencia en el agua se desea analizar (campo calidad Inicial). De igual modo, en las tuberías se pueden introducir los coeficientes de reacción tanto en el seno del fluido como en la pared de la conducción, para el análisis del decaimiento (o aumento) de la sustancia que se analiza en la red.

Sobre las unidades de las magnitudes en EPANET, la versión española trabaja por defecto en el Sistema Internacional, tomando los caudales en litros por segundo, los diámetros en milímetros y la rugosidad en milímetros. La información completa sobre las unidades se encuentra en el menú Ayuda/Unidades.

Además de los componentes físicos, EPANET utiliza tres tipos de objetos informativos como curvas, patrones. Que describen el comportamiento y los aspectos operacionales de un sistema de distribución.

3.3.2 Elementos No Físicos

3.3.2.1 Curvas. Las Curvas son objetos que representan la relación existente entre pares de datos por medio de dos magnitudes o cantidades. Dos o más objetos pueden formar parte de la misma curva. Un modelo de EPANET puede utilizar los siguientes tipos de curvas:

- Curva de Característica de una Bomba
- Curva de Rendimiento
- Curva de Volumen

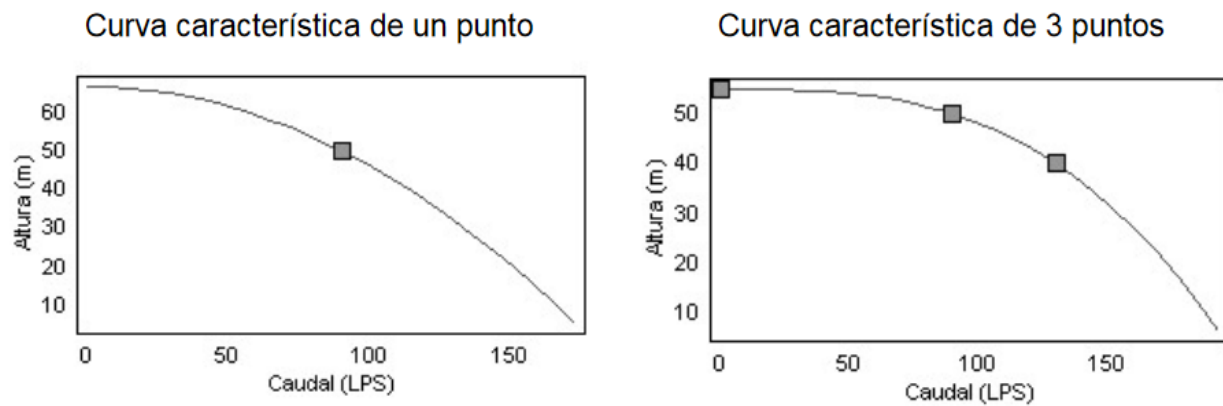
- Curva de Pérdidas

Curva Característica de una Bomba

La curva característica representa la relación entre la altura y el caudal que puede desarrollar a su velocidad nominal. La altura es la energía que la bomba aporta al agua y se representa en el eje vertical (Y) en metros. El Caudal se representa en el eje horizontal (X) en LPS. Una curva característica válida debe disminuir la altura a medida que aumenta el caudal.

Figura 16.

Curva Característica de uno y tres puntos



Nota. Curva Característica de uno o tres puntos. adaptada de Ejemplo de Curvas Características., Rosman, Lewis A. (2012). EPANET 2 MANUAL DE USUARIO.

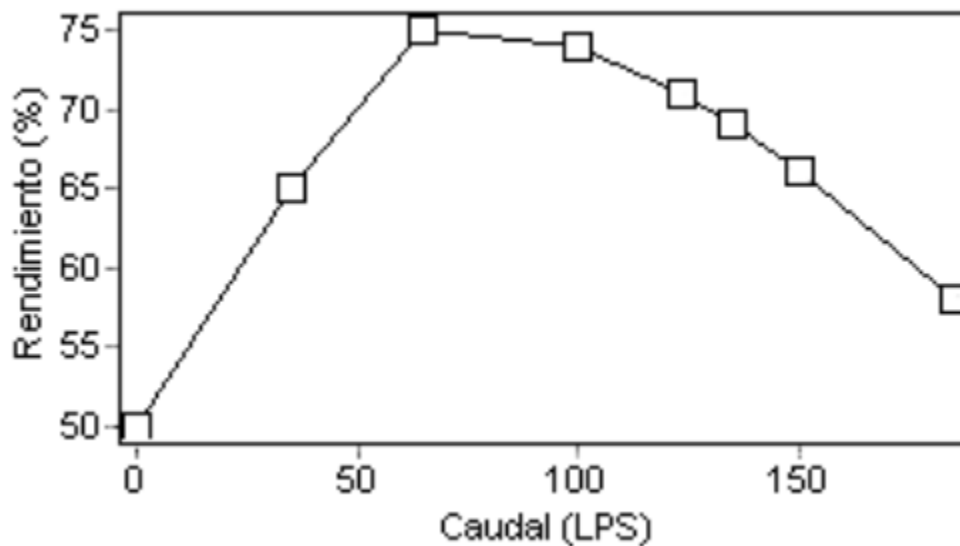
Estas imágenes tomadas del Manual de usuario de EPANET.

Curva de Rendimiento

La Curva de Rendimiento determina el rendimiento de la bomba, en porcentaje, con función del caudal de la bomba en LPS. Un ejemplo de curva de rendimiento se muestra en la Figura. Representa el rendimiento total, es decir, contempla tanto el rendimiento mecánico de la bomba como el rendimiento eléctrico del motor de esta. Ésta curva se usa únicamente para cálculos energéticos. Si no determinamos la curva de rendimiento para una bomba se usará una curva de rendimiento genérica prefijada.

Figura 17.

Curva de Rendimiento



Nota. Curva de Rendimiento. Reproducida de Curva de Rendimiento de una Bomba., Rosman, Lewis A. (2012). EPANET 2 MANUAL DE USUARIO.

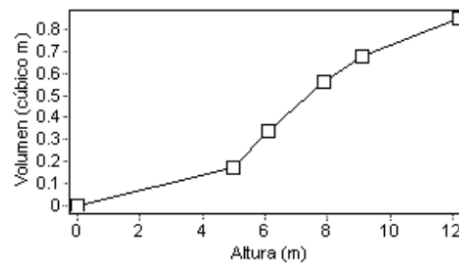
Curva de Volumen

La Curva de Volumen determina como el volumen de agua en el tanque en el eje Y, varía en función del nivel de agua en el eje X en metros. Se usa cuando es necesario representar exactamente

tanques cuya sección transversal varía con altura. Los valores mínimos y máximos de niveles de agua representados por la curva deben de ser los niveles mínimos y máximos entre los que trabaja el tanque. Un ejemplo de la curva de volumen de un tanque se muestra a continuación.

Figura 18.

Curva de Volumen



Nota. Curva de Volumen. Reproducida de Curva de Volumen de un tanque., Rosman, Lewis A. (2012). EPANET 2 MANUAL DE USUARIO.

Curva de Pérdidas

La Curva de Pérdidas se usa para representar las pérdidas en eje Y en unidades de presión, pies o metros, en una Válvula de Propósito General (VPG) en función del caudal en el eje X en unidades de caudal. Esto nos da la oportunidad de modelizar dispositivos y situaciones con una relación de pérdidas-caudal específica, tales como válvulas de control de flujo o de control de flujo inverso, turbinas, y descenso dinámico del nivel en pozos.

3.3.2.2 Patrones. Un Patrón de Tiempo es una colección de factores que pueden aplicarse a una cantidad para representar que varía a lo largo del tiempo. Demandas en los nudos, alturas de depósitos, programas de bombas, y fuentes de calidad de agua pueden tener patrones de tiempo asociados. El intervalo de tiempo utilizado en todos los patrones es un valor

fijo, determinado. Dentro de este intervalo la cantidad asociada permanece constante, igual al producto de su valor nominal y el factor en ese periodo de tiempo. Además, todos los patrones deben utilizar el mismo intervalo de tiempo, cada uno puede tener un diferente número de periodos. Cuando el reloj de la simulación exceda el número de periodos en el patrón, el patrón se reiniciará de nuevo al primer periodo.

Como ejemplo de cómo trabaja un patrón de tiempo consideramos un nudo conexión con una demanda media de 20 L/S. Suponiendo un intervalo de tiempo de 4 horas y un patrón con los siguientes factores específicos de la demanda en el nudo:

Tabla 6.

Ejemplo Patrón de Tiempo

Periodo	1	2	3	4	5	6
Factor	0,5	0,8	1,0	1,2	0,9	0,7

Nota. Patrón de tiempo. Adaptada de pág. 36 patrones de tiempo., Rosman, Lewis A. (2012).

EPANET 2 MANUAL DE USUARIO.

Entonces a lo largo de la simulación, la demanda real en el nudo será de:

Tabla 7.

Horas vs Demanda

Horas	0-4	4-8	8-12	12-16	16-20	20-24
Demanda	10	16	20	24	18	14

Nota. Patrón de tiempo. Adaptada de pág. 36 patrones de tiempo., Rosman, Lewis A. (2012).

EPANET 2 MANUAL DE USUARIO.

3.4 Teoría De Perdidas Implementada En Epanet.

EPANET está diseñado para saber el movimiento y el destino del agua en una red de distribución, no tiene límite del tamaño de la red, calcula las pérdidas por fricción en la conducción mediante las expresiones de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, o Chezy-Manning. El programa arroja resultados de cálculo hidráulico en estado cuasi estáticos.

Tabla 8.

Métodos para Pérdida de Energía

Formula	Coefficiente de Resistencia (A)	Exponente de caudal (B)
Hazen-Williams	$4.727 C^{-1.852} d^{-4.871} L$	1.852
Darcy-Weisbach	$0.0252 f(E, d, q) d^{-5} L$	2
Chezy-Manning	$4.66 n^2 d^{-5.33} L$	2

Nota. Métodos para calcular pérdidas de energía., Rosman, Lewis A. (2012). EPANET 2 MANUAL DE USUARIO.

En la tabla 10, se encuentra las formula que se manejan en EPANET según sea el método de preferencia que se utilice, para el desarrollo del proyecto de utilizo Darcy Weisbach.

Donde,

- C es el coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams.
- E es el coeficiente de rugosidad de Darcy-Weisbach [ft].
- f es el factor de fricción (depende de E, d, y q).
- n es el coeficiente de rugosidad de Manning.
- d es el diámetro de la tubería [ft].
- L es la longitud de la tubería [ft].
- q es el caudal [cfs].

La ecuación de Darcy -Weisbach para conductos a presión, con un de diámetro interior constante es:

$$hf = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2 \times g} \quad (1) \text{ Darcy- Weisbach}$$

Donde,

- f es el factor de fricción (adimensional).
- D es el diámetro (m).
- g es la gravedad (m/s^2).
- L es la longitud (m).
- v es la velocidad (m/s).

Esta ecuación fue formulada por Darcy-Weisbach. Para su utilización es necesario conocer el coeficiente de fricción, ecuación de Hagen-Poiseuille para flujo laminar con el número de Reynolds (Re) inferior a 2000:

$$Re = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} \quad (2)$$

$$f = \frac{64}{Re} \quad (3)$$

Donde,

- ρ es la densidad del fluido (kg/ m^3).
- v es la velocidad (m/s).
- D es el diámetro (m).
- μ es la densidad dinámica (kg/ m^3).

Para flujo turbulento con $Re < 4000$, se trabaja con la ecuación de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{K_s}{3,7\phi} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (4)$$

Donde

- E es la rugosidad de la tubería.
- d es el diámetro de la tubería.
- Ks es la rugosidad absoluta (m).
- ϕ Es el diámetro (m).

A continuación, la tabla de rugosidades absolutas de materiales (ks),

Tabla 9.

Rugosidad de algunos Materiales

Rugosidad absoluta	
Material	K _s (mm)
Vidrio	0.0003
PVC, CPVC	0.0015
Asbesto cemento	0.03
GRP	0.03
Acero	0.046
Hierro forjado	0.06
CCP	0.12
Hierro fundido asfaltado	0.12
Hierro galvanizado	0.15
Arcilla vitrificada	0.15
Hierro fundido	0.15
Hierro dúctil	0.25
Madera cepillada	0,18 a 0,90
Concreto	0,30 a 3,00
Acero bridado	0,90 a 9,00

Nota. Rugosidad absoluta. adaptada de Rugosidad absoluta para materiales utilizados en la conducción de fluidos., De Plazas, J. (2017). Ejercicios Prácticos en EPANET.

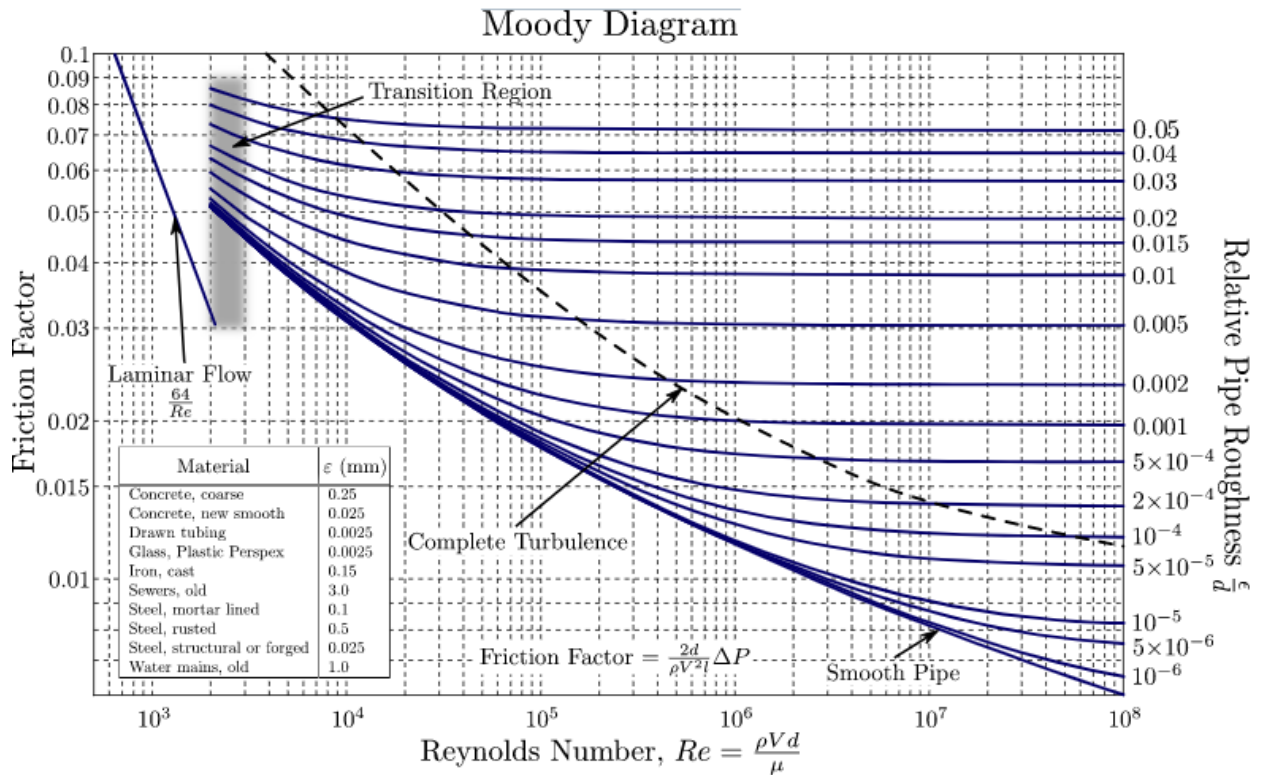
En la figura, se muestran las rugosidades absolutas de algunos materiales, para el proyecto los materiales utilizados fueron el plástico con un coeficiente de 0.0015 [mm] y el acero fundido de

0,0024 [mm]. Se puede hallar el coeficiente de fricción de Darcy (f) con el diagrama de Moody para $2000 < Re < 4000$.

$$Y3 = -0,86859 \ln \left(\frac{E}{3,7d} + \frac{5,74}{4000^{0,9}} \right) \quad (5)$$

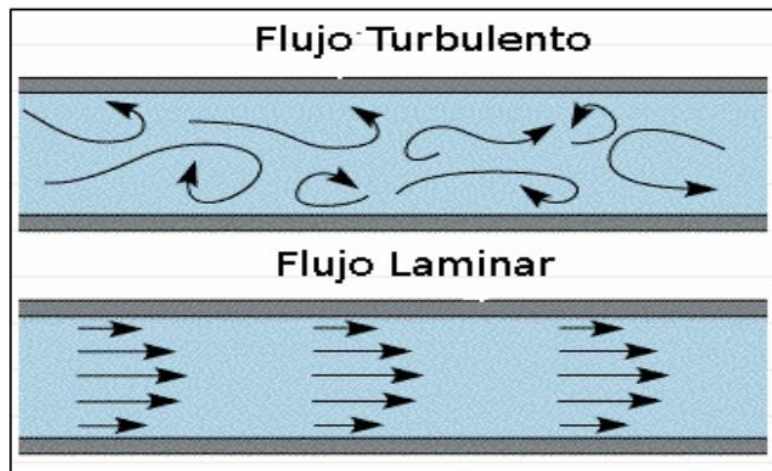
Figura 19.

Diagrama de Moody



Nota. Diagrama de Moody. Reproducida de Moody Diagram. De

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d9/Moody_EN.svg

Figura 20.*Tipos de Flujo*

Nota. Flujo Laminar y Flujo Turbulento. Reproducida de Flujo Laminar y Flujo Turbulento., GONZALEZ, M., (2011). <http://fisica.laguia2000.com/dinamica-clasica/flujo-laminar-y-flujoturbulento#ixzz4btYRNyUT>.

En la imagen, se muestra los dos tipos de flujos, el primero es el flujo turbulento este maneja velocidades altas que a su vez generan desorden en las trayectorias de las partículas de fluido y esto genera que en el flujo se generen remolinos. El segundo es el flujo laminar este es lo opuesto al flujo turbulento, maneja velocidades bajas y su movimiento es ordenado y suave, no estremece la tubería.

En la resolución del método de gradiente en EPANET, se comienza con un valor estimado del caudal en cada tubería, este no tiene por qué satisfacer las ecuaciones de continuidad (EPA 2006), esta iteración se encuentra por el método matricial.

$$AH = F \quad (6)$$

Donde,

- A es la matriz Jacobiana(N*N).
- H es el vector de las alturas incógnitas en los nudos (N*1).
- F es el vector de los términos del lado derecho de la igualdad (N*1).

El método de matrices dispersas es la reordenación de los nudos y solo se lleva a cabo una vez en el análisis (EPA 2006). “Los elementos de la diagonal principal de la matriz de Jacobiana” (EPA 2006), son:

$$A_{ii} = \sum P_{ij} \quad (7)$$

Siendo, P_{ij} la inversa parcial con respecto al caudal de las pérdidas en la línea entre los nudos i y j. Luego de que se calculen las nuevas alturas por la ecuación (6), los calculas se calculan así:

$$Q_{ij} = Q_{ij} - (Y_{ij} - P_{ij}(H_i - H_j)) \quad (8)$$

Esta ecuación cumple con la continuidad después de la primera iteración. Para la red de distribución se debe tener en cuenta los coeficientes de perdidas menores (km), a continuación, algunos km para accesorios.

Tabla 10.

Coefficientes de perdidas menores para algunos accesorios

Accesorio	Coef. Perdidas
Válvula de globo, toda abierta	10.00
válvula de ángulo, toda abierta	5.00
Válv. Retenc. Clapeta, toda abierta	2.50
Válvula compuerta, toda abierta	0.20
Codo radio pequeño	0.90
Codo radio mediano	0.80
Codo radio grande	0.60
Codo a 45 grados	0.40
Codo de retorno (180°)	2.20
Te estándar - flujo recto	0.60
Te estándar - flujo desviado	1.80
entrada brusca	0.50
salida brusca	1.00

Nota. Cálculo de pérdidas de carga en tuberías. Reproducida Cálculo de pérdidas de carga en tuberías, Miliarium. (2017).

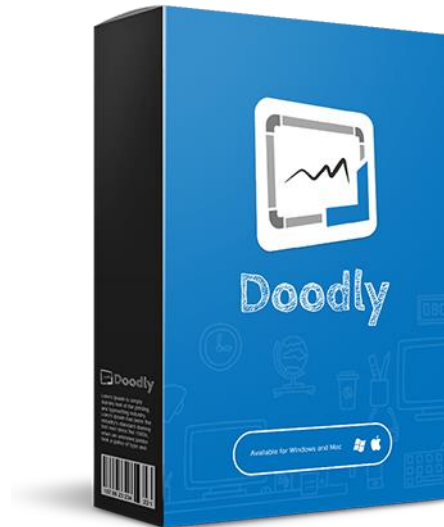
<http://www.miliarium.com/Prontuario/MedioAmbiente/Aguas/PerdidaCarga.asp>

La Tabla, muestra los coeficientes de perdidas menores de Darcy Weisbach de algunos accesorios que se encuentran en la red de distribución de agua potable.

3.5 Que es Doodly

Figura 21.

Ilustración Software Doodly



Nota. Ilustración Programa Doodly. Adaptada de Doodly., Rosman, Lewis A. (2020).
<https://www.doodly.com/>

Doodly es un innovador software que permite obtener videos animados personalizados a bajo costo de manera fácil y rápida desarrollado para permitir la creación de videos dibujados. La principal función de Doodly es generar secuencias de animación similares a las que ofrecen los animadores profesionales, pero con una calidad que dará la necesaria que permita cumplir los objetivos por el que cada video se haya creado.

Es un creador de videos cuyo nombre hace referencia al formato Doodly, un estilo de video explicativo que simula una mano dibujando todo el trazado de la animación. Durante ese trayecto se puede agregar voz o música.

Integración de un importante número de objetos dibujados a mano, música liberada de derechos de autor e insertar tus propias imágenes y adaptarlas al formato dibujo. Estas son algunas de las

funciones que ofrece Doodly, que se perfila como una importante solución para negocios que quieren reforzar su plan de difusión utilizando como herramienta videos animados.

3.6 ¿Qué es un CMS?

Para quien no sepa que es un CMS (Content Management System o Sistema de Gestión de Contenidos), se trata de un software comúnmente instalado en un servidor que permite la gestión completa de un sitio web, ya sea un Blog o de cualquier tipo, a través de una interfaz gráfica y un sistema específicamente diseñado para ello. Ello permite que cualquier persona, sin ningún tipo de conocimientos en informática, programación o redes, pueda crear y gestionar su propia página web. Los modernos CMS's y en especial WordPress, han favorecido la enorme proliferación y competencia de páginas web y Blogs en internet, y han hecho de internet un área de oportunidad.

3.7 Entre Todos, ¿Por Qué Wordpress?

La tremenda popularidad de WordPress se debe, entre otras causas, a su licencia (libre y gratuita), su facilidad de uso y sus características únicas y flexibilidad como gestor de contenidos. WordPress es infinitamente expandible y modelable gracias a, y sin exagerar, los millones de temas y plugin (extensiones y modificaciones de funcionalidad), tanto gratuitos como de pago, disponibles para esta plataforma. La comunidad de desarrolladores en torno a este CMS crece día a día, ampliando sus posibilidades y facilitando la vida a sus usuarios.

¿Qué es WordPress?

En esencia, WordPress es una popular forma de crear su propio sitio web o blog. De hecho, WordPress tiene más del 40.0% de todos los sitios web en Internet. Sí, es probable que WordPress funcione con más de uno de cada cuatro sitios web que visita.

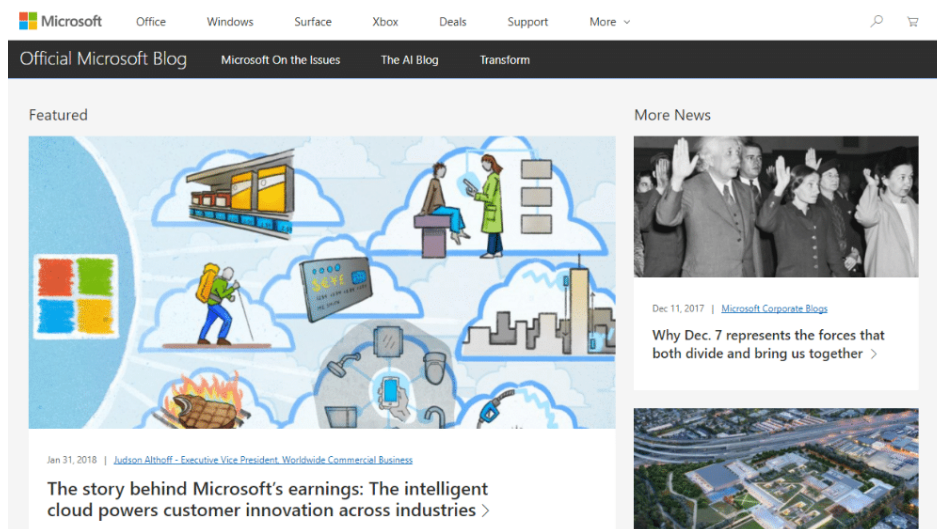
En un nivel un poco más técnico, WordPress es un sistema de gestión de contenido de código abierto con licencia GPLv2, lo que significa que cualquier persona puede usar o modificar el software de WordPress de forma gratuita. Un sistema de administración de contenido es básicamente una herramienta que facilita la administración de aspectos importantes de su sitio web, como el contenido, sin necesidad de saber mucho sobre programación.

WordPress es utilizado por individuos, grandes empresas y todos los demás. En una nota inmediata, ¡nosotros usamos WordPress! Entonces, el mismo sitio que estás viendo ahora está impulsado por WordPress. Muchas otras entidades conocidas también usan WordPress. Estos son algunos de nuestros ejemplos favoritos:

Microsoft usa WordPress para impulsar su blog oficial. También usa WordPress para impulsar blogs para productos específicos como Windows y Skype:

Figura 22.

Sitio web de Microsoft



Nota Página de inicio de La Empresa Microsoft. Adaptada de Microsoft., (2020).

<https://www.microsoft.com/es-co>

¡Incluso las bandas famosas! El sitio de The Rolling Stones funciona completamente por WordPress:

Figura 23.

Sitio Web the Rolling Stones



Nota Página de inicio la Banda The Rolling Stones. Adaptada de Página de inicio la Banda The Rolling Stones., (2020). <https://rollingstones.com/>

4. Método Didáctico

A continuación, se explicará el procedimiento que se debe seguir para desarrollar la catedra y labor de docencia en la asignatura Sistemas de Transporte y Aprovechamiento de Fluidos, con el fin de mostrar de forma clara y detallada los pasos que se llevan a cabo para diseñar el proceso de enseñanza mediante el programa EPANET para la realización de ejercicio que aceleren la comprensión y entendimiento de la asignatura.

4.1 Metodología Propuesta

el proceso de elaboración de este proyecto de grado se enfocó en la indagación de fuentes bibliográfica, enfocado en la importancia de las herramientas que las nuevas tecnologías nos disponen para el desarrollo del aprendizaje. Ya que en estos tiempos cada vez más las (TIC), van abarcando un gran protagonismo importante en las nuevas generaciones, ya sea en lo científico, tecnológica, política social y cultural. Hoy día las (TIC) en los espacios de las aulas son una herramienta que permite transformar la forma en que el estudiante y el docente acceden al conocimiento e información.

En base a esto se recurren a software como EPANET, que proyecta de una forma efectiva la manera en que se pueden abordar distintas situaciones o problemas en que el estudiante pueda desarrollar su competencia de aprendizaje de la asignatura Sistemas de Transporte y Aprovechamiento de Fluidos. En ese caso, se propuso una serie de ejercicio, para que el estudiante comprenda los fundamentos básicos de la asignatura. Con el fin de fortalecer las falencias que pueda tener a la hora de usar el software EPANET.

4.1.1 Recolección Banco de Ejercicios

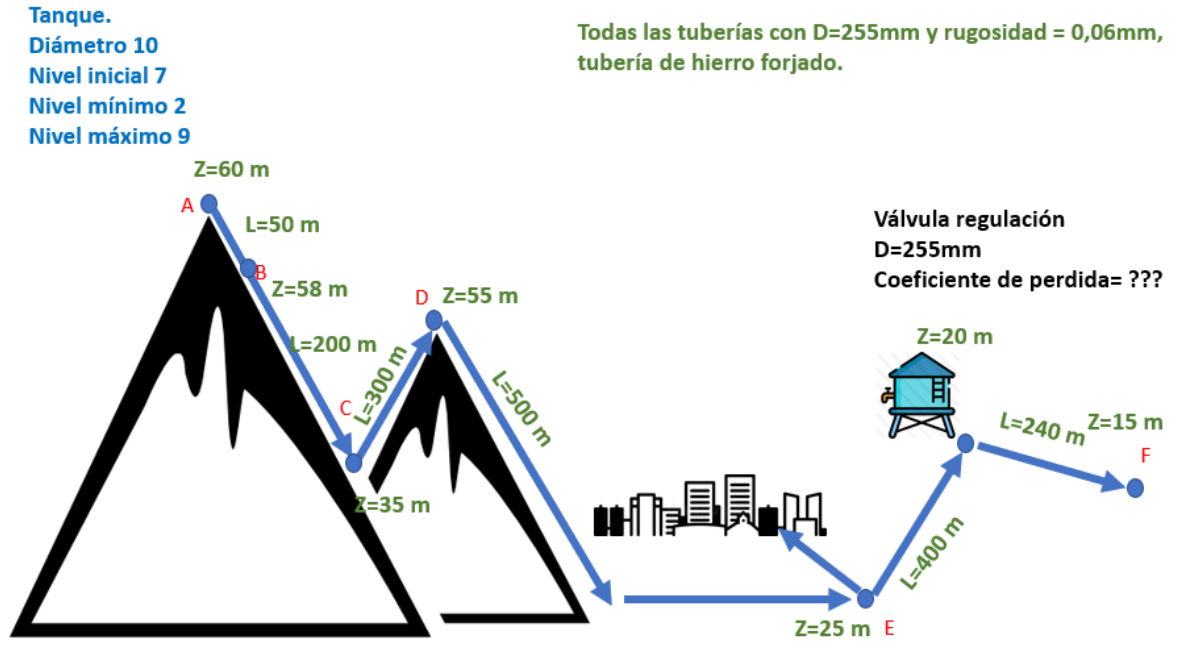
A la hora de buscar los ejercicios para este proyecto, se tuvo en cuenta el plan del curso y las referencias bibliográficas que este tiene, con el fin de buscar las competencias principales que el estudiante no comprenda y enfocar la forma de abarcar el tema para que pueda este identificar que hacer, por lo que se propuso 4 ejercicios en donde se puede visualizar gran parte de las competencias que se enseñan en la asignatura Sistemas de Transporte y Aprovechamiento de Fluidos.

4.1.1.1 Primer Ejercicio Propuesto: Suministro de un Pueblo Colombiano, Distribución de Agua por Gravedad. En un pueblo antioqueño ubicado en la cordillera central, destaca por la hermosura de sus montañas exuberantes y de gran vegetación, que dejaran

extasiados todos los sentidos de aquel espectador que se encuentre en este pueblo. Pero esta gran maravilla de la naturaleza pone algunos problemas a la hora de distribuir agua potable a sus habitantes. Se ha diseñado una línea de conducción para abastecer a tres poblaciones el preciado líquido proveniente de las montañas, donde la tubería debe pasar diferentes tipos de alturas como se muestra en la figura.

Figura 24.

Representación gráfica primer ejercicio



Este diseño originalmente contempla una demanda base de 30 LPS en el primer poblado y abastecer con 40 LPS el tanque de suministrar agua a los otros dos poblados. Una vez que se inaugura la obra, la línea no cumple con las especificaciones, aportando un caudal menor y presentando un flujo inestable con ruido excesivo.

4.1.1.2 Segundo Ejercicio Propuesto: Distribución de Agua por Medio de una Bomba. Una industria papelera y el sector residencial construido para las familias de su personal

se abastecen de agua desde un depósito 1 de nivel constante, mediante un sistema de transporte por tubería cuyo esquema se muestra en la figura adjunta. El sistema está diseñado para suministrar 100 L/s a la fábrica (Nodo 3) y 25 L/s al sector residencial (Nodo 4). Con la válvula de compuerta (VC) y una de las válvulas de regulación (VR) operando totalmente abiertas, la presión manométrica a la entrada de la planta industrial es de 30 [mca], y a la entrada del sector de viviendas es de 20 [mca]. Con estas condiciones determinar:

- Configurar las 2 válvula de reductoras de presión.
- Configurar una válvula cheque con una pérdida de energía de $K_m=130$

Tubería de acero comercial SCH 40.

Puntos de la curva característica:

Tabla 11.

Puntos de curva característica

Caudal	Altura
0	150
200	100
280	0

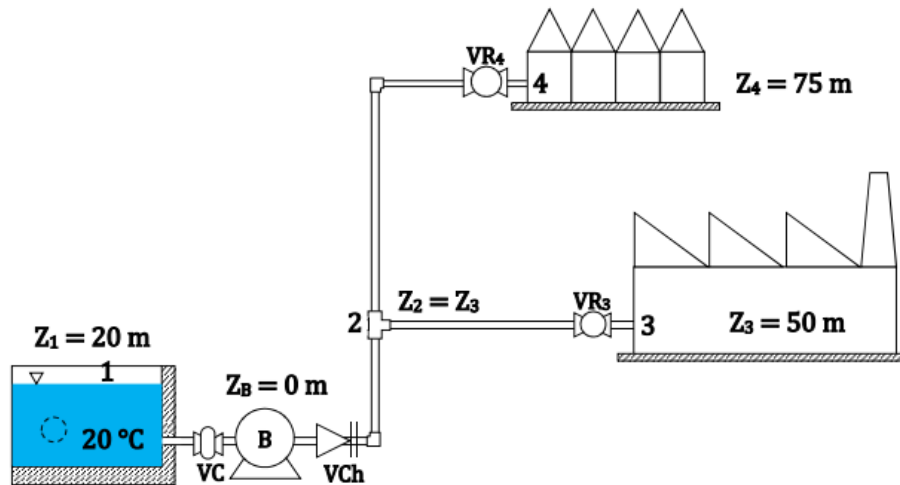
Tabla 12.

Longitud y Diámetro Nominal Tramos 1B, B2, 23, 24

Tramo	Longitud [m]	Diámetro Nominal [in]
1B	20	16
B2	500	16
23	800	12
24	1000	6

Figura 25.

Representación Gráfica Segundo Ejercicio



4.1.1.3 Tercer Ejercicio Propuesto: Red de Distribución de una Ciudad. En el siguiente esquema vemos una población que contiene áreas residenciales, escuela, fábrica, centro comerciales, conectadas con una tubería de acero, donde estos tienen diferentes demandas a lo largo del día. Hay un tanque que se encarga de suministrar un constante flujo de agua a la red de distribución, hay instalada una bomba que se enciende cuando el nivel del tanque desciende a un nivel mínimo. Esta bomba obtiene agua de un lago.

- Se desea saber la presión de cada nudo de consumo en el sistema a las 9:00 horas.

El costo de funcionamiento de la bomba en un año, con un valor de 630 \$/kw-h. En la comunidad hay 2 tipos de patrones de demanda:

- La residencial que ocupa los nudos E y I, estas tienen un consumo de 1:00 a 4:00 de 10 % de su demanda total, de 4:00 a 9:00 el 100 %, de 9:00 a 18:00 35 %, de 18:00 a 24:00 20 %.

- La industrial que ocupa los nudos C, G y K, estas tienen 1:00 a 8:00 0 % , de 8:00 a 12:00 100 %, de 12:00 a 14:00 50%, de 14:00 a 16:00 100%, de 16:00 a 24:00 0%.

El patron de encendido de la bomba es importante tambien, es el siguiente de 6:00 a 12:00 encendida, y de 12:00 a 14:00 apagada, de enciende denuevo de 14:00 a 18:00, se apaga hasta las 20:00, se vuelve a prender de 20:00 a 3:00.

Para que el tanque se encuentre con un nivel correto, que garantixe el fujo de agua a la comunidad, se intalo una bomba, esta tiene una maxima eficiencia con 20 [LPS] con una altura de 65 [metros]. El tanque tiene una cota de 2000 [m], nivel inicial 9 [m], nivel minimo 2 [m], nivel maximo 13 [m] y diametro 15[m].

Figura 26.

Representación Gráfica Tercer Ejercicio

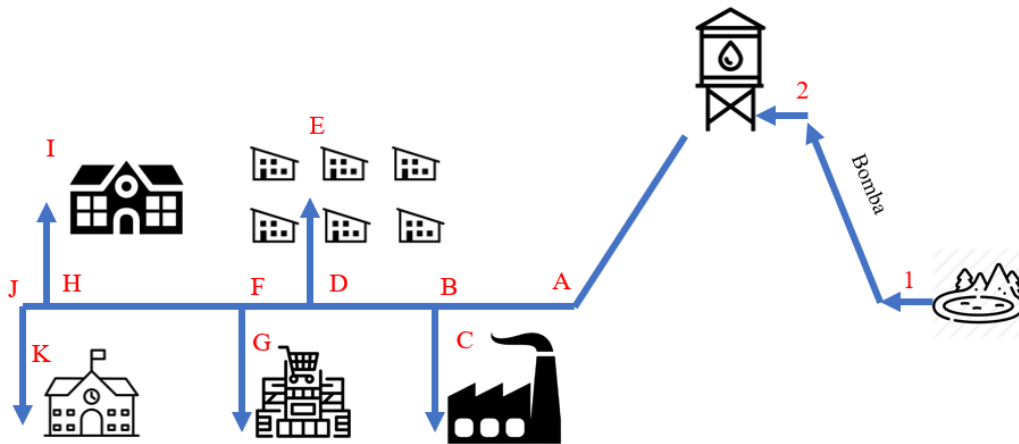


Tabla 13.

Cotas y Demandas de los Nudos

Cotas y Demandas		
Elementos	Cota (msnm)	Demanda (L/s)
Tanque	2000	Suministra (no aplica)
Nudo 1	1981	0
Nudo 2	2000	0
Lago	1981	Suministra (no aplica)
Nudo A	1981	0
Nudo B	1981	0
Nudo C	1980	2
Nudo D	1981	0
Nudo E	1987	2
Nudo F	1981	0
Nudo G	1980	1,8
Nudo H	1981	0
Nudo I	1990	0,7
Nudo J	1081	0
Nudo K	1980	1,5

Tabla 14.

Datos de la Tubería

Tubería			
Tramo	Tubería de acero		Rugosidad (mm)
	Longitud (m)	Diámetro (mm)	
L-1	130	128	0,046
2-Tanque	70	128	
Tanque – A	550	102,3	
A - B	300	102,3	
B - C	150	90,1	
B - D	200	102,3	
D - E	150	90,1	
D – F	100	102,3	
F – G	150	90,1	
F – H	150	102,3	
H - I	150	90,1	
H-J	100	90,1	
J-K	150	90,1	

Tabla 15.

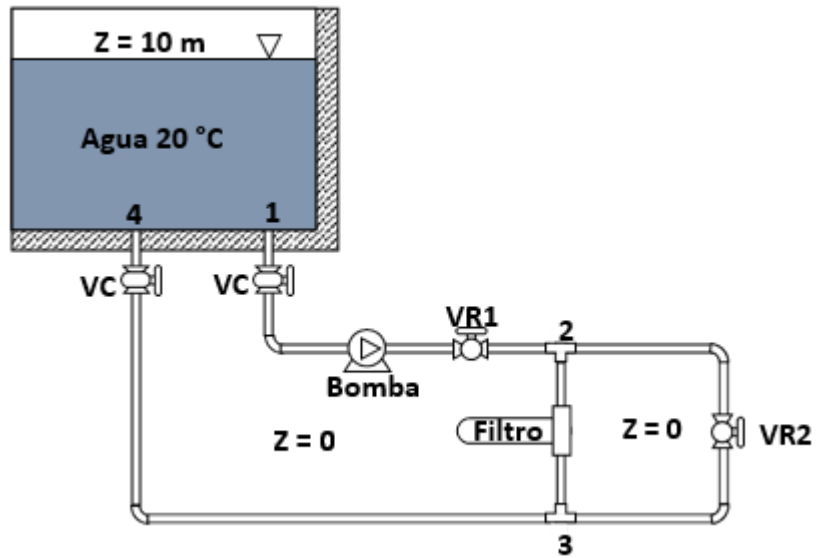
Datos Curva de Eficiencia

Curva de eficiencia	
Caudal	Rendimiento
0	0
1,2	15,9
2,4	36,5
3,6	56,9
4,9	72,4
6,1	78,2
7,4	69,5
8,6	41,7

4.1.1.4 Cuarto Ejercicio Propuesto: Complejo Deportivo con Sistema de Filtrado. Un importante complejo deportivo posee el sistema de filtrado de agua indicado en el esquema de la figura.

Figura 27.

Representación Gráfica Cuarto Ejercicio



Ecuación de la curva real de operación de la bomba:

$$h_w B [m] = 40 - 0.466 \times Q_B [L/s] + 0.1536 \times Q_B^2 [L/s] - 0.0159 \times Q_B^3 [L/s]$$

Ecuación de la eficiencia total de la bomba:

$$\eta_B[\%] = 5.6 \times Q_B[\text{L/s}] + 1.024 \times Q_B^2[\text{L/s}] - 0.0808 \times Q_B^3[\text{L/s}]$$

El sistema tiene instaladas cuatro válvulas: Dos válvulas de corte (VC), de compuerta, totalmente abiertas. Dos válvulas de regulación (VR1 Y VR2), de globo, trabajan parcialmente abiertas.

Los datos de las tuberías de acero comercial SCH 40 son como se muestra en la siguiente tabla

Tabla 16.

Datos de las Tuberías

Tramo	D_{nom} [in]	L [m]
1-iB	3 ½	65
2-3 por el filtro	2 ½	20
2-3 por VR2	2 ½	30
3-4	3 ½	75

El filtro está instalado en el punto medio del tramo 2-3 y sus especificaciones son:

Presión máxima de servicio: 3.5 [bar].

Caudal a filtrar: 7 [L/s].

Las pérdidas de carga en el filtro están dadas por:

$$\Delta P[\text{pa}] = 2450 \times Q[\text{L/s}]^2$$

Calcular las presiones en las conexiones 2 y 3, y el caudal que pasa por la válvula 1 y 2 además del caudal del filtro y calcular los porcentajes de apertura que deben tener las válvulas de regulación para cumplir las especificaciones de filtrado.

4.1.1.5 Quinto Ejercicio Propuesto: Alimentación de Refrigerante Hacia Tanque Presurizado y Recirculación. Se bombea refrigerante desde un tanque colector hacia otro tanque elevado y presurizado a 10 [psi], desde el cual el refrigerante recircula hacia las máquinas.

En las líneas de alimentación de refrigerante a las máquinas se dispone de las válvulas de regulación (válvulas de globo) VR1Y VR2, una de las cuales opera totalmente abierta. El caudal con que se alimenta a la máquina herramienta 1 es de 30 GPM. A la temperatura promedio de operación, El líquido tiene una gravedad específica de 0.92 y viscosidad dinámica de $3.6 \cdot 10^{-5}$ [lbf-s/ft²]. La constante de pérdida del filtro es de 70 (Con base en la cabeza de velocidad en tubo). La bomba opera con eficiencia del 87% y transmite al refrigerante 2 hp de potencia. La tubería es de acero comercial SCH 40. Los diámetros y longitudes de los tramos se especifican en la siguiente tabla:

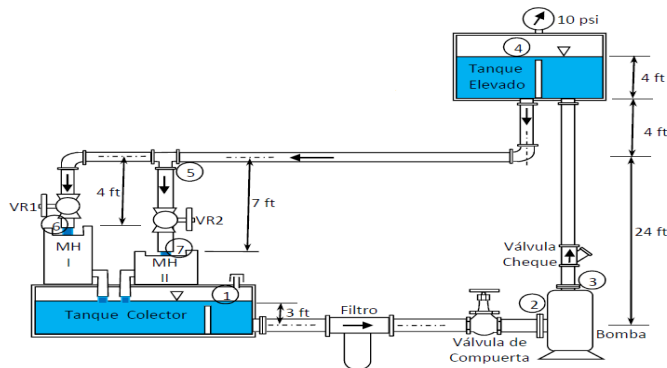
Tabla 17.

Diámetros y Longitudes de los 5 tramos de tubería

Tramo de tubería	longitud [ft]	Diámetro Nominal [in]
1-2	15	2½
3-4	26	2
4-5	30	2
5-6	24	2
5-7	10	2

Figura 28.

Representación Gráfica Quinto Ejercicio



4.1.2 Solución en Epanet de los Ejercicios Propuestos

4.1.2.1 Solución Primer Ejercicio Propuesto: Suministro de un Pueblo Colombiano, Distribución de Agua por Gravedad. En un pueblo antioqueño ubicado en la cordillera central, destaca por la hermosura de sus montañas exuberantes y de gran vegetación, que dejaran extasiados todos los sentidos de aquel espectador que se encuentre en este pueblo. Pero esta gran maravilla de la naturaleza pone algunos problemas a la hora de distribuir agua potable a sus habitantes. Se ha diseñado una línea de conducción para abastecer a tres poblaciones el preciado líquido proveniente de las montañas, donde la tubería debe pasar diferentes tipos de alturas como se muestra en la figura.

Figura 29.

Representación Gráfica Primer Ejercicio



Este diseño originalmente contempla una demanda base de 30 LPS en el primer poblado y abastecer con 40 LPS el tanque de suministrar agua a los otros dos poblados. Una vez que se

inaugura la obra, la línea no cumple con las especificaciones, aportando un caudal menor y presentando un flujo inestable con ruido excesivo.

Solución

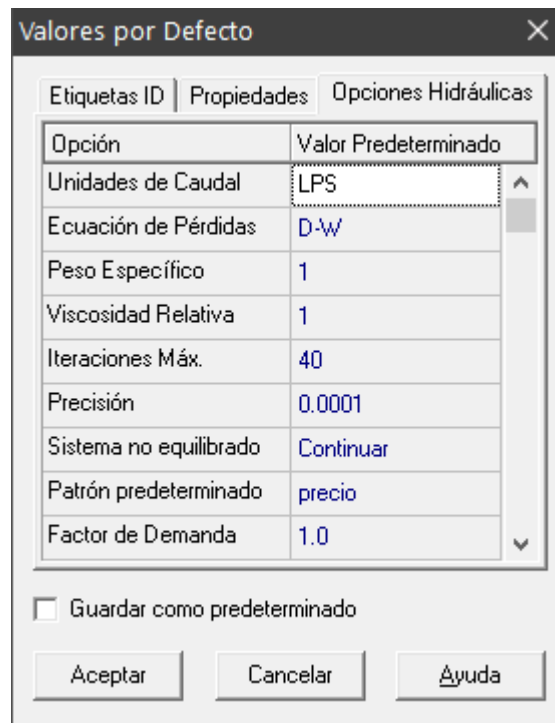
Se contrata a un ingeniero mecánico UIS que con sus excelentes conocimientos de EPANET, nos plantea una falta de caudal y un ruido excesivo, que se debe al terreno accidentado debido a las diferencias de altura que se nos presentan. Para solucionar esto, hay que hacer de uso de válvulas.

Paso 1. Dibujar el Plano de la Red

Antes de empezar la simulación es importante configurar el sistema de unidades, elegir una de las metodologías de cálculo que nos proporciona el programa, definir el tipo de fluido y otras opciones que son necesarias antes de empezar el modelo. Cuando estemos en EPANET en la barra menú se da clic en proyecto, luego vamos a valores por defecto, nos abrirá una ventana con 3 pestañas, iremos a la pestaña opciones hidráulicas, y encontraremos las configuraciones de caudal, peso específico, tipos de cálculo de pérdidas, viscosidad, etc. Debemos cerciorarnos que las unidades del caudal sean LPS la ecuación de pérdidas será Darcy-Weisbach (D-W), la viscosidad relativa, así como el peso específico serán de 1 debido a que el fluido es agua.

Figura 30.

Ventana de Valores por Defecto - Primer Ejercicio

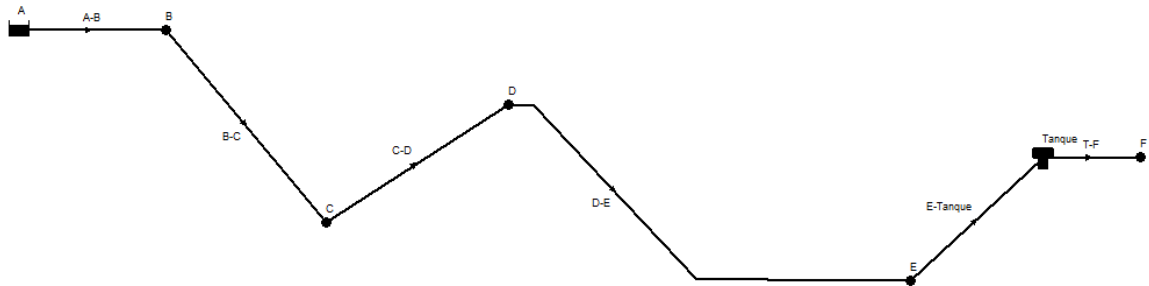


Paso 2. Introducir Elementos Físicos a la Red

Los elementos están ubicados en la barra de herramientas, y para añadirlos se da clic en el que se desee añadir, y se coloca en el lugar del plano de trabajo. Se recomienda primero añadir los embalses después, los nudos, las válvulas y por ultimo las tuberías. El lugar donde se coloquen los diferentes elementos, no se refleja en la altura o longitudes. Estas características se agregan a continuación, en las configuraciones de cada elemento. Como resultado nos queda un dibujo del plano de esta forma.

Figura 31.

Plano De Elementos - Primer Ejercicio



Recordemos que es importante configurar las opciones del plano, como se explicó en el ejercicio anterior, estos valores hay que configurar siempre que abramos EPANET. Es importante recordar eso.

Paso 3 Configuración De Las Propiedades de los Elementos Físicos de la Red.

Embalse

En este ejercicio se planteó un punto de extracción de agua en la cima de una montaña, esto lo simulamos con los embalses. Para la extracción en la cima de la montaña, la única propiedad que se cambia aquí es la *Altura total a la cual se le agrega un valor de 60 [m].

Figura 32.

Editor de Propiedades Embalse A

Embalse A	
Propiedad	Valor
*ID Embalse	A
Coordenada-X	-5008.50
Coordenada-Y	8112.24
Descripción	
Etiqueta	
*Altura Total	60
Patrón de Altura	
Calidad Inicial	
Fuente de Calidad	

CONEXIONES o NUDOS

Son conexiones para facilitar la numeración y para acomodar las válvulas y bombas, que requieren de un punto inicial y final, su cota y solo el nodo E, y F tiene una demanda base de 30 GPS y 40 GPS, esto representa el consumo de los pueblos, y los demás con demanda base de valores de 0.

Figura 33.

Editor de Propiedades Conexión B

Propiedad	Valor
*ID Conexión	B
Coordenada-X	-2780.61
Coordenada-Y	8146.26
Descripción	
Etiqueta	
*Cota	58
Demanda Base	0
Patrón de Demanda	
Categoría de Demanda	1
Coef. Emisor	
Calidad Inicial	
Fuente de Calidad	

Tubería

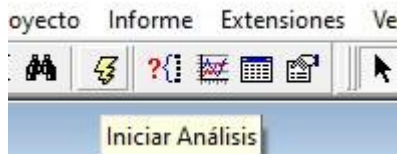
Todas las tuberías de este sistema tienen el mismo diámetro de 255 [mm], con rugosidad de 0,06 [mm], debido al material de la tubería que es hierro forjado, y la longitud varía entre cada una de ellas. Hay 4 tramo en este ejercicio. Este caso para el tramo D-E es 500 [m].

Figura 34.*Editor de Propiedades Tubería D-E*

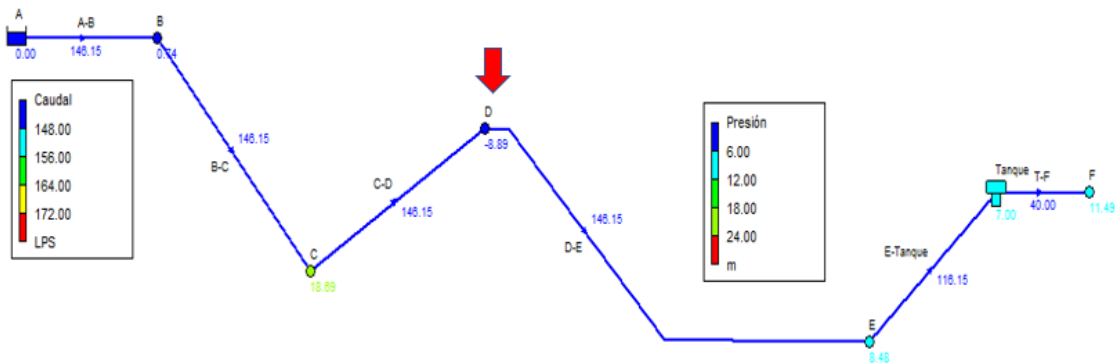
Propiedad	Valor
*ID Tubería	D-E
*Nudo Inicial	D
*Nudo Final	E
Descripción	
Etiqueta	
*Longitud	500
*Diámetro	255
*Rugosidad	0.06
Coef. de Pérdidas	0
Estado Inicial	Abierto
Coef. Flujo	
Coef. Pared	

Paso 4.**Simulación y resultados**

Se da clic en ejecutar ubicado en la barra de herramienta

Figura 35.*Iniciar análisis*

Final mente le damos en el icono iniciar análisis. Vemos que EPANET no muestra ningún cambio. Para visualizar los datos, nos dirigimos al visor, la pestaña planos seleccionados en nudos, presión y en líneas caudal.

Figura 36.*Primer Plano de Resultados – Primer Ejercicio*

Se verifica una presión negativa en el nodo D de -8.89 mca lo que facilita el ingreso de aire y la formación de una “bolsa” en este punto. Estas burbujas pueden originar pérdidas de carga de distinta magnitud que incluyen hasta la obturación total y el colapso del flujo, perturbación de mayor o menor gravedad del régimen de flujo y Golpes de ariete inducidos por escape de aire. La solución que propone implica la instalación de tres válvulas.

Paso 5.

Configuración de la Válvula

V1

La válvula V1, es muy importante. Ya que esta es la encargada de regular el caudal del circuito hidráulico, esto con el objetivo de aumentar la presión en los nodos que estén aguas arriba de la válvula, esto se hace aumentando el coeficiente de pérdida de la válvula. El diámetro de esta es de 255 [mm], en estado se configura en ninguno.

Figura 37.

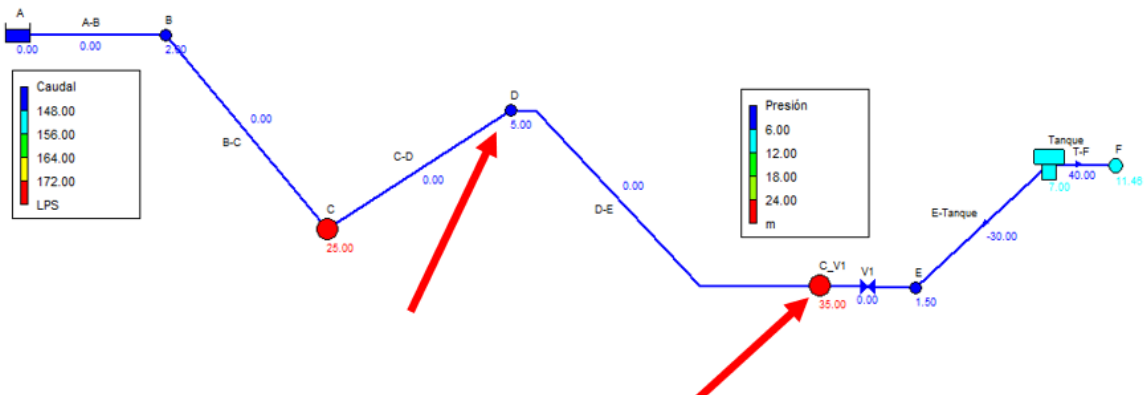
Editor de Propiedades Válvula V1

Propiedad	Valor
*ID Válvula	V1
*Nudo Inicial	C_V1
*Nudo Final	E
Descripción	
Etiqueta	
*Diámetro	255
*Tipo	Sostenedora
*Consigna	43
Coef. Pérdidas	0
Estado Fijo	Ninguno
Caudal	No Disponible
Velocidad	No Disponible

En el nudo E colocar una válvula sostenedora de caudal y ajusta la consigna a un valor de 43 [mca] para lograr en el nudo D una presión positiva de 5.00 [mca]. Verifica que se cumple con las especificaciones de caudal.

Figura 38.

Segundo Plano de Resultados - Primer Ejercicio



Adicionalmente Recomienda:

- En el nodo D se instale una válvula de expulsión y admisión de aire que posibilite el escape del aire acumulado. Esta válvula funcionará bien, porque la presión en el interior del tubo en D ya es mayor que la atmosférica.
- En el nodo C debe ser prevista descarga con válvulas para limpieza periódica de la tubería y también para posibilitar el vaciamiento cuando sea necesario.

4.1.2.2 Solución Segundo Ejercicio Propuesto: Distribución de Agua por Medio De una Bomba. Una industria papelera y el sector residencial construido para las familias de su personal se abastecen de agua desde un depósito 1 de nivel constante, mediante un sistema de transporte por tubería cuyo esquema se muestra en la figura adjunta. El sistema está diseñado para suministrar 100 L/s a la fábrica (Nodo 3) y 25 L/s al sector residencial (Nodo 4). Con la válvula de compuerta (VC) y una de las válvulas de regulación (VR) operando totalmente abiertas, la presión manométrica a la entrada de la planta industrial es de 30 mca, y a la entrada del sector de viviendas es de 20 mca. Con estas condiciones determinar:

- Configurar las 2 válvula de reductoras de presión.
- Configurar una válvula cheque con una pérdida de energía de $K_m=130$

Tubería de acero comercial cedula 40.

Puntos de la curva característica:

Caudal	Altura
0	150
200	100
280	0

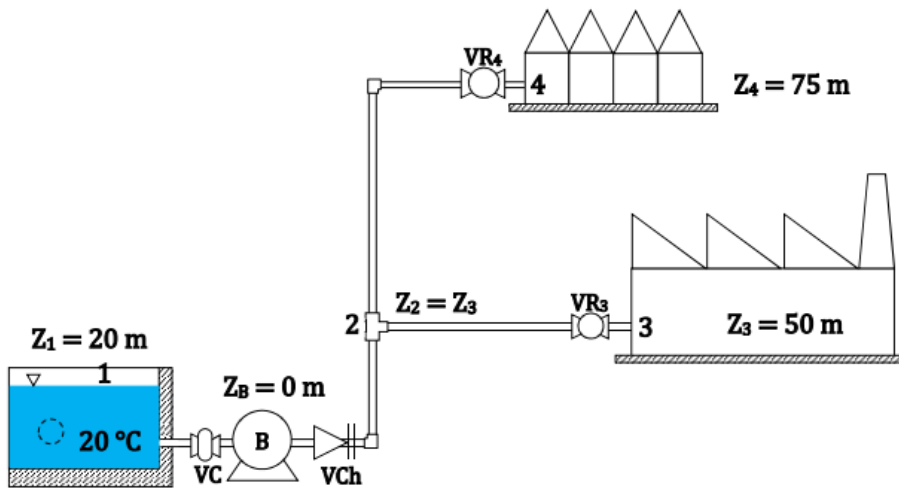
Tabla 18.

Longitud y Diámetro Nominal Ejercicio 2

Tramo	Longitud [m]	Diámetro Nominal [in]
1B	20	16
B2	500	16
23	800	12
24	1000	6

Figura 39.

Representación Gráfica Segundo Ejercicio



Solución

Paso 1.

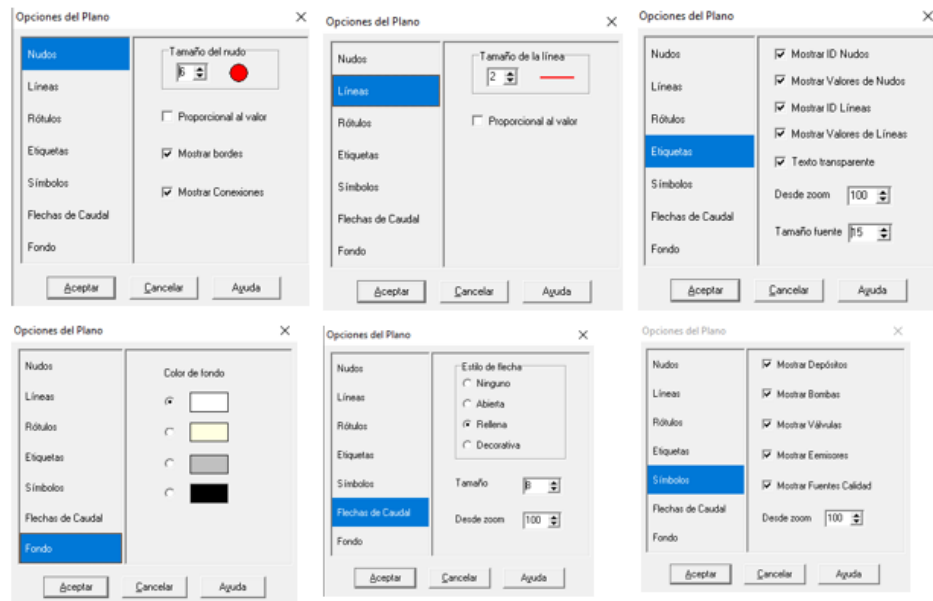
Dibujar el plano de la red

Antes de empezar a dibujar hay que configurar las unidades, las configuraciones de visualización del plano de trabajo. Para las unidades ya se han explicado en los anteriores ejercicios, y para la visualización del plano es la siguiente. se da clic derecho y se selecciona en la ventana de diálogo el menú Opciones, EPANET despliega una ventana que permite llevar a cabo distintas configuraciones visuales. En la primera pestaña, Nudos, se aumenta el valor del tamaño

del nudo a 6; en la segunda, Líneas, se incrementa el valor del tamaño de la línea a 2; en Etiquetas, se seleccionan todas las casillas de verificación, se aumenta el tamaño de la fuente a 15; en Flechas de caudal, se elige el estilo de la flecha rellena con un tamaño de 6; finalmente, se da clic en la pestaña Fondo para poner el color blanco como fondo y dar clic en el botón aceptar.

Figura 40.

Ventana de Opciones de Plano



Siguiente paso es dibujar los elementos físicos del ejercicio. En la barra de herramientas del plano, vemos todos los elementos dispuestos. Para dibujarlos en el plano se selecciona cada elemento desde la barra, y se da clic en el lugar del plano que se quiera ubicar. Para volver al cursor del ratón, se debe seleccionar el icono del puntero en la barra de herramienta.

Figura 41.

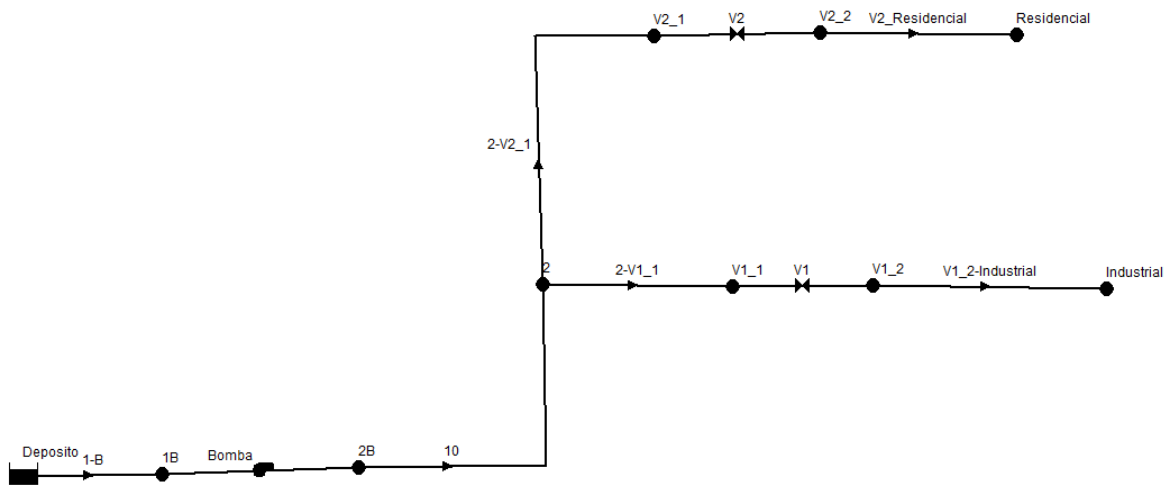
Barra de Herramientas de EPANET



Al terminar de añadir todos los componentes de la red en el plano, lo siguiente es configurar cada uno de los elementos que integran esta red de distribución de agua.

Figura 42.

Plano de Elementos – Segundo Ejercicio



No es necesario añadir la válvula de compuesta, ya que esta se encuentra abierta, y en este estado no nos agrega pérdidas de energía en la red.

Paso 2. Configuración de los Elementos Físicos de la Red.

La forma de introducir los datos de cada elemento es fácil, hay que doble clic sobre el elemento, aparecerá una ventana donde se introducen los datos correspondientes a cada elemento.

Embalse o Deposito

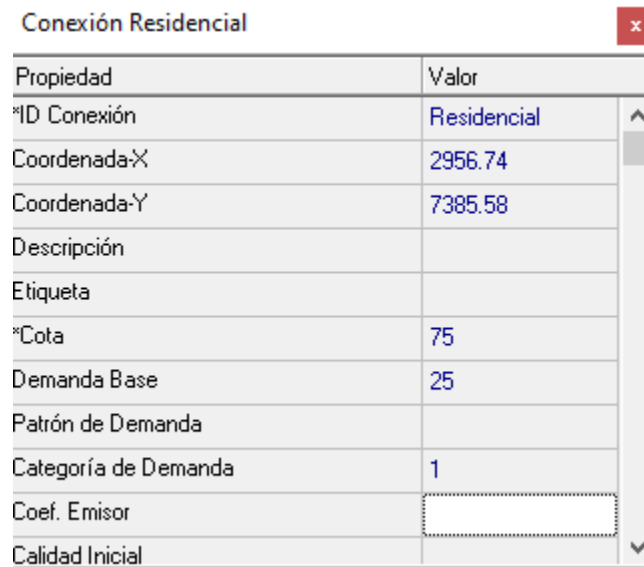
Las configuraciones del embalse, que este ejercicio simula un lago, hay que colocar la cota a la que se encuentra, esto se introduce en la casilla altura total en este caso es de 20 [m], no hay que olvidarse del ID, que para este ejercicio se eligió Deposito.

Figura 43.*Editor de Propiedades Embalse Deposito*

Propiedad	Valor
*ID Embalse	Deposito
Coordenada-X	-4918.34
Coordenada-Y	3890.41
Descripción	
Etiqueta	
*Altura Total	20
Patrón de Altura	
Calidad Inicial	
Fuente de Calidad	

Conexiones o Nudos

Todos los nudos hay que configurar las cotas de cada uno, en el caso de los dos nudos que representan, residencia e industria, sus demandas bases. para la implementación de las válvulas de reductoras, se añadió un par de nudos por cada válvula. Ya que los nudos a igual que las bombas necesitan un nudo inicial y otro donde finaliza.

Figura 44.*Editor de Propiedades Conexión Residencial*

Propiedad	Valor
*ID Conexión	Residencial
Coordenada-X	2956.74
Coordenada-Y	7385.58
Descripción	
Etiqueta	
*Cota	75
Demanda Base	25
Patrón de Demanda	
Categoría de Demanda	1
Coef. Emisor	
Calidad Inicial	

Tuberías

En solo hay que configurar las longitudes de cada tramo, y su diámetro respectivo. Pero antes hay que realizar la conversión de unidades, debido a que EPANET, maneja los diámetros en milímetros. En el caso de la rugosidad es igual en todas, esta es de 0.046 [mm] correspondiente a una tubería de acero.

Para el caso de la implementación de la válvula entre los tramos 2-industria, 2-Residencias. Se dividió la longitud en dos. Añadiendo 2 nudos, para las válvulas.

Figura 45.

Editor de Propiedades Tubería 2-V1_1

Propiedad	Valor
*ID Tubería	2-V1_1
*Nudo Inicial	2
*Nudo Final	V1_1
Descripción	
Etiqueta	
*Longitud	400
*Diámetro	304.8
*Rugosidad	0.046
Coef. de Pérdidas	0
Estado Inicial	Abierto
Coef. Flujo	

Válvulas

para añadir estos elementos, se disponen de la misma manera que las tuberías. Donde necesitan de un nodo inicial y otro final. Para las dos válvulas reductoras inicial mente la dejaremos en un estado abierto, para ver el comportamiento

Figura 46.

Editor de Propiedades Válvula V2

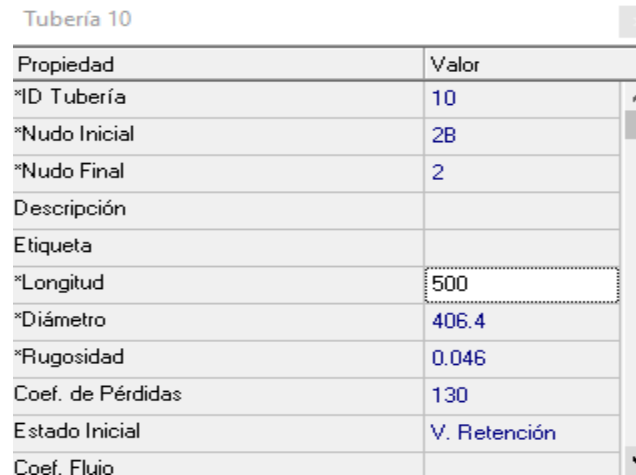
Propiedad	Valor
*ID Válvula	V2
*Nudo Inicial	V2_1
*Nudo Final	V2_2
Descripción	
Etiqueta	
*Diámetro	152.4
*Tipo	Reductora
*Consigna	0
Coef. Pérdidas	0
Estado Fijo	Abierto

Válvula Cheque

Para simular una válvula cheque en EPANET, se hace desde una tubería, seleccionando en la casilla de estado inicial V. Retención, y en coeficiente de pérdida.

Figura 47.

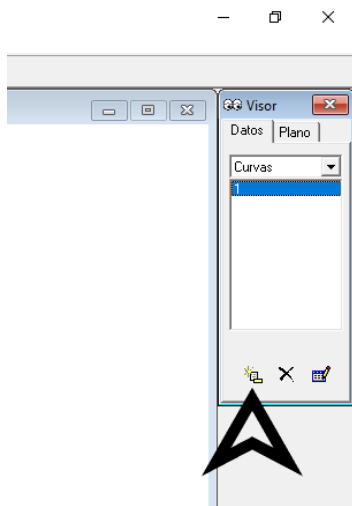
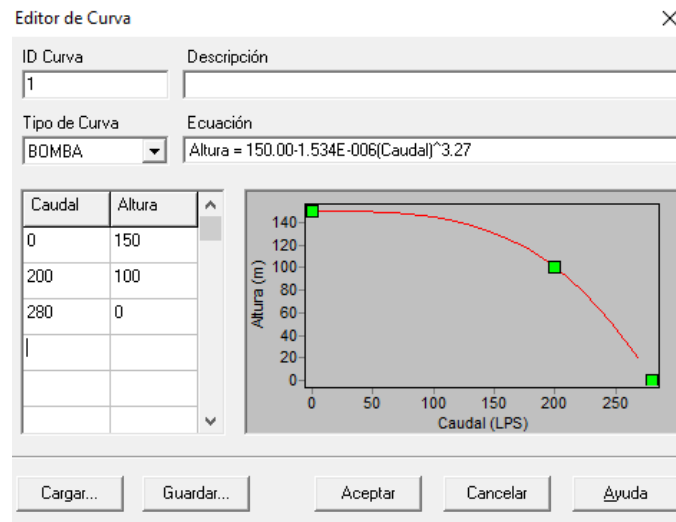
Editor de Propiedades Tubería 10



Propiedad	Valor
*ID Tubería	10
*Nudo Inicial	2B
*Nudo Final	2
Descripción	
Etiqueta	
*Longitud	500
*Diámetro	406.4
*Rugosidad	0.046
Coef. de Pérdidas	130
Estado Inicial	V. Retención
Coef. Flujo	

Paso 3. Curva Característica.

la curva característica la cual definirá el comportamiento la bomba, a través del visor podemos construir la curva característica, dando clic en la pestaña datos, para luego buscar la opción curva y le damos en añadir. Se abrirá una ventana la cual se introducirá los datos.

Figura 48.*Visor EPANET***Figura 49.***Editor de Curva - Segundo Ejercicio***Paso 4. Configuración de la Bomba.**

Para este ejercicio solo es necesario añadir el ID de la curva característica, que para este caso es 1. Y listo, se tiene configurada la bomba.

Figura 50.

Editor de Propiedades Bomba

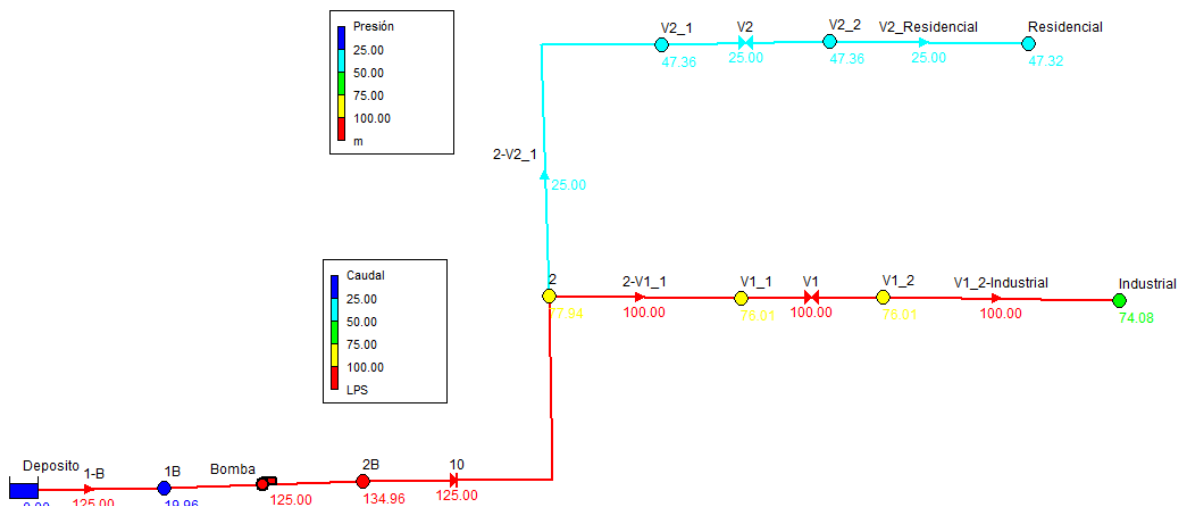
Propiedad	Valor
*ID Bomba	Bomba
*Nudo Inicial	1B
*Nudo Final	2B
Descripción	
Etiqueta	
Curva Característica	1
Potencia	
Velocidad Relativa	
Patrón	
Estado Inicial	Abierto
Curva de Rend.	

Paso 6. Inicial Análisis.

Final mente le damos en el icono iniciar análisis. Vemos que EPANET nos muestra los resultados de la simulación. Aparece presiones en los nudos de demanda muy altos, para eso están instaladas las dos válvulas reductoras. Para cumplir con el objetivo del ejercicio es necesario configurarlas, es lo que se ar en el siguiente paso.

Figura 51.

Primer Plano de Resultados - Segundo Ejercicio



Paso 7. Configuración de las Válvulas

para dar a los nodos de demanda un precio de servicio estable, se incluyó en la red válvulas reductoras de presión, estas funcionan para dar una presión de servicio dada aguas abajo. En la siguiente tabla veremos mejor esto. Vemos que en la opción de consigna ponemos el valor que se desea tener de presión aguas arriba, las unidades son en metros.

Tabla 19.

Valor de la Propiedad Consigna

Tipo de válvula	Consigna (Setting) a introducir en EPANET	Unidades de la Consigna (Setting)
Válvula reductora de presión (PRV)	Presión requerida aguas abajo de la válvula	Metros (m)
Válvula sostenedora de presión (PSV)	Presión requerida aguas arriba de la válvula	Metros (m)
Válvula de rotura de carga (PBV)	Presión de caída requerida entre el nudo aguas arriba y aguas abajo de la válvula	Metros (m)
Válvula limitadora o controladora de caudal (FCV)	Caudal a limitar o restringir en el tramo donde se encuentra instalada la válvula	Litros por segundo (L/s)
Válvula reguladora por estrangulación (TCV)	Coefficiente o constante de accesorio	Adimensional
Válvula de propósito general (GPV)	Nombre o ID de la curva característica que relaciona la pérdida de energía vs caudal	Nombre o ID de la curva característica de pérdidas

Nota. valor a introducir en la propiedad consigna. adaptada de valor a introducir en la propiedad consigna [setting]., De Plazas, J. (2017). Ejercicios Prácticos en EPANET.

Entonces debemos colocar en la casilla de consigna, en la válvula de residencia 20 metros, en la de industria 30 metro, y cambiamos el estado fijo a ninguno. damos en inicial análisis, para ver los resultados.

Figura 52.

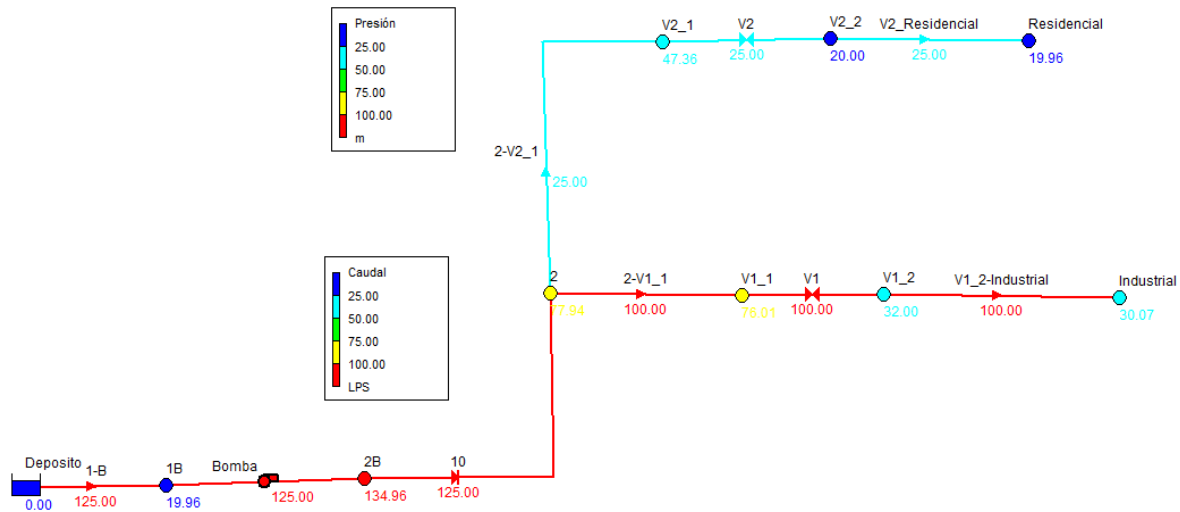
Editor de Propiedades Válvula V2

Propiedad	Valor
*ID Válvula	V2
*Nudo Inicial	V2_1
*Nudo Final	V2_2
Descripción	
Etiqueta	
*Diámetro	152.4
*Tipo	Reductora
*Consigna	20
Coef. Pérdidas	0
Estado Fijo	Ninguno
Caudal	25.00

Vemos que cumplimos con las presiones de servicios dadas en el ejercicio.

Figura 53.

Segundo Plano de Respuestas - Segundo Ejercicio



4.1.2.3 Solución Tercer Ejercicio Propuesto: Red de Distribución de una Ciudad. En el siguiente esquema vemos una población que contiene áreas residenciales, escuela, fábrica, centros comerciales, conectadas con una tubería de acero, donde estas tienen diferentes demandas a lo largo del día. Hay un tanque que se encarga de suministrar un constante flujo de agua a la red de distribución, hay instalada una bomba que se enciende cuando el nivel del tanque desciende a un nivel mínimo. Esta bomba obtiene agua de un lago.

- Se desea saber la presión de cada nudo de consumo en el sistema a las 9:00 horas.

El costo de funcionamiento de la bomba en un año, con un valor de 630 \$/kw-h. En la comunidad hay 2 tipos de patrones de demanda:

- La residencial que ocupa los nudos E y I, estas tienen un consumo de 1:00 a 4:00 de 10 % de su demanda total, de 4:00 a 9:00 el 100 %, de 9:00 a 18:00 35 %, de 18:00 a 24:00 20 %.
- La industrial que ocupa los nudos C, G y K, estas tienen 1:00 a 8:00 0 % , de 8:00 a 12:00 100 %, de 12:00 a 14:00 50%, de 14:00 a 16:00 100%, de 16:00 a 24:00 0%.

El patrón de encendido de la bomba es importante también, es el siguiente de 6:00 a 12:00 encendida, y de 12:00 a 14:00 apagada, se enciende de nuevo de 14:00 a 18:00, se apaga hasta las 20:00, se vuelve a prender de 20:00 a 3:00.

Para que el tanque se encuentre con un nivel correcto, que garantice el flujo de agua a la comunidad, se instaló una bomba, esta tiene una máxima eficiencia con 20 [LPS] con una altura de 65 [metros]. El tanque tiene una cota de 2000 [m], nivel inicial 9 [m], nivel mínimo 2 [m], nivel máximo 13 [m] y diámetro 15[m].

Figura 54.

Representación Gráfica Tercer Ejercicio

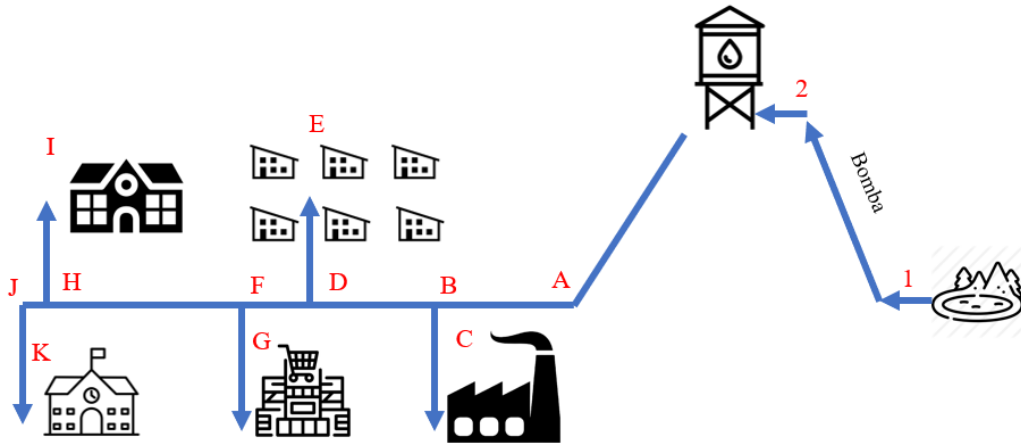


Tabla 20.

Cotas y Demandas Tercer Ejercicio

Cotas y Demandas		
Elementos	Cota (msnm)	Demanda (L/s)
Tanque	2000	Suministra (no aplica)
Nudo 1	1981	0
Nudo 2	2000	0
Lago	1981	Suministra (no aplica)
Nudo A	1981	0
Nudo B	1981	0
Nudo C	1980	2
Nudo D	1981	0
Nudo E	1987	2
Nudo F	1981	0
Nudo G	1980	1,8
Nudo H	1981	0
Nudo I	1990	0,7
Nudo J	1081	0
Nudo K	1980	1,5

Tabla 21.

Longitud, Diámetro y Rugosidad de tuberías Tercer Ejercicio

Tubería			
Tramo	Tubería de acero		Rugosidad (mm)
	Longitud (m)	Diámetro (mm)	
L-1	130	128	0,046
2-Tanque	70	128	
Tanque – A	550	102,3	
A - B	300	102,3	
B - C	150	90,1	
B - D	200	102,3	
D - E	150	90,1	
D – F	100	102,3	
F – G	150	90,1	
F – H	150	102,3	
H - I	150	90,1	
H-J	100	90,1	
J-K	150	90,1	

Tabla 22.

Curva de Eficiencia Bomba Tercer Ejercicio

Curva de eficiencia	
Caudal	Rendimiento
0	0
1,2	15,9
2,4	36,5
3,6	56,9
4,9	72,4
6,1	78,2
7,4	69,5
8,6	41,7

Solución

En el siguiente ejercicio se va a implementar varias herramientas que EPANET nos dispone, como lo son la simulación en periodo extendido, para este caso será de 24 horas, la implementación de una bomba para llenar el tanque de suministro, implementando su curva característica, curva de

eficiencia, que es esencial para el cálculo de gasto de energía. y la implementación de patrones, de bombeo y consumo.

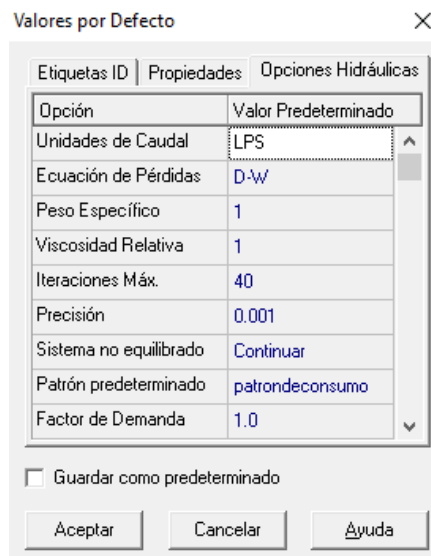
Paso 1. Dibujar el plano de red.

Para empezar la simulación lo primero es configurar el sistema de unidades, la metodología para el cálculo de pérdidas de energía, el tipo de fluido y demás opciones que faciliten el entendimiento del modelo.

Luego de abrir EPANET, en la barra de menú se da clic en proyecto, después en valores por defecto, se abrirá esta ventana. En la pestaña opciones hidráulica, acá encontraremos las configuraciones de caudal, que se ubica en LPS, la ecuación de pérdida, que será Darcy-Weisbach, el peso específico y la viscosidad relativa que se ubica en 1. Ya que es agua el fluido con que vamos a trabajar. De damos aceptar. Para tener en cuenta, al seleccionar las unidades del caudal LPS, epaten de forma automática asume el sistema internacional de unidades.

Figura 55.

Ventana de Valores por Defecto - Tercer Ejercicio

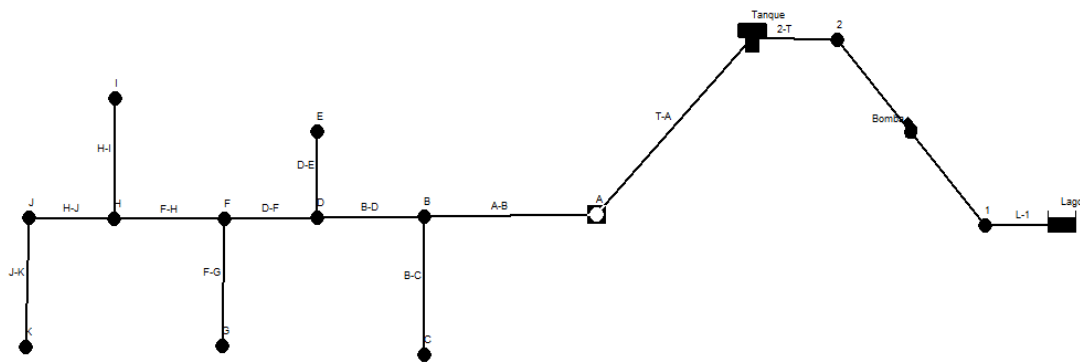


Siguiente paso es dibujar los elementos físicos del ejercicio. En la barra de herramientas del plano, vemos todos los elementos dispuestos. Para dibujarlos en el plano se selecciona cada elemento desde la barra, y se da clic en el lugar del plano que se quiera ubicar. Para volver al cursor del ratón, se debe seleccionar el icono del puntero en la barra de herramientas.

Al terminar de añadir todos los componentes de la red en el plano, lo siguiente es configurar cada uno de los elementos que integran esta red de distribución de agua.

Figura 56.

Plano de Elementos - Tercer Ejercicio



No hay que olvidar tampoco de las configuraciones de visuales de nuestro plano de trabajo, que se explicaron en ejercicios anteriores.

Paso 2. Configuración de los elementos físicos de la red.

La forma de introducir los datos de cada elemento es fácil, hay que doble clic sobre el elemento, aparecerá una ventana donde se introducen los datos correspondientes a cada elemento.

Embalse

Las configuraciones del embalse, que este ejercicio simula un lago, hay que colocar la cota a la que se encuentra, esto se introduce en la casilla altura total en este caso es de 1981 [m].

Figura 57.

Editor de Propiedades Embalse Lago

Propiedad	Valor
*ID Embalse	Lago
Coordenada-X	12542.52
Coordenada-Y	5935.37
Descripción	
Etiqueta	
*Altura Total	1981
Patrón de Altura	
Calidad Inicial	
Fuente de Calidad	

Tanque

EPANET solo permite introducir tanque de tipo cilíndricos, el programa necesita el diámetro, y los niveles mínimos, máximo e inicial. si el tanque a utilizar tiene otra forma, solo hay que encontrar la equivalencia volumétrica de un tanque cilíndrico. Este tanque tiene una cota de 2000 [m], nivel inicial 9 [m], nivel minimo 2 [m], nivel maximo 13 [m] y diametro 15 [m].

Figura 58.

Editor de Propiedades Deposito Tanque

Propiedad	Valor
*ID Depósito	Tanque
Coordenada-X	7780.61
Coordenada-Y	8809.52
Descripción	
Etiqueta	
*Cota	2000
*Nivel Inicial	9
*Nivel Mínimo	2
*Nivel Máximo	13
*Diámetro	15
Volumen Mínimo	

Conexiones o nudos (sin demanda)

Todos los nudos solo hay que configurar las cotas de cada uno, y listo.

Figura 59.

Editor de Propiedades Conexión 2

Propiedad	Valor
*ID Conexión	2
Coordenada-X	9090.14
Coordenada-Y	8775.51
Descripción	
Etiqueta	
*Cota	2025
Demanda Base	0
Patrón de Demanda	
Categoría de Demanda	1
Coef. Emisor	
Calidad Inicial	
Fuente de Calidad	

Tuberías

En solo hay que configurar las longitudes de cada tramo, y su diámetro respectivo. En el caso de la rugosidad es igual en todas, esta es de 0.046 [mm] correspondiente a una tubería de acero.

Figura 60.

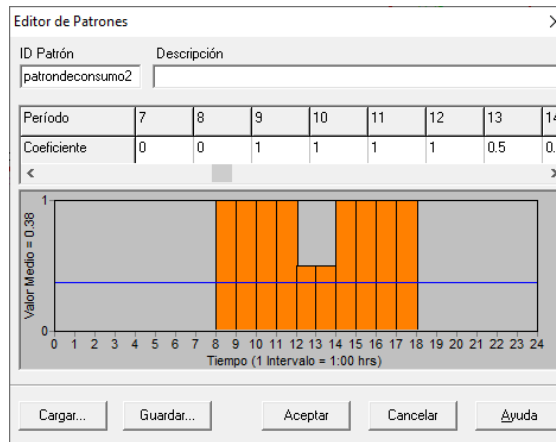
Editor de Propiedades Tubería L-1

Propiedad	Valor
*ID Tubería	L-1
*Nudo Inicial	1
*Nudo Final	Lago
Descripción	
Etiqueta	
*Longitud	130
*Diámetro	128
*Rugosidad	0.046
Coef. de Pérdidas	0
Estado Inicial	Abierto
Coef. Flujo	
Coef. Pared	

Ahora para este ejercicio tenemos 2 patrones de bombeo, uno es industrial y otro es residencial. En el industrial vemos clara mente un consumo exclusivo de un horario de trabajo. Cada casilla en el periodo representa una hora, y el coeficiente se coloca la proporcionalidad a la demanda base del nudo donde lo configuremos, se le signo el ID patroneconsumo2.

Figura 63.

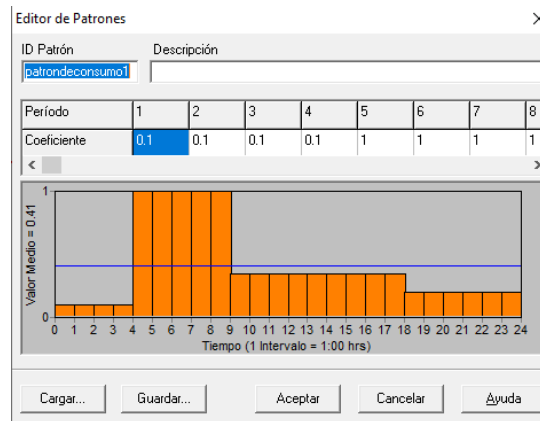
Patrón De Demanda patroneconsumo2



Y el patrón de demanda para el sector residencial es. Se le asignó el ID patroneconsumo1

Figura 64.

Patrón de Demanda patroneconsumo1



Otro caso existe también patrones de bombeo, estos sirven para prender o apagar la bomba en distintas horas del día, esto es útil para prevenir que la bomba trabaje más de 12 horas continuas, siendo fundamental para el buen funcionamiento de estas. Para este ejercicio quedo así, se le asignó el ID patrón de bombeo

Figura 65.

Patrón de Demanda patrón de bombeo



Otra configuración de la bomba es la curva característica la cual definirá el comportamiento de esta, a través del visor podemos construir la curva característica, dando clic en la pestaña datos, para luego buscar la opción curva y le damos en añadir. Se abrirá una ventana la cual se introducirá los datos, el ejercicio solo nos da el punto de máxima eficiencia, se coloca y EPANET elabora los demás puntos de la curva a partir de allí, se le asigno el ID CB.

Figura 66.

Visor Curvas

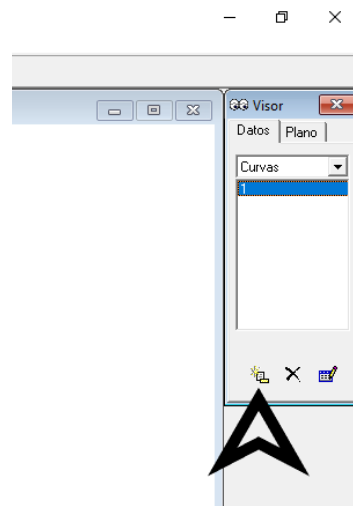
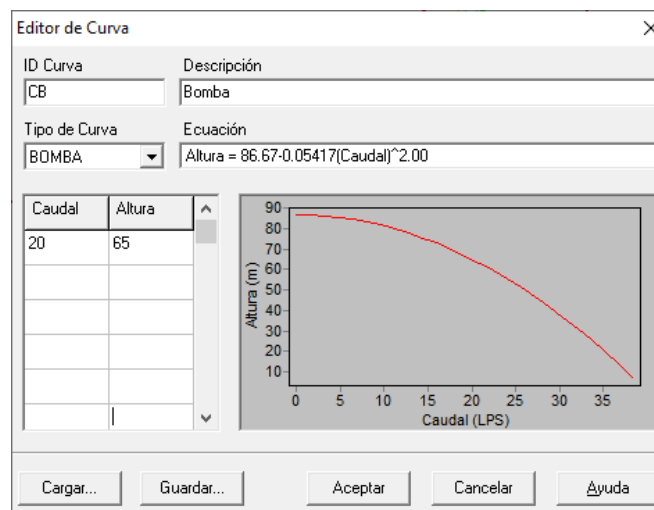


Figura 67.

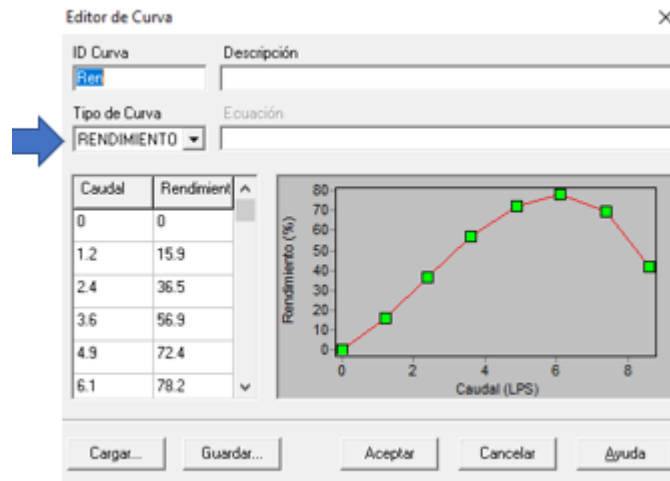
Curva de la Bomba CB



Para que EPANET pueda hacer los cálculos de costos de la red, necesita la curva de eficiencia de la bomba. Esta se añade igual que una curva característica, pero hay que configurar el tipo de curva que se añadirá, en este caso será de rendimiento. Se añade los puntos de la tabla, se le añadió el ID Ren y se le da aceptar.

Figura 68 .

Curva de Rendimiento Ren



Paso 4. Configuración de Nodos de Demanda.

Para configurar todos los nodos de demanda, hay que poner su cota y demanda base de las tablas, y se introduce en patrón de demanda, el ID correspondiente al patrón que se configuro al nudo.

Figura 69.

Editor de Propiedades Conexión G



Paso 5. Configuración de la Bomba.

Para comenzar a configurar la bomba escribimos, los ID de la curva característica, el ID del patrón de bombeo y el ID de la curva de eficiencia. Por último, el precio de la energía, son 630 \$ [kw/h], EPANET tiene este dato como adimensional.

Figura 70.

Incluir Curvas y Patrones en Editor de Propiedades Bomba Bomba



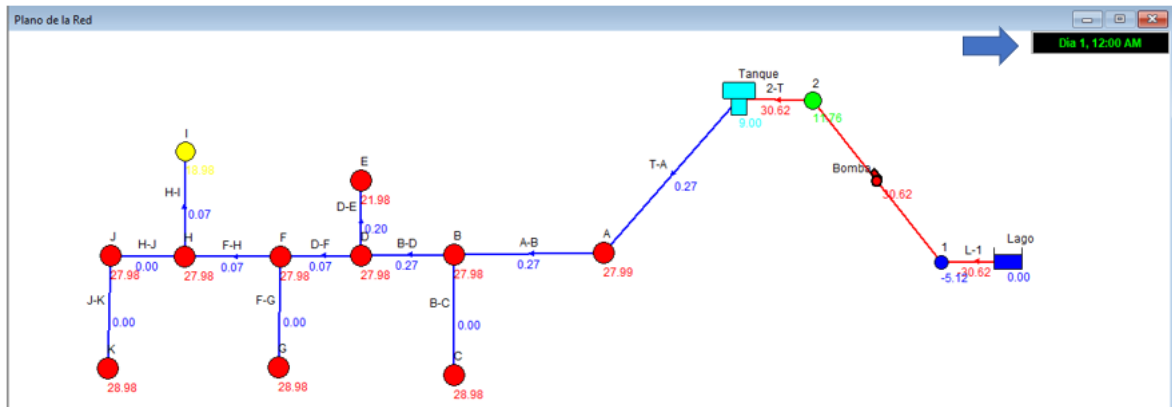
Propiedad	Valor
*ID Bomba	Bomba
*Nudo Inicial	1
*Nudo Final	2
Descripción	
Etiqueta	
→ Curva Característica	CB
Potencia	
Velocidad Relativa	
→ Patrón	patrondebombeo
Estado Inicial	Abierto
→ Curva de Rend.	Ren
→ Precio Energía	630
Patrón de Precios	

PASO 6. INICIAL ANÁLISIS.

Finalmente le damos en el icono iniciar análisis. Vemos que EPANET nos muestra los resultados de la simulación, de la hora 12 AM. El ejercicio nos pide los resultados de la hora 9 AM.

Figura 71.

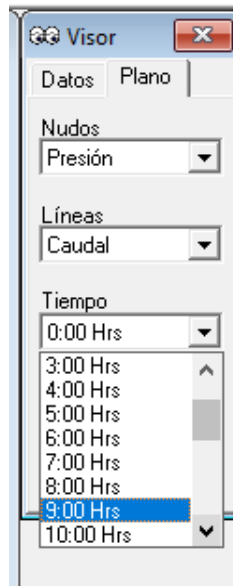
Primer Plano de Resultados - Tercer Ejercicio



Para ver los resultados a una hora especifica nos vamos al visor, y en tiempo se selecciona la hora que se desee ver. Para este caso 9 AM.

Figura 72.

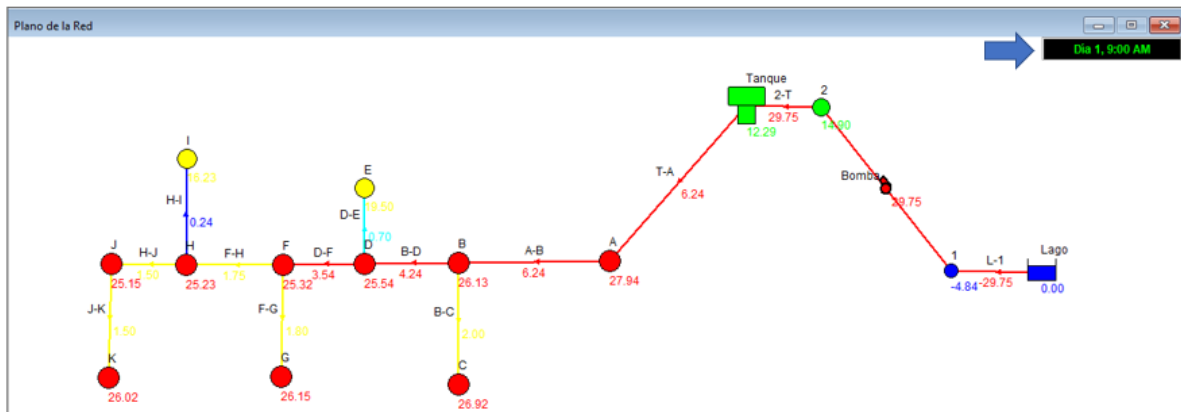
Visor Tiempo 9 horas



Este son los resultados de la simulación a las 9 AM.

Figura 73.

Segundo Plano de Resultados - Tercer Ejercicio

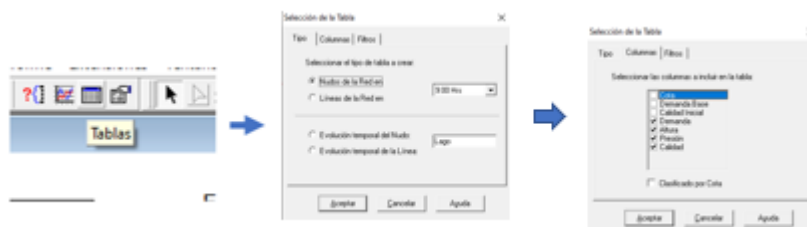


Paso 6. Tablas de resultados.

Ya tenemos el primer punto del ejercicio, el cual es la presión que existe en los nudos de consumo de nuestro sistema, a las 9 AM. además del caudal de cada tramo de tubería. Para poder trabajar y visualizar mejor los datos hay elaborar una tabla, para esto nos dirigimos en la barra de herramienta, y damos clic en tablas, en tipos esta las opciones de nudos o las líneas, y en la pestaña columnas, añadimos los datos que requerimos. Para el este caso en los nudos solo queremos la presión y en las tuberías el caudal.

Figura 74.

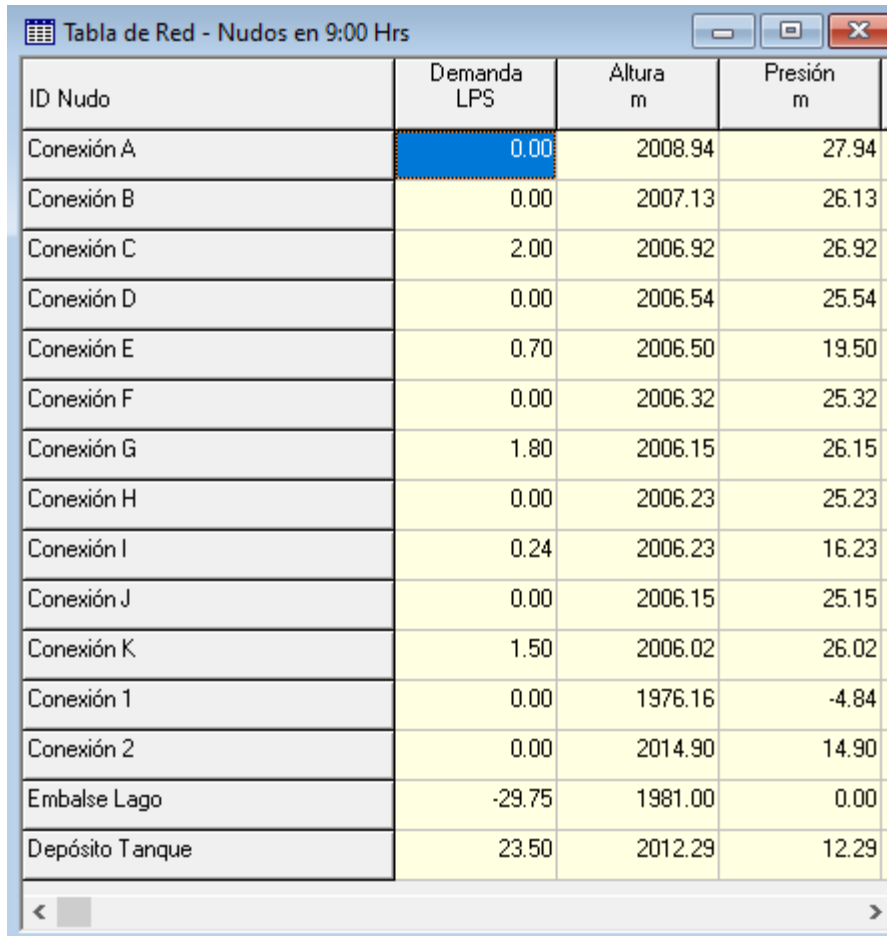
Procedimiento para generar Tablas



Las tablas que nos aparecen no se pueden modificar dentro de EPANET, pero estos datos se pueden copiar y posteriormente utilizar una hoja de cálculo en Excel para su mejor manejo. Los resultados de la presión en los nudos son esta.

Tabla 23.

Resultados de Altura, Demanda y Presión.



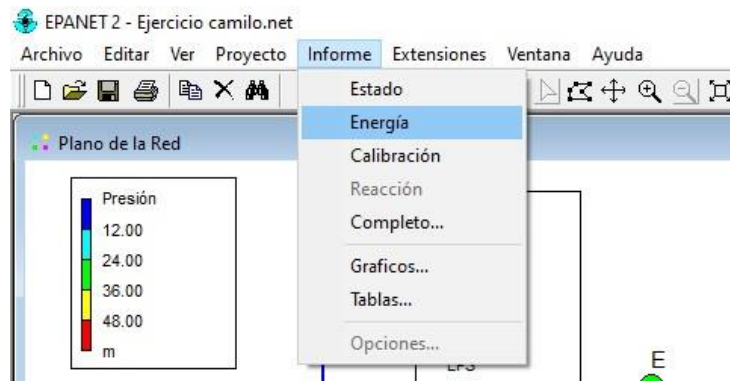
ID Nudo	Demanda LPS	Altura m	Presión m
Conexión A	0.00	2008.94	27.94
Conexión B	0.00	2007.13	26.13
Conexión C	2.00	2006.92	26.92
Conexión D	0.00	2006.54	25.54
Conexión E	0.70	2006.50	19.50
Conexión F	0.00	2006.32	25.32
Conexión G	1.80	2006.15	26.15
Conexión H	0.00	2006.23	25.23
Conexión I	0.24	2006.23	16.23
Conexión J	0.00	2006.15	25.15
Conexión K	1.50	2006.02	26.02
Conexión 1	0.00	1976.16	-4.84
Conexión 2	0.00	2014.90	14.90
Embalse Lago	-29.75	1981.00	0.00
Depósito Tanque	23.50	2012.29	12.29

Paso 6. Costos

Para estimar el costo de energía del sistema en un año, nos ubicamos en la parte superior del programa en informe, y buscamos energía.

Figura 75.

Estimación de Costos



Se nos desplegará una ventana donde se nos muestra el costo que generó la bomba para mantener el sistema en funcionamiento en un día.

Figura 76.

Costos Bomba

Bomba	Porcentaje Utilización	Rendimiento Medio	kW·h /m3	Potencia Media (kW)	Potencia Máx. (kW)	Coste /día
Bomba	70.83	22.51	11.26	14.09	27.34	150934.80
Coste Total						150934.80
Término de Potencia						0.00

El cálculo para estimar el costo en un año sería así.

$$\text{Costo anual} = \text{costo por día} \times \text{por días del año}$$

$$\text{costo anual} = 150934.80 \$ \times 365 \text{ días} = 55091,202 \$$$

PASO 7. COMPORTAMIENTO DEL TANQUE.

Para observar el comportamiento del tanque durante toda la simulación de 24 horas, seleccionamos el tanque primero en el plano de trabajo y de da clic en gráficos, en la barra de herramientas. Aparecerá una ventana donde en magnitud a representas buscamos demanda, y se da clic en aceptar.

Figura 77.

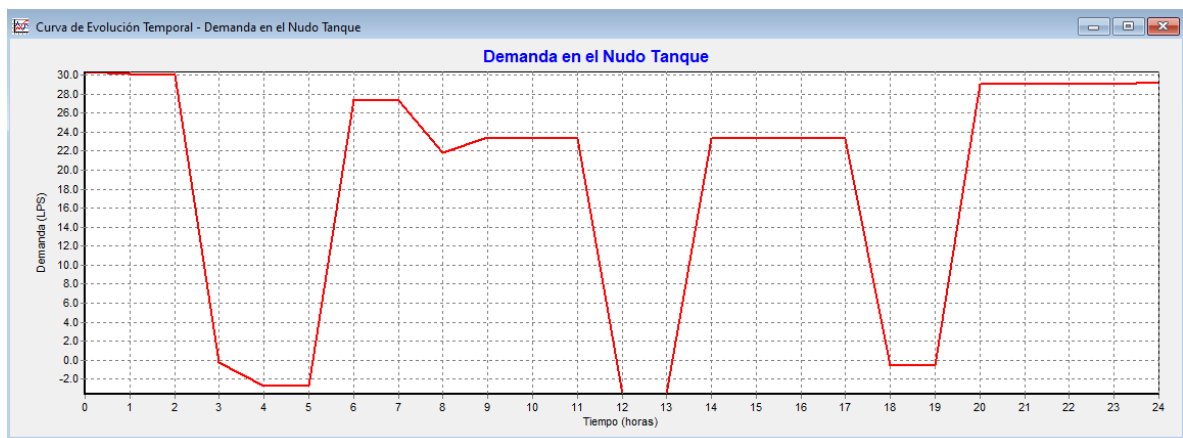
selección de grafico



Aparecerá este grafico donde se ve que el tanque vario bastante, en cada hora de la simulación, y se evidencia que el nivel en donde inicio la simulación es casi igual al final.

Figura 78.

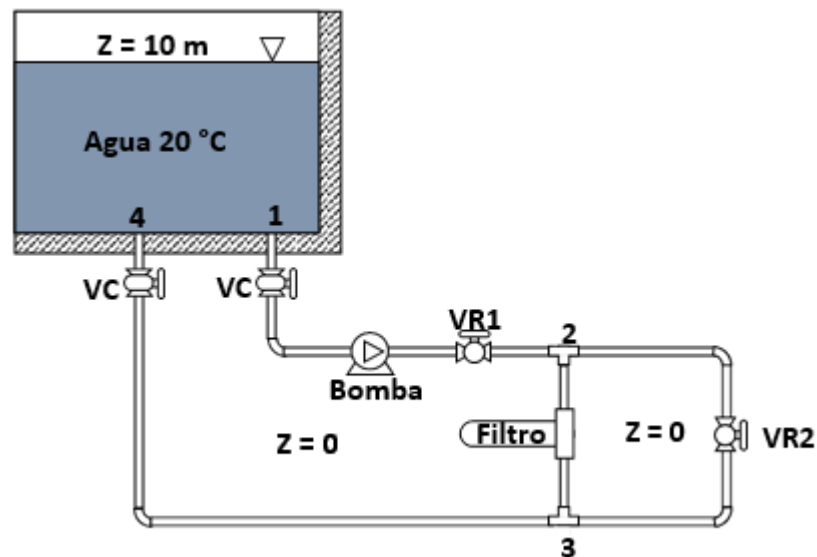
Curva de Evolución Temporal demanda en el Nudo Tanque



4.1.2.4 Solución Cuarto Ejercicio Propuesto: Complejo Deportivo con Sistema de Filtrado de Agua. Un importante complejo deportivo posee el sistema de filtrado de agua indicado en el esquema de la figura.

Figura 79.

Representación Gráfica cuarto Ejercicio



Ecuación de la curva real de operación de la bomba:

$$h_w B [m] = 40 - 0.466 \times Q_B [L/s] + 0.1536 \times Q_B^2 [L/s] - 0.0159 \times Q_B^3 [L/s]$$

Ecuación de la eficiencia total de la bomba:

$$\eta B [\%] = 5.6 \times Q_B [L/s] + 1.024 \times Q_B^2 [L/s] - 0.0808 \times Q_B^3 [L/s]$$

El sistema tiene instaladas cuatro válvulas: Dos válvulas de corte (VC), de compuerta, totalmente abiertas. Dos válvulas de regulación (VR1 Y VR2), de globo, trabajan parcialmente abiertas.

El filtro está instalado en el punto medio del tramo 2-3 y sus especificaciones son:

Presión máxima de servicio: 3.5 [bar].

Caudal a filtrar: 7 [L/s].

Las pérdidas de carga en el filtro están dadas por:

$$\Delta P[\text{pa}] = 2450 * Q [\text{L/s}]^2$$

Calcular las presiones en las conexiones 2 y 3, y el caudal que pasa por la válvula 1 y 2 además del caudal del filtro y calcular los porcentajes de apertura que deben tener las válvulas de regulación para cumplir las especificaciones de filtrado.

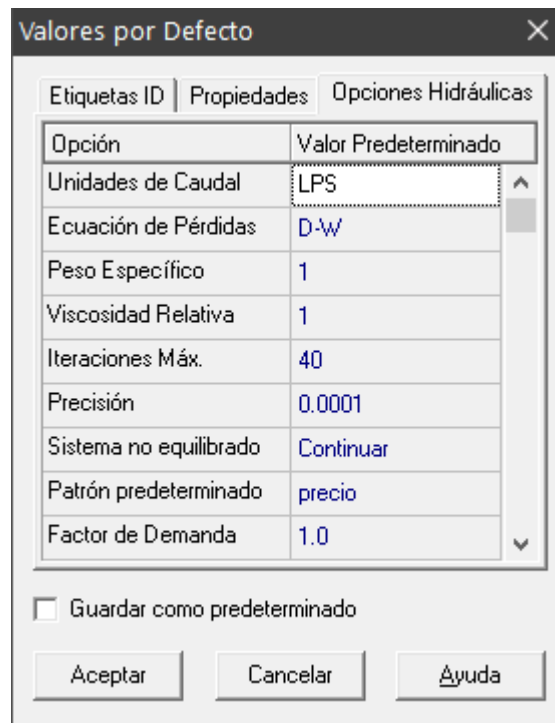
SOLUCION

Paso 1 Dibujar el Plano de la Red

Antes de empezar la simulación es importante configurar el sistema de unidades, elegir una de las metodologías de calculo que nos proporciona el programa, definir el tipo de fluido y otras opciones que son necesarias antes de empezar el modelo.

Cuando estemos en EPANET en la barra menú se da clic en proyecto, luego vamos a valores por defecto, nos abrirá una ventana con 3 pestañas, iremos a la pestaña opciones hidráulicas, y encontraremos las configuraciones de caudal, peso específico, tipos de cálculo de perdidas, viscosidad, etc.

Debemos cerciorarnos que las unidades del caudal sean LPS la ecuación de perdidas será darcy-weisbach (D-W), la viscosidad relativa, así como el peso específico serán de 1 debido a que el fluido es agua.

Figura 80.*Ventana Valores por Defecto - Cuarto Ejercicio*

Paso 2 Introducir Elementos Físicos a la Red

Es recomendable construir el esquema de la red, siguiendo la dirección del flujo para evitar confusiones en las conexiones, y revisar que no haga falta ningún componente, desde la barra de herramientas podemos arrastrar a la zona de trabajo los elementos necesarios.

Debido a que EPANET no ofrece en la barra de elementos físicos, un símbolo específico para filtros, se emplea una válvula (En la figura la válvula F), la cual se debe configurar abierta y con un valor de constante de pérdidas que cumpla con la ecuación dada por el fabricante, que relaciona caída de presión y caudal a través del filtro.

Paso 3 Configuración de las Propiedades de los Elementos Físicos de la Red.

Embalses

Figura 82.

Editor de Propiedades Embalse 1

Propiedad	Valor
*ID Embalse	1
Coordenada-X	1178.93
Coordenada-Y	7400.00
Descripción	
Etiqueta	
*Altura Total	10
Patrón de Altura	
Calidad Inicial	
Fuente de Calidad	
Caudal Neto Entrante	No Disponible
Cota	No Disponible
Presión	No Disponible
Calidad	No Disponible

Ambos embalses representan la piscina. Se emplean dos por comodidad de dibujo. La única propiedad que se establece es la *Altura total a la cual se le da un valor de 10 [m], que corresponde al valor de la cota de lámina de agua de su superficie libre.

Conexiones

Nudo Ib, Eb, Iv1, Ev1, Iv2, Ev2, If, Ef, 2, 3

Los nodos se deben dibujar primero para poder conectar las tuberías, bombas y válvulas. su cota y demanda base tienen valores de 0 que corresponden con las condiciones del sistema.

Figura 83.*Editor de Propiedades Conexión iB*

Propiedad	Valor
*ID Conexión	iB
Coordenada-X	2332.78
Coordenada-Y	5570.00
Descripción	
Etiqueta	
*Cota	0
Demanda Base	0
Patrón de Demanda	
Categoría de Demanda	1
Coef. Emisor	
Calidad Inicial	
Fuente de Calidad	
Demanda Actual	No Disponible
Altura Total	No Disponible
Presión	No Disponible
Calidad	No Disponible

Tuberías

Todas las tuberías son de acero comercial y se configuran con estado inicial abierto. La rugosidad para el acero comercial SCH 40 es de 0.05[mm].

Tramo 1-2

En la tabla del enunciado se da el valor de 65 m de longitud para este tramo. En EPANET se representa mediante tres tramos a los que se le asignan las siguientes longitudes:

Tramo de Tubería 1-B: Longitud de 15 [m]

Tramo de Tubería B-V1: Longitud de 10 [m]

Tramo de Tubería V1-2: Longitud de 40 [m]

Tubería 1-B

Se le asigna la longitud de 15 [m], el diámetro de las tuberías se debe introducir en EPANET en [mm] por lo tanto se realiza la conversión de 3 ½ [in] a [mm], así que se introduce el valor de 88.90[mm],

En este tramo están instalados una válvula de compuerta totalmente abierta y un codo de 90° estándar. Para estos accesorios, así como para la entrada desde la piscina a la tubería se calculan las constantes de pérdidas cuya suma se asigna al tramo de tubería:

$$k_{1B} = 0.5 + 8 * f_{T12} + 30 * f_{T12}$$

Donde f_{T12} es el Factor a Total Turbulencia para Tubería de Acero de 3½ In

$$f_{T12} = \left[\frac{\frac{1}{0.86}}{\ln\left(\frac{\varepsilon}{D_{12} * 3.7}\right)} \right]^2$$

$$\varepsilon = 0.00005 [m]$$

$$f_{T12} = 0.01744$$

Por lo tanto:

$$k_{1B} = 1.164$$

Figura 84.

Editor de Propiedades Tubería 1-B

Propiedad	Valor
*ID Tubería	1-B
*Nudo Inicial	1
*Nudo Final	iB
Descripción	
Etiqueta	
*Longitud	15
*Diámetro	88.9
*Rugosidad	0.045
Coef. de Pérdidas	1.164
Estado Inicial	Abierto
Coef. Flujo	
Coef. Pared	
Caudal	No Disponible
Velocidad	No Disponible
Pérd. Unit.	No Disponible
Factor fricción	No Disponible
Velo. de Reacción	No Disponible
Calidad	No Disponible
Estado	No Disponible

Tubería B-V1 y V1-2

A la tubería B-V1 se le asigna una longitud de 10[m] y a la tubería V1-2 una longitud de 40 [m]. En ambos tramos no se tienen accesorios por lo que la constante de pérdidas es cero. Los datos de rugosidad, diámetro y estado inicial se mantienen igual a los valores del tramo 1-B

Figura 85.*Editor de Propiedades Tubería B-V1*

Propiedad	Valor
*ID Tubería	B-V1
*Nudo Inicial	e8
*Nudo Final	v1
Descripción	
Etiqueta	
*Longitud	10
*Diámetro	88.9
*Rugosidad	0.045
Coef. de Pérdidas	0
Estado Inicial	Abierto
Coef. Flujo	
Coef. Pared	
Caudal	No Disponible
Velocidad	No Disponible
Pérd. Unit.	No Disponible
Factor fricción	No Disponible
Velo. de Reacción	No Disponible
Calidad	No Disponible
Estado	No Disponible

Tramo 2-3 por el Filtro**Tubería 2-F y F-3**

Para la tubería 2-F Y F-3 se asignan longitudes iguales de 10[m] cada una, debido a que la medida del tramo 2-3 por el filtro es de 20[m]. para el valor del diámetro se convirtieron 2 ½ [in] a [mm] dado como resultado 63.50 [mm].

Las constantes de pérdidas son ligeramente diferentes en cada uno de estos tramos. En el nodo 2 se verifica un paso desviado a 90° por la “T” y un paso por una reducción brusca. En el nodo 3, paso por expansión brusca y paso desviado a 90° por la T.

$$k_{2F} = 60 * f_{T23} + k1_{contr}$$

$$k_{F3} = 60 * f_{T23} + k1_{exp}$$

$$k1_{exp} = (1 - \beta^2)^2$$

$$k1_{contr} = 0.5 * (1 - \beta^2) * \sqrt{\sin \left[\frac{\theta}{2} \right]}$$

$$\beta = \frac{D_{23}}{D_{12}}$$

$$\beta = 0.6959$$

$$\theta = 180^\circ$$

$$f_{T23} = \left[\frac{\frac{1}{0.86}}{\ln \left(\frac{\varepsilon}{D_{23} * 3.7} \right)} \right]^2$$

$$f_{T23} = 0.01897$$

Por lo tanto:

$$k_{2F} = 1.396$$

$$k_{F3} = 1.404$$

Tubería 2-F

Figura 86.

Editor de Propiedades Tubería 2-F

Propiedad	Valor
*ID Tubería	2-F
*Nudo Inicial	2
*Nudo Final	F
Descripción	
Etiqueta	
*Longitud	10
*Diámetro	63.5
*Rugosidad	0.045
Coef. de Pérdidas	1.396
Estado Inicial	Abierto
Coef. Flujo	
Coef. Pared	
Caudal	No Disponible
Velocidad	No Disponible
Pérd. Unit.	No Disponible
Factor fricción	No Disponible
Velo. de Reacción	No Disponible
Calidad	No Disponible
Estado	No Disponible

Tubería F-3

Figura 87.

Editor de Propiedades Tubería F-3

Propiedad	Valor
*ID Tubería	F-3
*Nudo Inicial	eF
*Nudo Final	3
Descripción	
Etiqueta	
*Longitud	10
*Diámetro	63.5
*Rugosidad	0.045
Coef. de Pérdidas	1.404
Estado Inicial	Abierto
Coef. Flujo	
Coef. Pared	
Caudal	No Disponible
Velocidad	No Disponible
Pérd. Unit.	No Disponible
Factor fricción	No Disponible
Velo. de Reacción	No Disponible
Calidad	No Disponible
Estado	No Disponible

Tramo 2-3 por la válvula

Tubería 2-V2 y V2-3

Para la tubería 2-V2 Y V2-3 se asignan longitudes iguales de 15[m] cada una y diámetro de 63.50 [mm].

Para el cálculo de las constantes de pérdidas se debe tener en cuenta que en cada tramo está instalado un codo a 90°. En el nodo 2 se verifica un paso directo por la “T” y un paso por una reducción brusca. En el nodo 3, paso por expansión brusca y paso directo por la T.

$$k_{2V2} = 20 * f_{T23} + k1_{contr} + 30 * f_{T23}$$

$$k_{V23} = 30 * f_{T23} + k1_{exp} + 20 * f_{T23}$$

$$k_{2V2} = 1.206$$

$$k_{V23} = 1.214$$

Tubería 2-V2

Figura 88.

Editor de Propiedades Tubería 2-V2

Propiedad	Valor
*ID Tubería	2V2
*Nudo Inicial	2
*Nudo Final	4V2
Descripción	
Etiqueta	
*Longitud	15
*Diámetro	63.5
*Rugosidad	0.05
Coef. de Pérdidas	1.206
Estado Inicial	Abierto
Coef. Flujo	
Coef. Pared	
Caudal	No Disponible
Velocidad	No Disponible
Pérd. Unit.	No Disponible
Factor fricción	No Disponible
Velo. de Reacción	No Disponible
Calidad	No Disponible
Estado	No Disponible

Tubería V2-3

Figura 89.

Editor de Propiedades Tubería 2-V2

Propiedad	Valor
*ID Tubería	V2-3
*Nudo Inicial	3
*Nudo Final	eV2
Descripción	
Etiqueta	
*Longitud	15
*Diámetro	63.5
*Rugosidad	0.05
Coef. de Pérdidas	1.214
Estado Inicial	Abierto
Coef. Flujo	
Coef. Pared	
Caudal	No Disponible
Velocidad	No Disponible
Pérd. Unit.	No Disponible
Factor fricción	No Disponible
Velo. de Reacción	No Disponible
Calidad	No Disponible
Estado	No Disponible

Tramo 3-4

La longitud es 75 [m] y el diámetro de 88.90[mm]. Se contabilizan pérdidas en el codo a 90°, la válvula de compuerta totalmente abierta y la salida de tubería a tanque

$$k_{34} = 30 * f_{T12} + 8 * f_{T31} + 1$$

$$k_{34} = 1.663$$

Bomba

Para introducir las propiedades de la Bomba lo realizaremos mediante las ecuaciones de curva real y eficiencia total, entregadas en el enunciado del ejercicio.

Ecuación de la curva real de operación de la bomba:

$$h_w B [m] = 40 - 0.466 \times Q_B [L/s] + 0.1536 \times Q_B^2 [L/s] - 0.0159 \times Q_B^3 [L/s]$$

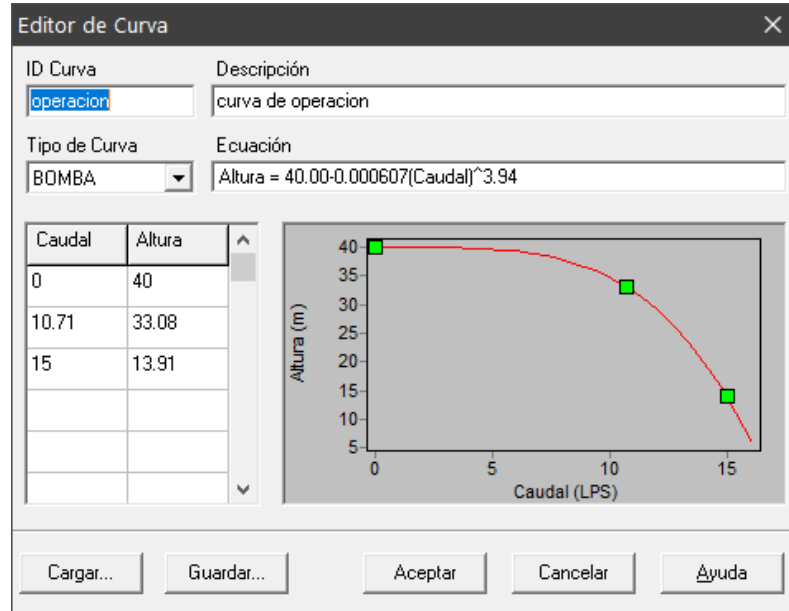
Para esta ecuación tabularemos algunos valores de esta curva con el fin de poder introducir una nube de puntos a EPANET.

Tabla 24.

Curva Bomba Cuarto Ejercicio

$h_w B$ [m]	Q_B [L/s]
0	40
10.71	33.08
15	13.91

Para introducir la curva de operación de la bomba nos dirigimos a el menú visor que está ubicado al lado derecho, en la pestaña datos vamos a curva y luego clicamos en el botón añadir, esto nos llevara al editor de curva, aquí cambiaremos el ID de la curva para poder añadirla a la bomba después, luego en tipo de curva elegiremos Bomba, que nos permite introducir valores de caudal y altura, posteriormente añadiremos los valores encontrados en la tabla anterior, y EPANET nos genera una gráfica, luego daremos clic en aceptar para guardar la curva.

Figura 90.*Editor de Curva Operación*

Ecuación de la eficiencia total de la bomba:

$$\eta_B[\%] = 5.6 \times Q_B[\text{L/s}] + 1.024 \times Q_B^2[\text{L/s}] - 0.0808 \times Q_B^3[\text{L/s}]$$

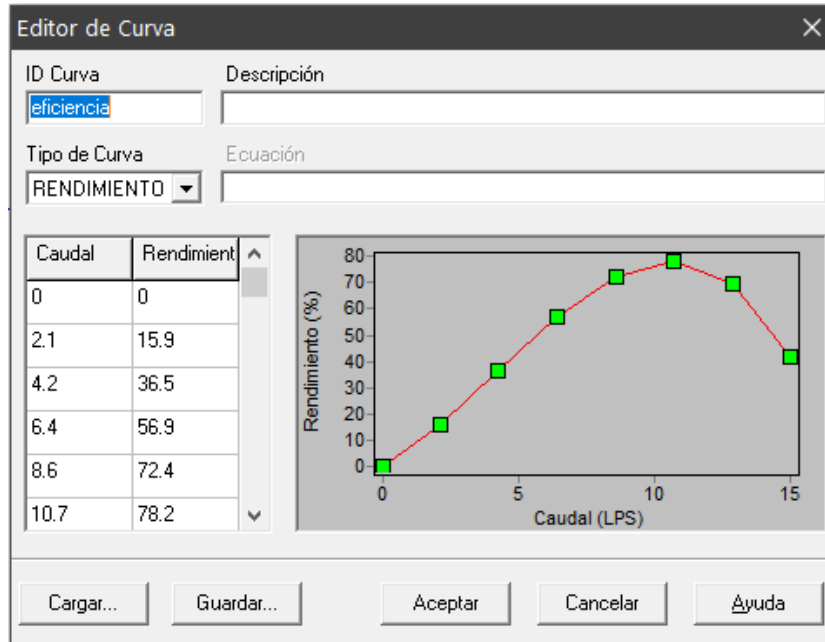
Para esta ecuación tabularemos algunos valores de esta curva con el fin de poder introducir una nube de puntos a EPANET.

Tabla 25.

Curva de eficiencia Bomba Cuarto Ejercicio

Q_B [L/s]	η_B [%]
0	0
2.1	15.9
4.2	36.5
6.4	56.9
8.6	72.4
10.7	78.2
12.9	69.5
15	41.7

Para introducir la curva de rendimiento de la bomba nos dirigimos a el menú visor que está ubicado al lado derecho, en la pestaña datos vamos a curva y luego clicamos en el botón añadir, esto nos llevara al editor de curva, aquí cambiaremos el ID de la curva para poder añadirla a la bomba después, luego en tipo de curva elegiremos Rendimiento, que nos permite introducir valores de caudal y rendimiento en [%], posteriormente añadiremos los valores encontrados en la tabla anterior, y EPANET nos genera una gráfica, luego daremos clic en aceptar para guardar la curva.

Figura 91.*Editor de Curva Eficiencia*

Una vez estén listas las dos curvas que nos fueron proporcionadas en el enunciado, procederemos a introducirlas en la bomba, para eso clicamos 2 veces encima de las bombas y en el cuadro de propiedades, en la pestaña de curva característica introduciremos el ID que le dimos a la curva de operación “operación”, y en curva de rendimiento introducimos el ID de la curva de eficiencia “eficiencia”, de esta manera cargamos las curvas a la bomba.

Figura 92.

Editor de Propiedades Bomba B

Bomba B	
Propiedad	Valor
*ID Bomba	B
*Nudo Inicial	iB
*Nudo Final	eB
Descripción	
Etiqueta	
Curva Característica	operacion
Potencia	
Velocidad Relativa	
Patrón	
Estado Inicial	Abierto
Curva de Rend.	eficiencia
Precio Energía	
Patrón de Precios	
Caudal	No Disponible
Altura Manométrica	No Disponible
Calidad	No Disponible
Estado	No Disponible

Filtro

Como ya se mencionó, debido a que EPANET no ofrece en la barra de elementos físicos, un símbolo específico para filtros, se emplea una válvula (En la figura la válvula F), la cual se debe configurar abierta y con un valor de constante de pérdidas que cumpla con la ecuación dada por el fabricante, que relaciona caída de presión y caudal a través del filtro.

$$\frac{\Delta pf}{\gamma} = k_f * \frac{\left[\frac{Q_{23F}}{A_{23}} \right]^2}{2 * g}$$

$$\Delta pf = 2450 * Q_F^2$$

$$Q_{23F} = Q_F * \left| 0.001 \frac{m^3/s}{L/s} \right|$$

$$A_{23} = \pi * \frac{D_{23}^2}{4}$$

$$k_f = 46.8$$

El Valor del Diámetro es Igual al de la Tubería un la que está Montado

Figura 93.

Editor de Propiedades Válvula F

Válvula F	
Propiedad	Valor
*ID Válvula	F
*Nudo Inicial	iF
*Nudo Final	eF
Descripción	
Etiqueta	
*Diámetro	63.5
*Tipo	Reductora
*Consigna	0
Coef. Pérdidas	46.8
Estado Fijo	Abierto
Caudal	No Disponible
Velocidad	No Disponible
Pérdidas	No Disponible
Calidad	No Disponible
Estado	No Disponible

Válvulas

Quando se utiliza las válvulas para regular se ha de considerar el tipo de válvula que se debe asignar

Tabla 26.

valor de la consigna en válvulas

Tipo de válvula	Consigna (Setting) a introducir en EPANET	Unidades de la Consigna (Setting)
Válvula reductora de presión (PRV)	Presión requerida aguas abajo de la válvula	Metros (m)
Válvula sostenedora de presión (PSV)	Presión requerida aguas arriba de la válvula	Metros (m)
Válvula de rotura de carga (PBV)	Presión de caída requerida entre el nudo aguas arriba y aguas abajo de la válvula	Metros (m)
Válvula limitadora o controladora de caudal (FCV)	Caudal a limitar o restringir en el tramo donde se encuentra instalada la válvula	Litros por segundo (L/s)
Válvula reguladora por estrangulación (TCV)	Coeficiente o constante de accesorio	Adimensional
Válvula de propósito general (GPV)	Nombre o ID de la curva característica que relaciona la pérdida de energía vs caudal	Nombre o ID de la curva característica de pérdidas

Nota. valor a introducir en la propiedad consigna. adaptada de valor a introducir en la propiedad consigna [setting]., De Plazas, J. (2017). Ejercicios Prácticos en EPANET.

Un enfoque práctico lleva a configurar las válvulas de tal forma que la bomba trabaje en su punto de máxima eficiencia y que se filtre el caudal especificado.

V1

En la pestaña tipo se selecciona la opción limitadora de caudal, para el valor de consigna se asigna el valor de 10.7 [L/s] que corresponde al BEP de la bomba.

Para las constantes de pérdidas de cada válvula se calculan con estas expresiones.

$$k_{VR1\ fullopen} = 340 * f_{T12} = 5.93$$

$$k_{VR2\ fullopen} = 340 * f_{T23} = 6.45$$

Figura 94.

Editor de Propiedades Válvula V1

Válvula V1	
Propiedad	Valor
*ID Válvula	V1
*Nudo Inicial	IV1
*Nudo Final	eV1
Descripción	
Etiqueta	
*Diámetro	90.1
*Tipo	Limitadora Caudal
*Consigna	10.7
Coef. Pérdidas	5.93
Estado Fijo	Ninguno
Caudal	No Disponible
Velocidad	No Disponible
Pérdidas	No Disponible
Calidad	No Disponible
Estado	No Disponible

V2

Como se requiere filtrar 7 [L/s] la V2 se configura limitadora de caudal con un valor de consigna de 3.7[L/s].

Figura 95.

Editor de Propiedades Válvula V2

Válvula V2	
Propiedad	Valor
*ID Válvula	V2
*Nudo Inicial	IV2
*Nudo Final	eV2
Descripción	
Etiqueta	
*Diámetro	63.5
*Tipo	Limitadora Caudal
*Consigna	3.7
Coef. Pérdidas	6.45
Estado Fijo	Ninguno
Caudal	No Disponible
Velocidad	No Disponible
Pérdidas	No Disponible
Calidad	No Disponible
Estado	No Disponible

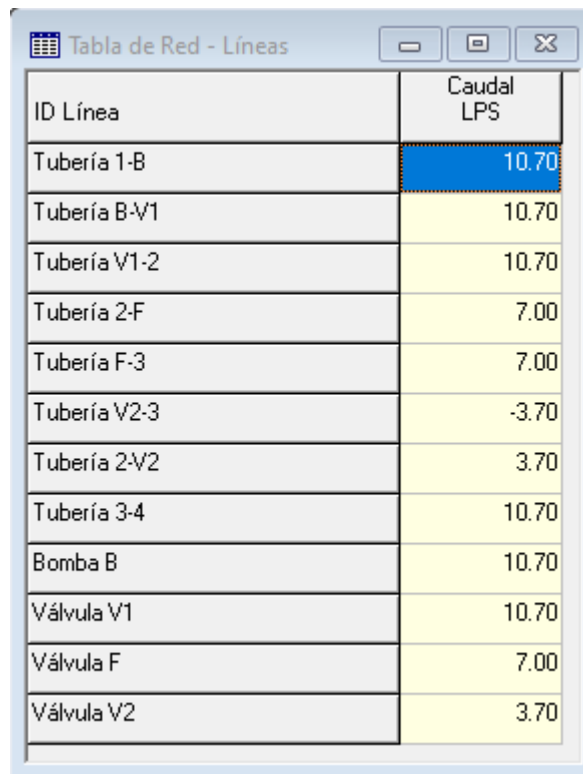
Una vez realizada la simulación se chequea si la presión a la entrada del filtro no supera el valor especificado por el fabricante de 3.5[bar] (35.7 [mca]).

Simulación y Análisis de Resultados.

Para iniciar la simulación clicamos en el icono de iniciar análisis ubicado en la barra de herramientas. Se comienza por, la perdida unitaria para cada tubería, con la ruta e Informe >> Tablas >> Líneas de la red >> Columnas >> caudal >>Aceptar.

Tabla 27.

Resultados Caudal Cuarto Ejercicio

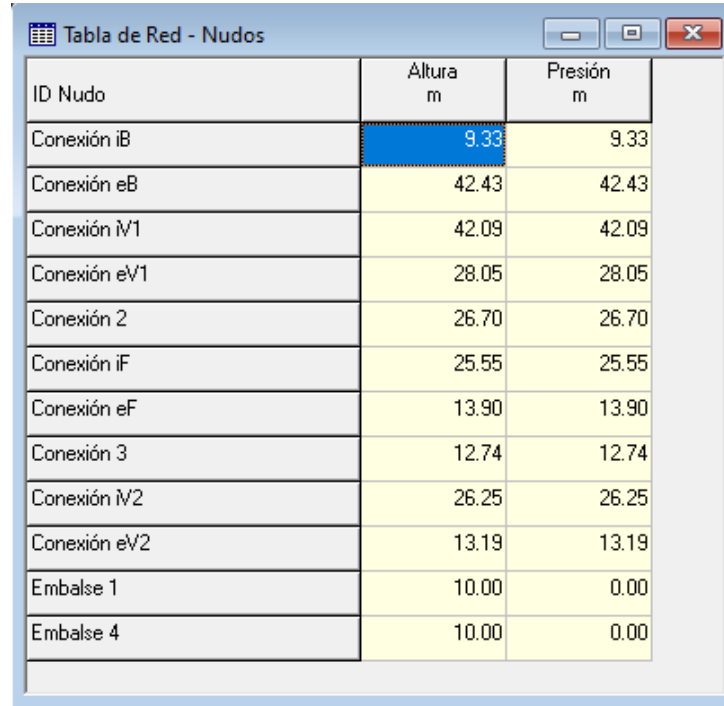


ID Línea	Caudal LPS
Tubería 1-B	10.70
Tubería B-V1	10.70
Tubería V1-2	10.70
Tubería 2-F	7.00
Tubería F-3	7.00
Tubería V2-3	-3.70
Tubería 2-V2	3.70
Tubería 3-4	10.70
Bomba B	10.70
Válvula V1	10.70
Válvula F	7.00
Válvula V2	3.70

Se comienza por, la presión y altura con la ruta, Informe >> Tablas >> Nudos de la red >> Columnas >> presión, altura >>Aceptar.

Tabla 28.

Resultados altura manométrica y presión

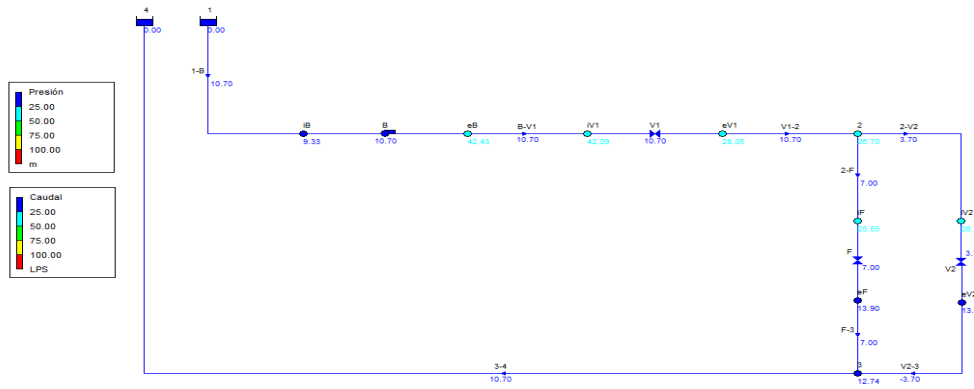


ID Nudo	Altura m	Presión m
Conexión iB	9.33	9.33
Conexión eB	42.43	42.43
Conexión iV1	42.09	42.09
Conexión eV1	28.05	28.05
Conexión 2	26.70	26.70
Conexión iF	25.55	25.55
Conexión eF	13.90	13.90
Conexión 3	12.74	12.74
Conexión iV2	26.25	26.25
Conexión eV2	13.19	13.19
Embalse 1	10.00	0.00
Embalse 4	10.00	0.00

Para ver los resultados del análisis en el dibujo de la red, basta con ir a el menú visor >>plano>>presión y caudal.

Figura 96.

Plano de Resultados - Cuarto Ejercicio



Una vez obtenidos los valores de las presiones en las conexiones 2 y 3, y el caudal que pasa por las válvulas 1,2 y el filtro

Calcular las presiones en las conexiones 2 y 3, y el caudal que pasa por la válvula 1 y 2 además del caudal del filtro, cumpliendo con las especificaciones del filtro.

$$P_{nudo\ 2} = 26.70 \text{ [mca]}$$

$$P_{nudo\ 3} = 12.74 \text{ [mca]}$$

$$Q_{V1} = 10.7 \text{ [L/s]}$$

$$Q_{V2} = 3.7 \text{ [L/s]}$$

$$Q_F = 7 \text{ [L/s]}$$

Dado que el caudal que pasa por el filtro es 7[L/s], y la presión en la entrada del filtro es de 25.55 [mca] se cumplen las especificaciones del filtro, ya que estos valores no superan la presión máxima de servicio y el caudal a filtrar.

$$k_{23V} = 2 * 20 * f_{T23} + k_{1_{contr}} + 2 * 30 * f_{T23} + k_{VR2} + k_{1_{exp}}$$

$$k_{12} = 1.5 + 8 * f_{T12} + 30 * f_{T12} + k_{VR1}$$

Y obtenemos los valores de

$$k_{VR1} = 142.2$$

$$k_{VR2} = 386.3$$

$$k_{VR1 \text{ fullopen}} = 5.93$$

$$k_{VR2 \text{ fullopen}} = 6.45$$

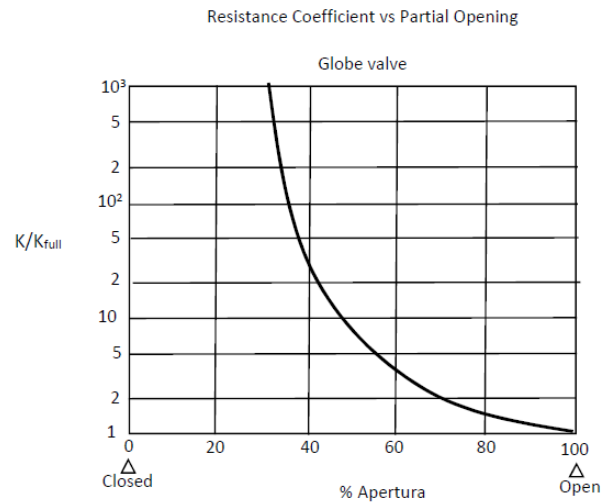
$$\frac{k_{VR1}}{k_{VR1 \text{ fullopen}}} = 23.99$$

$$\frac{k_{VR1}}{k_{VR1 \text{ fullopen}}} = 57.1$$

Una vez obtengamos el valor de las relaciones para k_{VR1} y k_{VR2} mediante el uso de la siguiente gráfica, podremos calcular el porcentaje de apertura de las válvulas 1 y 2 que cumplen con las especificaciones de filtrado.

Figura 97.

Coefficiente de Resistencia Vs Apertura Parcial



$$\%_{\text{apertura}}V1 = 41 \% \text{ aprox}$$

$$\%_{\text{apertura}}V2 = 37 \% \text{ aprox}$$

4.1.2.5 Solución Quinto Ejercicio Propuesto: Alimentación de Refrigerante Hacia Tanque Presurizado y Recirculación. Se bombea refrigerante desde un tanque colector hacia otro tanque elevado y presurizado a 10 [psi], desde el cual el refrigerante recircula hacia las máquinas. En las líneas de alimentación de refrigerante a las máquinas se dispone de las válvulas de regulación (válvulas de globo) VR1 Y VR2, las cuales no operan totalmente abiertas. A la temperatura promedio de operación, El líquido tiene una gravedad específica de 0.92 y viscosidad dinámica de $3.6 \cdot 10^5$ [lbf-s/ft²]. La constante de pérdida del filtro es de 70 (Con base en la cabeza de velocidad en tubo). La bomba transmite al refrigerante 2 hp de potencia. La tubería es de acero comercial SCH 40. Los diámetros y longitudes de los tramos se especifican en la siguiente tabla:

Tabla 29.

Diámetros y longitudes tramos de tubería Quinto Ejercicio

Tramo de tubería	longitud [ft]	Diámetro Nominal [in]
1-2	15	2½
3-4	26	2
4-5	30	2
5-6	24	2
5-7	10	2

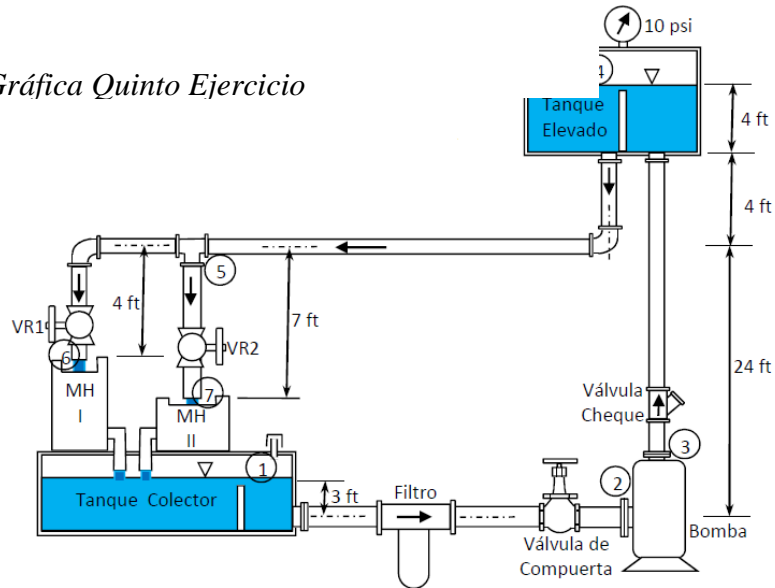
Determinar las presiones en los puntos 3, 5, además calcular los caudales que circulan por las dos válvulas de regulación

P3 =

P5 =

Qv1 =

Qv2 =

Figura 98.*Representación Gráfica Quinto Ejercicio***SOLUCION****Paso 1 Dibujar el Plano de la Red**

Antes de empezar la simulación es importante configurar el sistema de unidades, elegir una de las metodologías de cálculo que nos proporciona el programa, definir el tipo de fluido y otras opciones que son necesarias antes de empezar el modelo.

Cuando estemos en EPANET en la barra menú se da clic en proyecto, luego vamos a valores por defecto, nos abrirá una ventana con 3 pestañas, iremos a la pestaña opciones hidráulicas, y encontraremos las configuraciones de caudal, peso específico, tipos de cálculo de pérdidas, viscosidad, etc.

Debemos cerciorarnos que las unidades del caudal sean LPS la ecuación de pérdidas será darcy-weisbach (D-W), El líquido tiene una gravedad específica de 0.92 y viscosidad dinámica de $3.6 \cdot 10^5$ [lbf-s/ft²].

$$S = 0.92$$

$$\rho_w = 998.2 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$\rho = S * \rho_w$$

$$\gamma = \rho * g$$

$$g = 9.81 [m/s^2]$$

$$v = \frac{\mu}{\rho}$$

$$\mu = 0.000036 \left[\frac{lb \cdot s}{ft^2} \right] * \left| 47.88 * \frac{pa \cdot s}{lb \cdot s} \right|$$

$$\varepsilon = 0.00005 [m]$$

$$v_{rel} = \frac{v}{\frac{v_{agua,20^\circ C,1 atm}}{\rho_{agua,20^\circ C,1 atm}}}$$

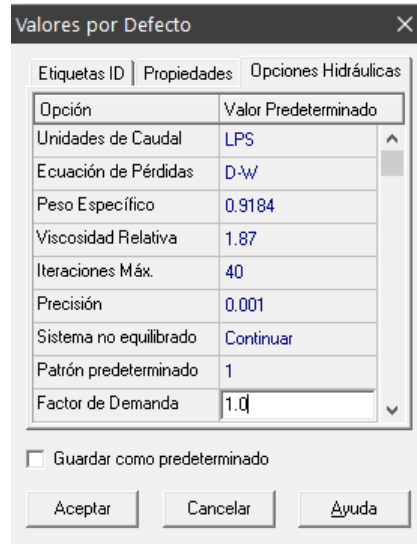
$$\gamma_{rel} = \frac{\rho}{\rho_{agua,4^\circ C,1 atm}}$$

$$\gamma_{rel} = 0.9184$$

$$v_{rel} = 1.87$$

Figura 99.

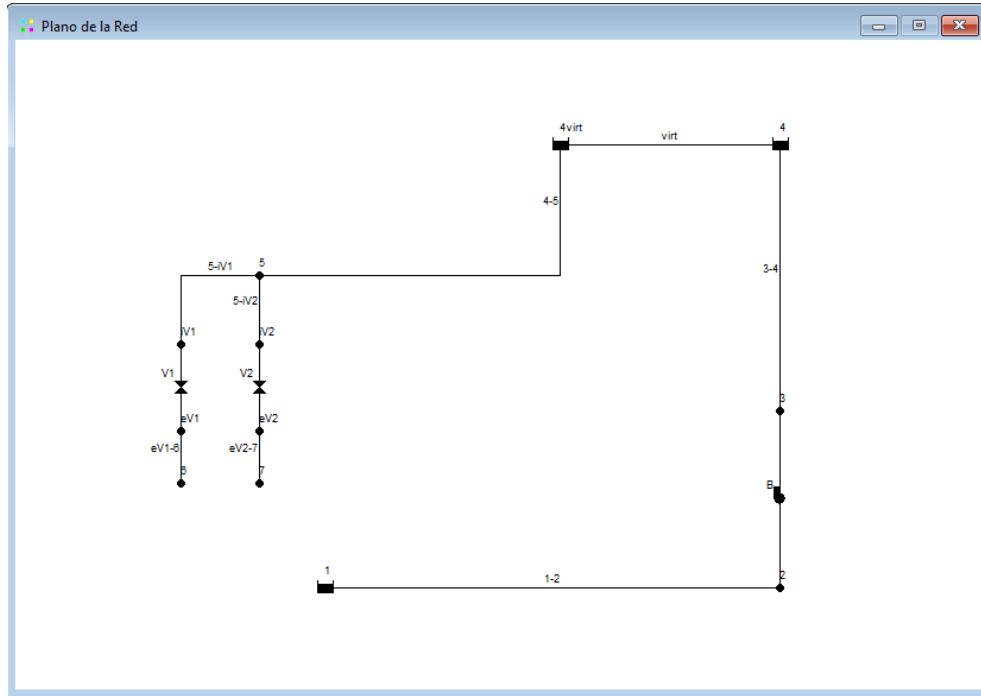
filtrado Valores por Defecto - Quinto Ejercicio



Paso 2 Introducir Elementos Físicos a la Red

Es recomendable construir el esquema de la red, siguiendo la dirección del flujo para evitar confusiones en las conexiones, y revisar que no haga falta ningún componente, desde la barra de herramientas podemos arrastrar a la zona de trabajo los elementos necesarios.

Debido a que EPANET no ofrece en la barra de elementos físicos, un símbolo específico para tanques presurizados. Como resultado nos queda un dibujo del plano de red de esta forma.

Figura 100.*Plano de Elementos - Quinto Ejercicio*

Se usaron notaciones cortas para los ID de cada elemento con el fin de ubicarlos mejor, Para el caso de las tuberías, cada tramo se identifica con los dos ID de sus respectivos nodos, de tal forma que se pueda verificar rápidamente de donde sale y a donde llega la tubería.

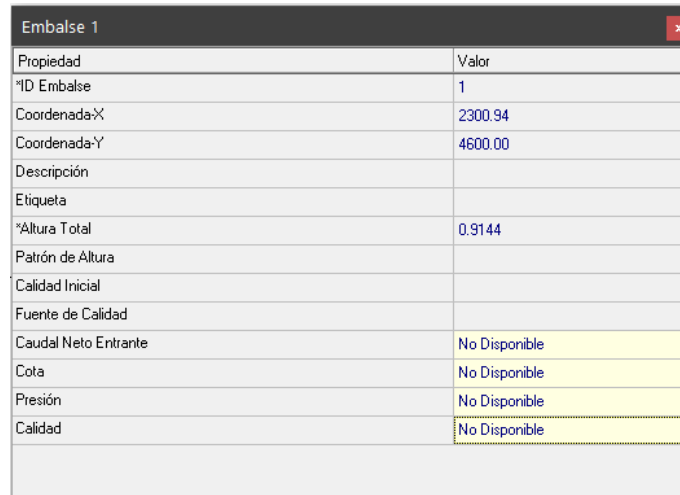
Paso 3 Configuración de las Propiedades de los Elementos Físicos de la Red.

Embalses

Embalse 1

La única propiedad que se establece es la *Altura total a la cual se le da un valor de 10 [m], que corresponde al valor de la cota de lámina de agua de su superficie libre.

Es necesario realizar la conversión de 3[ft] a [m] = 0.9144 [mca]

Figura 101.*Editor de Propiedades Embalse 1*


Propiedad	Valor
*ID Embalse	1
Coordenada-X	2300.94
Coordenada-Y	4600.00
Descripción	
Etiqueta	
*Altura Total	0.9144
Patrón de Altura	
Calidad Inicial	
Fuente de Calidad	
Caudal Neto Entrante	No Disponible
Cota	No Disponible
Presión	No Disponible
Calidad	No Disponible

Embalse 4

Ambos embalses representan el tanque elevado presurizado se emplean de esta manera por comodidad de dibujo, están conectados por una tubería, que no representa nada.

Es necesario realizar la conversión de 32[ft] a [m] = 9.7536 [mca], como el tanque esta presurizado debemos hallar una nueva altura total con el fin de simular el aumento de presión en el tanque.

$$z4 = 9.7536 \text{ [mca]}$$

$$H4 = \frac{p4}{\gamma} + z4$$

$$p4 = 10[\text{psi}] * 6895 \left[\frac{\text{pa}}{\text{psi}} \right]$$

$$H4 = 17.41 \text{ [m]}$$

Figura 102.

Editor de Propiedades Embalse 4

Embalse 4	
Propiedad	Valor
*ID Embalse	4
Coordenada-X	5800.00
Coordenada-Y	8000.00
Descripción	
Etiqueta	
*Altura Total	17.41
Patrón de Altura	
Calidad Inicial	
Fuente de Calidad	
Caudal Neto Entrante	No Disponible
Cota	No Disponible
Presión	No Disponible
Calidad	No Disponible

Embalse 4virt

Figura 103.

Editor de Propiedades Embalse 4virt

Embalse 4virt	
Propiedad	Valor
*ID Embalse	4virt
Coordenada-X	4104.22
Coordenada-Y	8000.00
Descripción	
Etiqueta	
*Altura Total	17.41
Patrón de Altura	
Calidad Inicial	
Fuente de Calidad	
Caudal Neto Entrante	No Disponible
Cota	No Disponible
Presión	No Disponible
Calidad	No Disponible

CONEXIONES

Nudo 2,3,5,6,7

Los nodos se deben dibujar primero para poder conectar las tuberías, bombas y válvulas. su cota y demanda base tienen valores de 0 que corresponden con las condiciones del sistema.

Nudo 2

Debido a que Z2 tiene un valor de 0, el valor a introducir es el mismo.

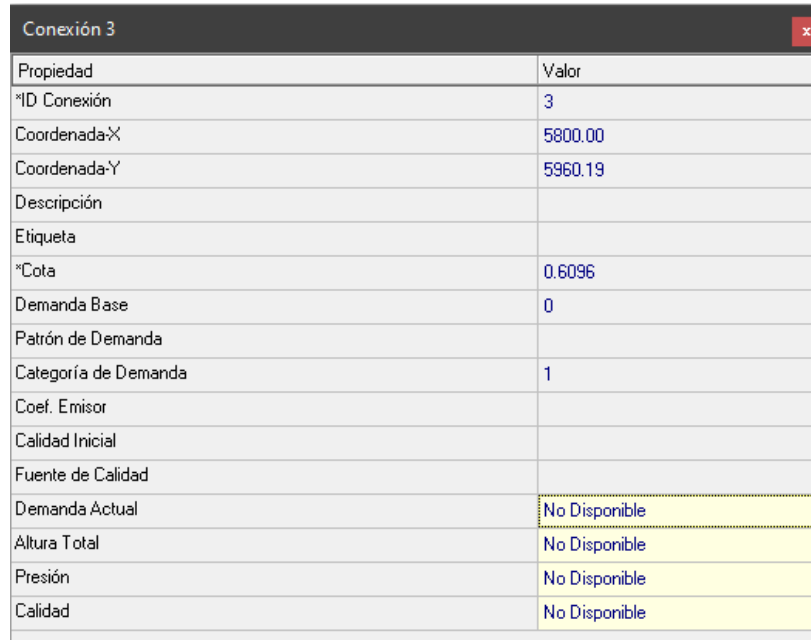
Figura 104.

Editor de Propiedades Conexión 2

Propiedad	Valor
*ID Conexión	2
Coordenada-X	5800.00
Coordenada-Y	4600.00
Descripción	
Etiqueta	
*Cota	0
Demanda Base	0
Patrón de Demanda	
Categoría de Demanda	1
Coef. Emisor	
Calidad Inicial	
Fuente de Calidad	
Demanda Actual	No Disponible
Altura Total	No Disponible
Presión	No Disponible
Calidad	No Disponible

Nudo 3

Para introducir la cota es necesario realizar la conversión de 2[ft] a $[m] = 0.6096 [mca]$

Figura 105.*Editor de Propiedades Nudo 3*

Propiedad	Valor
*ID Conexión	3
Coordenada-X	5800.00
Coordenada-Y	5960.19
Descripción	
Etiqueta	
*Cota	0.6096
Demanda Base	0
Patrón de Demanda	
Categoría de Demanda	1
Coef. Emisor	
Calidad Inicial	
Fuente de Calidad	
Demanda Actual	No Disponible
Altura Total	No Disponible
Presión	No Disponible
Calidad	No Disponible

Nudo 5

Para introducir la cota es necesario realizar la conversión de 24[ft] a $[m] = 7.315$ [mca]

Figura 106.*Editor de Propiedades Conexión 5*

Propiedad	Valor
*ID Conexión	5
Coordenada-X	1800.00
Coordenada-Y	7000.00
Descripción	
Etiqueta	
*Cota	7.315
Demanda Base	0
Patrón de Demanda	
Categoría de Demanda	1
Coef. Emisor	
Calidad Inicial	
Fuente de Calidad	
Demanda Actual	No Disponible
Altura Total	No Disponible
Presión	No Disponible
Calidad	No Disponible

Nudo 6

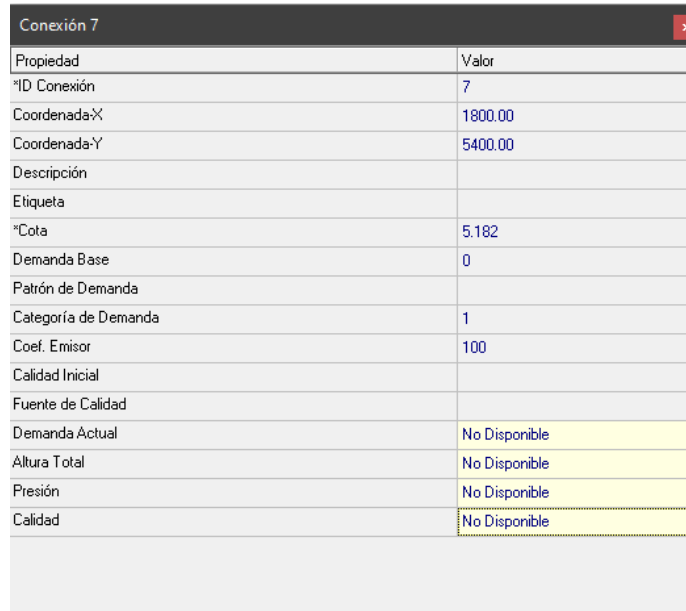
Para introducir la cota es necesario realizar la conversión de 20[ft] a $[m] = 6.096$ [mca]. El coeficiente emisor es la propiedad que hace posible simular la despresurización del flujo a través de un orificio, se le asigna un valor numérico para lograr que EPANET asuma el flujo a través de este orificio, usaremos un coeficiente emisor alto, en este caso le asignaremos el valor de 100, lo mismo para el nudo 7.

Figura 107.*Editor de Propiedades Conexión 6*

Conexión 6	
Propiedad	Valor
*ID Conexión	6
Coordenada-X	1200.00
Coordenada-Y	5400.00
Descripción	
Etiqueta	
*Cota	6.096
Demanda Base	0
Patrón de Demanda	
Categoría de Demanda	1
Coef. Emisor	100
Calidad Inicial	
Fuente de Calidad	...
Demanda Actual	No Disponible
Altura Total	No Disponible
Presión	No Disponible
Calidad	No Disponible

Nudo 7

Para introducir la cota es necesario realizar la conversión de 17[ft] a $[m] = 5.182 [mca]$

Figura 108.*Editor de Propiedades Conexión 7*


Propiedad	Valor
*ID Conexión	7
Coordenada-X	1800.00
Coordenada-Y	5400.00
Descripción	
Etiqueta	
*Cota	5.182
Demanda Base	0
Patrón de Demanda	
Categoría de Demanda	1
Coef. Emisor	100
Calidad Inicial	
Fuente de Calidad	
Demanda Actual	No Disponible
Altura Total	No Disponible
Presión	No Disponible
Calidad	No Disponible

Tuberías

Todas las tuberías son de acero comercial y se configuran con estado inicial abierto. La rugosidad para el acero comercial SCH 40 es de 0.05[mm].

Tubería 1-2

La longitud de la tubería es de 15 [ft], valor dado en el enunciado del ejercicio, donde f_{T12} es el factor a total turbulencia para tubería de acero de 2 ½ in

$$L_{12} = 15 [ft] * 0.3048 \left[\frac{m}{ft} \right] = 4.572 [m]$$

$$D_{12} = 0.0635 [m] = 63.5 [mm]$$

$$RR_{12} = \frac{\varepsilon}{D_{12}}$$

$$f_{T12} = \left[\frac{1}{\ln\left(\frac{0.86}{3.7}\right)} \right]^2$$

$$k_{12} = 1 + 0.5 + 70 + 8 * f_{T12}$$

$$k_{12} = 71.65$$

Para el cálculo de las constantes de pérdidas se debe tener en cuenta que en cada tramo está instalado un codo a 90°. En el nodo 2 se verifica un paso directo por la “T” y un paso por una reducción brusca. En el nodo 3, paso por expansión brusca y paso directo por la T.

$k_{12} = 1,0$ (de nodo a tanque) + $0,5$ (entrada de tanque a tubería a tope ángulos vivos) + 70 (k del filtro según enunciado) + $8 * f_{T12}$ (válvula de compuerta).

Figura 109.

Editor de Propiedades Tubería 1-2

Propiedad	Valor
*ID Tubería	1-2
*Nudo Inicial	1
*Nudo Final	2
Descripción	
Etiqueta	
*Longitud	4.572
*Diámetro	63.5
*Rugosidad	0.05
Coef. de Pérdidas	71.65
Estado Inicial	Abierto
Coef. Flujo	
Coef. Pared	
Caudal	No Disponible
Velocidad	No Disponible
Pérd. Unit.	No Disponible
Factor fricción	No Disponible
Velo. de Reacción	No Disponible
Calidad	No Disponible
Estado	No Disponible

Tubería 3-4

La longitud de la tubería es de 26 [ft], valor dado en el enunciado del ejercicio, donde f_{T34} es el factor a total turbulencia para tubería de acero de 2 in

$$L_{34} = 26 [ft] * 0.3048 \left[\frac{m}{ft} \right] = 7.925 [m]$$

$$D_{34} = 0.0409 [m] = 40.9 [mm]$$

$$RR_{34} = \frac{\varepsilon}{D_{34}}$$

$$f_{T34} = \left[\frac{1}{\ln \left(\frac{0.86}{3.7} \right)} \right]^2$$

$$k_{34} = -1 + 100 * f_{T34} + 1$$

$$k_{34} = 2.105$$

$$k_{34} = -1,0(\text{de nodo a tanque}) + 100 * f_{T34}(\text{válvula cheque}) + 1,0(\text{salida de tubería a tanque}).$$

Figura 110.

Editor de Propiedades Tubería 3-4

Propiedad	Valor
*ID Tubería	3-4
*Nudo Inicial	3
*Nudo Final	4
Descripción	
Etiqueta	
*Longitud	7.925
*Diámetro	40.9
*Rugosidad	0.05
Coef. de Pérdidas	2.105
Estado Inicial	Abierto
Coef. Flujo	
Coef. Pared	
Caudal	No Disponible
Velocidad	No Disponible
Pérd. Unit.	No Disponible
Factor fricción	No Disponible
Velo. de Reacción	No Disponible
Calidad	No Disponible
Estado	No Disponible

Tubería 4-5

La longitud de la tubería es de 30 [ft], valor dado en el enunciado del ejercicio, donde f_{T45} es el factor a total turbulencia para tubería de acero de 2 in.

$$L_{45} = 30 [ft] * 0.3048 \left[\frac{m}{ft} \right] = 9.144 [m]$$

$$D_{45} = 0.0409 [m] = 40.9 [mm]$$

$$RR_{45} = \frac{\varepsilon}{D_{45}}$$

$$f_{T45} = \left[\frac{1}{\frac{0.86}{\ln\left(\frac{RR_{45}}{3.7}\right)}} \right]^2$$

$$k_{45} = 1 + 30 * f_{T45} + 0.5$$

$$k_{45} = 2.131$$

Figura 111.

Editor de Propiedades Tubería 4-5

Propiedad	Valor
*ID Tubería	4-5
*Nudo Inicial	4virt
*Nudo Final	5
Descripción	
Etiqueta	
*Longitud	9.144
*Diámetro	40.9
*Rugosidad	0.05
Coef. de Pérdidas	2.131
Estado Inicial	Abierto
Coef. Flujo	
Coef. Pared	
Caudal	No Disponible
Velocidad	No Disponible
Pérd. Unit.	No Disponible
Factor fricción	No Disponible
Velo. de Reacción	No Disponible
Calidad	No Disponible
Estado	No Disponible

Tubería 5-6

La longitud de la tubería es de 40 [ft], valor dado en el enunciado del ejercicio, donde f_{T56} es el factor a total turbulencia para tubería de acero de 2 in

$$L_{56} = 24 [ft] * 0.3048 \left[\frac{m}{ft} \right] = 7.3152 [m]$$

$$D_{56} = 0.0409 [m] = 40.9 [mm]$$

$$RR_{56} = \frac{\varepsilon}{D_{56}}$$

$$f_{T56} = \left[\frac{1}{\ln \left(\frac{0.86}{3.7 RR_{56}} \right)} \right]^2$$

$$k_{56} = 20 * f_{T56} + 30 * f_{T56} + 20 * k_{VR1}$$

$$k_{56} = 40.38$$

Tubería 5-7

La longitud de la tubería es de 40 [ft], valor dado en el enunciado del ejercicio, donde f_{T56} es el factor a total turbulencia para tubería de acero de 2 in

$$L_{57} = 40 [ft] * 0.3048 \left[\frac{m}{ft} \right] = 12.192 [m]$$

$$D_{57} = 0.0409 [m] = 40.9 [mm]$$

$$RR_{57} = \frac{\varepsilon}{D_{57}}$$

$$f_{T56} = \left[\frac{1}{\frac{0.86}{\ln\left(\frac{RR_{57}}{3.7}\right)}} \right]^2$$

$$k_{56} = 60 * f_{T57} + k_{VR2}$$

$$k_{57} = 13.41$$

Con las siguientes formulas se puede determinar el valor de las pérdidas para cada válvula dando como resultado:

$$k_{VR1} = \frac{4.3 [m]}{\frac{1.44^2 \left[\frac{m}{s} \right]}{2 * g}}$$

$$k_{VR2} = \frac{4.89 [m]}{\frac{2.69^2 \left[\frac{m}{s} \right]}{2 * g}}$$

$$k_{VR1} = 39.33$$

$$k_{VR1} = 12.3$$

Para determinar las pérdidas en el tramo de tubería antes de cada válvula es necesario restar a la constante de pérdidas de cada tubería la constante de pérdidas de cada válvula.

Tubería 5-iV1

Figura 112.

Tubería 5-iV1

Tubería 5-iV1	
Propiedad	Valor
*ID Tubería	5-iV1
*Nudo Inicial	5
*Nudo Final	V1
Descripción	
Etiqueta	
*Longitud	6.815
*Diámetro	40.9
*Rugosidad	0.05
Coef. de Pérdidas	1.05
Estado Inicial	Abierto
Coef. Flujo	
Coef. Pared	
Caudal	No Disponible
Velocidad	No Disponible
Pérd. Unit.	No Disponible
Factor fricción	No Disponible
Velo. de Reacción	No Disponible
Calidad	No Disponible
Estado	No Disponible

Figura 113.

Tubería 5-iV2

Tubería 5-iV2	
Propiedad	Valor
*ID Tubería	5-iV2
*Nudo Inicial	5
*Nudo Final	IV2
Descripción	
Etiqueta	
*Longitud	1.634
*Diámetro	40.9
*Rugosidad	0.05
Coef. de Pérdidas	1.11
Estado Inicial	Abierto
Coef. Flujo	
Coef. Pared	
Caudal	No Disponible
Velocidad	No Disponible
Pérd. Unit.	No Disponible
Factor fricción	No Disponible
Velo. de Reacción	No Disponible
Calidad	No Disponible
Estado	No Disponible

Válvulas

Quando se utiliza las válvulas para regular se ha de considerar el tipo de válvula que se debe asignar

Figura 114.

Valor de la consigna en válvulas

Tipo de válvula	Consigna (Setting) a introducir en EPANET	Unidades de la Consigna (Setting)
Válvula reductora de presión (PRV)	Presión requerida aguas abajo de la válvula	Metros (m)
Válvula sostenedora de presión (PSV)	Presión requerida aguas arriba de la válvula	Metros (m)
Válvula de rotura de carga (PBV)	Presión de caída requerida entre el nudo aguas arriba y aguas abajo de la válvula	Metros (m)
Válvula limitadora o controladora de caudal (FCV)	Caudal a limitar o restringir en el tramo donde se encuentra instalada la válvula	Litros por segundo (L/s)
Válvula reguladora por estrangulación (TCV)	Coefficiente o constante de accesorio	Adimensional
Válvula de propósito general (GPV)	Nombre o ID de la curva característica que relaciona la pérdida de energía vs caudal	Nombre o ID de la curva característica de pérdidas

Nota. valor a introducir en la propiedad consigna. adaptada de valor a introducir en la propiedad consigna [setting]., De Plazas, J. (2017). Ejercicios Prácticos en EPANET.

Un enfoque práctico lleva a configurar las válvulas de tal forma que la bomba trabaje en su punto de máxima eficiencia y que se filtre el caudal especificado.

V1 y V2

En la pestaña tipo se selecciona la opción limitadora de caudal, para el valor de consigna se asigna el valor de 1.89 [L/s].

Para las constantes de pérdidas de cada válvula se calculan con estas expresiones.

$$k_{VR1 \text{ fullopen}} = 340 * f_{T56}$$

$$k_{VR2 \text{ fullopen}} = 340 * f_{T57}$$

$$k_{VR1} = \frac{4.3 \text{ [m]}}{\frac{1.44^2 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]}{2 * g}}$$

$$k_{VR2} = \frac{4.89 \text{ [m]}}{\frac{2.69^2 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]}{2 * g}}$$

$$k_{VR1} = 39.33$$

$$k_{VR1} = 12.3$$

V1

Figura 115.

Tabla de propiedades válvula V1

Válvula V1	
Propiedad	Valor
*ID Válvula	V1
*Nudo Inicial	IV1
*Nudo Final	eV1
Descripción	
Etiqueta	
*Diámetro	40.9
*Tipo	Limitadora Caudal
*Consigna	1.893
Coef. Pérdidas	39.33
Estado Fijo	Ninguno
Caudal	No Disponible
Velocidad	No Disponible
Pérdidas	No Disponible
Calidad	No Disponible
Estado	No Disponible

V2

Figura 116.

Tabla de propiedades válvula V2

Válvula V2	
Propiedad	Valor
*ID Válvula	V2
*Nudo Inicial	IV2
*Nudo Final	eV2
Descripción	
Etiqueta	
*Diámetro	40.9
*Tipo	Limitadora Caudal
*Consigna	3.35
Coef. Pérdidas	12.3
Estado Fijo	Ninguno
Caudal	No Disponible
Velocidad	No Disponible
Pérdidas	No Disponible
Calidad	No Disponible
Estado	No Disponible

Bomba

La bomba transmite al refrigerante 2 hp de potencia, EPANET permite el ingreso de la potencia en KW $2 \text{ [HP]} = 1.491 \text{ [KW]}$

Figura 117.

Tabla de propiedades Bomba B

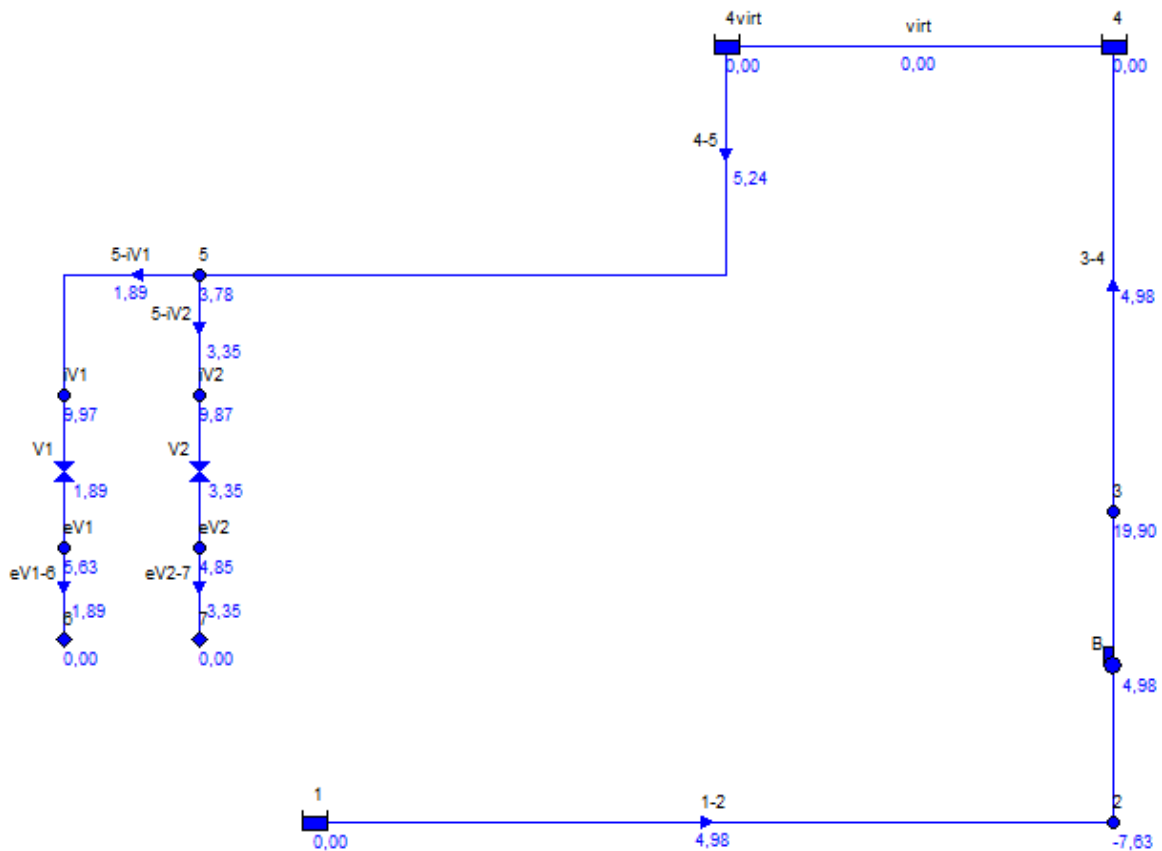
Bomba B	
Propiedad	Valor
*ID Bomba	B
*Nudo Inicial	2
*Nudo Final	3
Descripción	
Etiqueta	
Curva Característica	
Potencia	1.4914
Velocidad Relativa	
Patrón	
Estado Inicial	Abierto
Curva de Rend.	
Precio Energía	
Patrón de Precios	
Caudal	No Disponible
Altura Manométrica	No Disponible
Calidad	No Disponible
Estado	No Disponible

Paso 4 Simulación y Análisis de Resultados

Para iniciar la simulación clicamos en el icono de iniciar análisis ubicado en la barra de herramientas. Para ver los resultados del análisis en el dibujo de la red, basta con ir a el menú visor >>plano>>presión y caudal.

Figura 118.

Plano de Resultados – Quinto Ejercicio



Aquí podemos apreciar el valor de las presiones y los caudales que nos solicita el enunciado del ejercicio.

$$P_3 = 19.9 \text{ [mca]}$$

$$P5 = 3.78 \text{ [mca]}$$

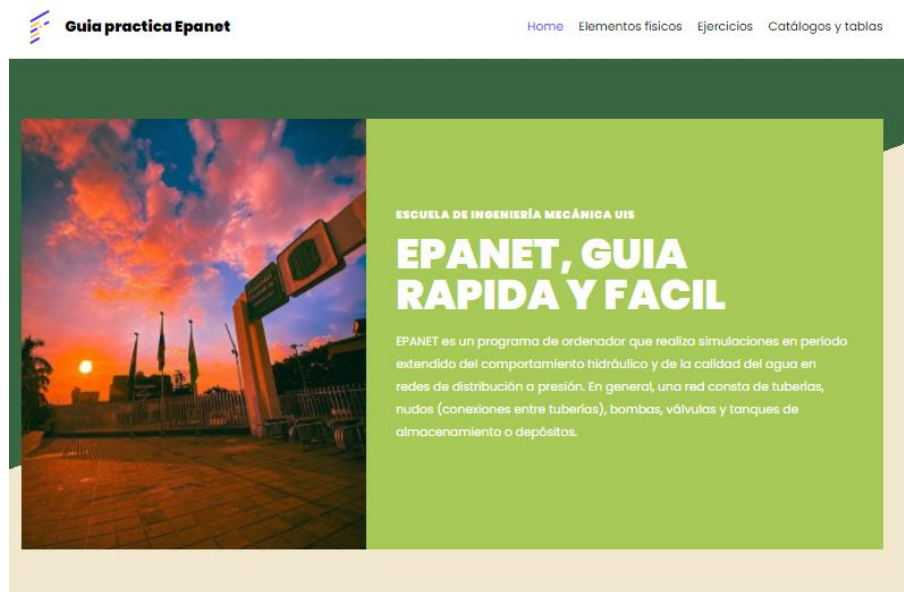
$$Q_{v1} = 1.89 \text{ [mca]}$$

$$Q_{v2} = 3.35 \text{ [mca]}$$

Pregunta para los estudiantes

1. ¿Cuál es el Caudal que recircula por el sistema?
2. Si solo una válvula opera totalmente abierta. ¿Cuál válvula sería?, y la constante de pérdida que debe tener la válvula de regulación que trabaja parcialmente abierta.

4.2 Vista General Del Sitio Web




ANTES DE EMPEZAR

NO TE PREOCUPES SI, NO TIENES EL PROGRAMA


Gracias a que EPANET es un programa de dominio público. Lo podemos descargar de manera gratuita en su página oficial.

[Descargar EPANET](#)




SISTEMAS DE TRANSPORTE Y APROVECHAMIENTO DE FLUIDOS

NUESTRO CURSO




COMPONENTES FÍSICOS

Son los elementos que constituyen las redes hidráulicas.



EJERCICIOS

Se pondrá en práctica todos los componentes de la red, en situaciones básicas.



TABLAS DE PROPIEDADES

Tablas de propiedades de agua, catálogos de tuberías entre otras cosas.

TRABAJO DE GRADO UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER ESCUELA DE MECANICA 2021

GRUPO DE TRABAJO

CAMILO JOSÉ ARDILA PACHECO

VÍCTOR ANDRÉS ORTIZ TORRES

DIRECTOR DE TESIS

JAVIER RÚGELES PÉREZ

ENSEÑAR NO ES TRANSFERIR CONOCIMIENTO, SINO CREAR LAS POSIBILIDADES PARA SU PRODUCCIÓN O SU CONSTRUCCIÓN. QUIEN ENSEÑA APRENDE Y QUIEN ENSEÑA APRENDE A APRENDER

| Powered by

Link de acceso a el sitio web: <https://uisepanet.tk>

5. Discusión

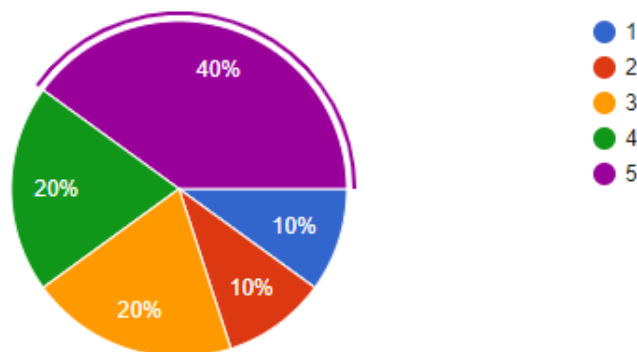
Con la ayuda de las nuevas tecnologías como lo son las redes sociales como Facebook, y también a la red de amigos forjados a lo largo del tiempo en La Escuela de Ingeniería Mecánica de La Universidad Industrial de Santander. Se dio a la tarea de buscar 10 personas que estuvieran activos como estudiantes del curso SISTEMAS DE TRANSPORTE Y APROVECHAMIENTO DE FLUIDOS, y se les propuso la elaboración de una encuesta y por medio de esta hacer un análisis para la implementación de la propuesta para la clase y así mejorar el proceso de aprendizaje y reforzar los conocimientos de la asignatura. La encuesta arrojó los siguientes resultados por parte de los estudiantes.

¿Considera que en el enunciado de un problema escrito no le permite visualizar los fenómenos hidráulicos, que están ocurriendo en una red de distribución a presión?

Figura 119.

Grafico pregunta 1 de la encuesta

10 respuestas



Nota, grafico tomado de la página Google formulario.

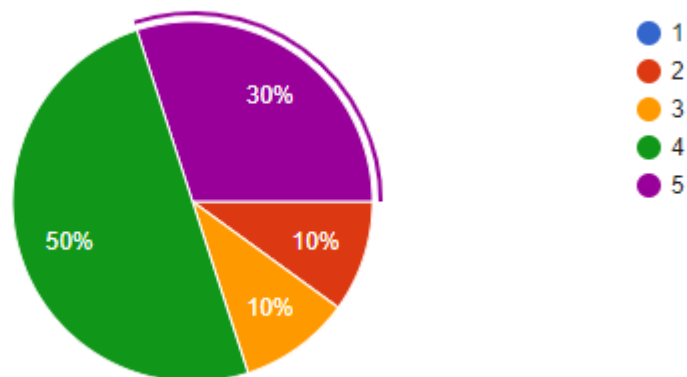
Esta pregunta hace referencia a las dificultades que muchos estudiantes presentan a la hora de “imaginar” como funciona un fenómeno hidráulico dentro de un sistema. En este caso las respuestas de los estudiantes demuestran que aproximadamente un 40% de ellos, presenta alguna dificultad a la hora de relacionar un enunciado con lo que está pasando internamente en el sistema descrito.

¿El problema resuelto mediante el programa propuesto facilitó la comprensión y el análisis del ejercicio en la asignatura de Sistemas de Transporte y Aprovechamiento de Fluidos?

Figura 120.

Grafico pregunta 2 de la encuesta

10 respuestas



Nota, grafico tomado de la página Google formulario.

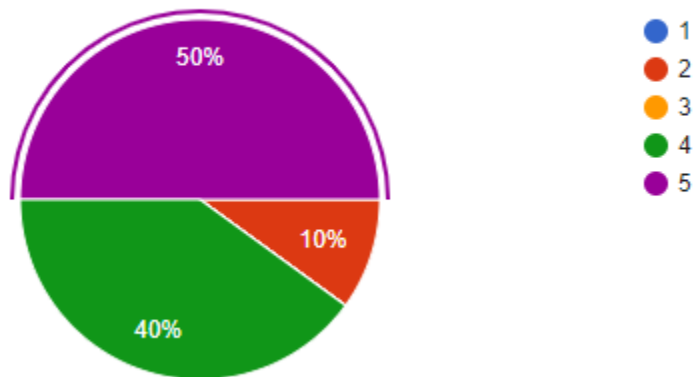
Se puede notar que EPANET, ayuda, facilita y mejora el análisis de los temas tratados en la asignatura, además de permitirle al estudiante tener una visión más global y mejor representada que si solo se guiara en el enunciado.

¿Cree usted que la propuesta de implementar el software EPANET ayudaría a visualizar los problemas complejos que presenta el contenido de la asignatura de Sistemas de Transporte y Aprovechamiento de Fluidos?

Figura 121.

Grafico pregunta 3 de la encuesta

10 respuestas



Nota, grafico tomado de la página Google formulario.

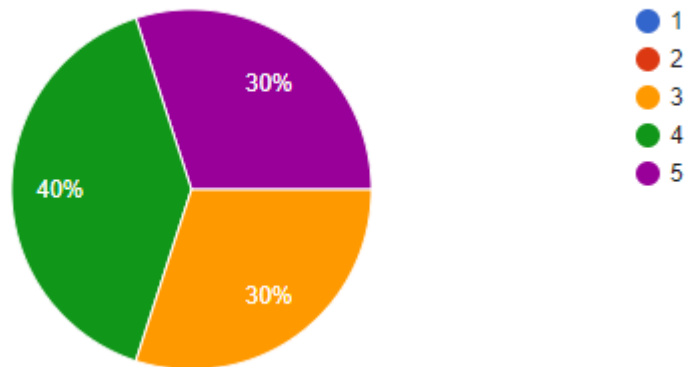
Según las respuestas de los estudiantes, el programa fue de gran ayuda para la solución y comprensión de los ejercicios propuestos, debido a que proporciona una solución rápida y a fondo ya que analiza todas las partes del sistema y los fenómenos que las afectan.

¿Cree usted que la propuesta de implementar una guía Práctica De EPANET le ayudaría a mejorar su rendimiento en la asignatura?

Figura 122.

Grafico pregunta 4 de la encuesta

10 respuestas



Nota, grafico tomado de la página Google formulario.

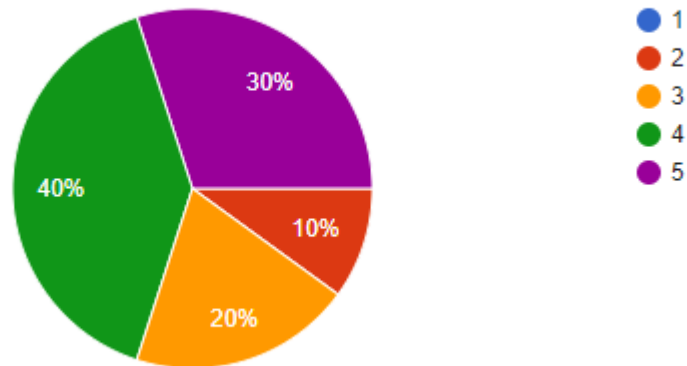
Se puede notar que los estudiantes aseguran que el uso de EPANET en la asignatura podría mejorar notablemente sus calificaciones, debido a que los resultados que arrojan las simulaciones son correctos y utilizan métodos de cálculo ya conocidos, esto les permite corregir sus ejercicios y notar rápidamente en que parte se encuentran los errores que el estudiante pudo cometer sin estar dándole vueltas al asunto.

Califique la calidad visual con la que el programa le permite comprender el ejercicio mediante su interfaz gráfica.

Figura 123.

Grafico pregunta 5 de la encuesta

10 respuestas



Nota, grafico tomado de la página Google formulario.

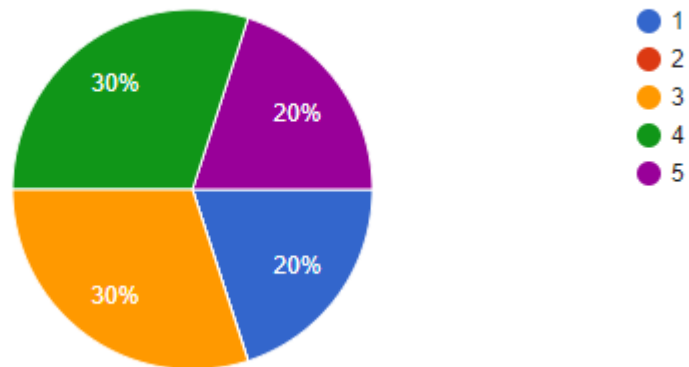
En esta pregunta los estudiantes expresaron su apoyo a la implementación del software debido a las múltiples herramientas que este posee, ya que nos facilita la visualización de curvas, patrones, gráficas y tablas que les permiten entender más a fondo que pasa con cada una de las partes del sistema.

¿Las gráficas le brindan una mejor comprensión para abordar el problema en cuestión y de esta forma llegar eficientemente a su solución?

Figura 124.

Grafico pregunta 6 de la encuesta

10 respuestas

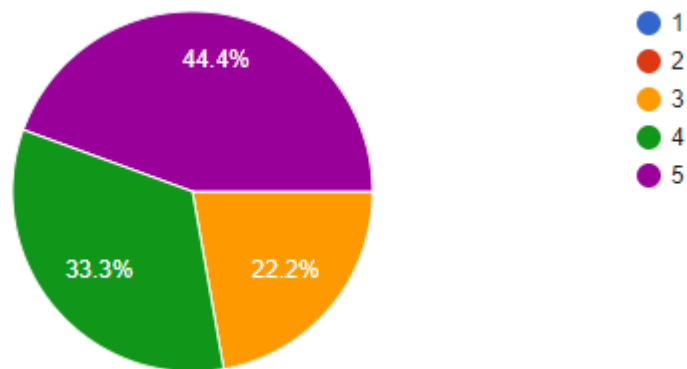


Nota, grafico tomado de la página Google formulario.

¿Cree usted que esta propuesta de enseñanza ayuda en el mejoramiento del análisis y la comprensión de los ejercicios en la asignatura de Sistemas de Transporte y Aprovechamiento de Fluidos?

Figura 125.*Grafico pregunta 7 de la encuesta*

9 respuestas

*Nota, grafico tomado de la página Google formulario.*

¿Optaría por utilizar en la Guía Práctica de EPANET asignatura? ¿SI o NO y Por qué?

- si
- si
- Sí, porque mejoraría mi método de entendimiento, permitiéndole desarrollar ejercicios de dinámica con menor dificultad.
- Si, si es una ayuda para los estudiantes bienvenida sea
- Si, puede ayudar a comprender el problema
- Si lo haría para poder visualizar los fenómenos que no sean tan evidentes para mí.
Sin embargo, si implica mucho tiempo para programar el ejercicio, preferiría buscar un video en YouTube de una situación similar.

- Si, aunque no considero que brinde una comprensión extra del comportamiento del sistema, sino una forma de ordenar los datos y trabajar de forma ordenada en el caso de que se tengan distintas curvas de operación y un cambio con respecto al tiempo, por lo que no lo veo como una gran ayuda para el desempeño en la materia, sino para tal vez realizar cálculos y presentación del proyecto final de la misma, por iniciativa propia, más considero que la materia debería requerir el uso de esta herramienta como parte de los conocimientos de dominio que tiene como objetivo en la realización del proyecto de semestre
- Sí, a mi parecer muchas materias de la carrera son abrumadoras a simple vista, tener una guía de ejercicios o temas para estudiar facilitan bastante la tarea de estudiar
- Si, considero que cualquier herramienta o software que se pueda usar con su respectiva guía ayudaría mucho no solo en la materia sino para enfrentar los problemas a futuro.

6. Conclusiones y Recomendaciones

Se elaboró un listado de ejercicios basados en los temas y bibliografía, que se abordan en el curso de Sistemas de Transporte y Aprovechamiento de Fluidos para la ayuda de la docencia, y así brindar un seguimiento al proceso de enseñanza y aprendizaje en cada una de las temáticas complejas del contenido de la asignatura.

Se evidenció que la interfaz gráfica de EPANET se acopla en el desarrollo de los problemas en el curso de Sistemas de Transporte y Aprovechamiento de Fluidos, Además, la incorporación de la Guía Práctica de EPANET, hace mucho más fácil y rápido la adaptación del estudiante a la herramienta, haciendo mucho más efectivo el ejercicio de aprendizaje.

Se diseñó una página web con una interfaz atractiva, para garantizar una fácil navegación y excelente velocidad de carga, además esta página web está optimizada para su uso en dispositivos móviles.

Esta página fue diseñada con WordPress, lo que la hace muy fácil la edición de esta con el fin de que el profesor pueda editar, crear y modificar proyectos de EPANET para el estudio de la asignatura de Sistemas de Transporte y Aprovechamiento de Fluidos para la escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander.

Se cumplió con la misión de la escuela de ingeniería mecánica de la Universidad Industrial de Santander mediante el diseño del proceso de aprendizaje por medio de una plataforma de enseñanzas en línea, para la generación de conocimiento, proporcionando apoyo a la docencia y labor docente, adaptándose para su uso presencial o virtual pese a la contingencia sanitaria encontrada hoy en día por la pandemia del COVID 19.

El software maneja diagrama de flujo como lenguajes de programación, la cual representa un algoritmo o proceso ordenado mediante la guía de líneas que unen funciones, estas subrutinas son herramientas para el código que permiten plantear una gran diversidad de acciones, como son: el movimiento, cálculos, color, espesor. Líneas, puntos, imágenes entre otras. con el fin de facilitar su operación y comprensión, ya que el docente debe estar en la disposición de editar y crear ejercicios.

Bibliografía

Agency, U. S. (2019). Colombia Coal Mine Methane Market Study. Epa, 50.

Amaral, A. F. (2017). *Fugas Y Pérdidas En Las Redes De Distribución De Agua*. Coimbra, Portugal: Universidad De Coimbra.

Ana Filipa Ferreira Simões, P. D. (2019). *Contribucion A La Eficiencia Del Suministro De Agua*. Coimbra, Portugal .

Arjun Kumar, K. K. (2015). *Design Of Water Distribution System Using Epanet*. India: International Journal Of Advanced Research.

Carhuapoma Mendoza, J. C. (2019). *Diseño Del Sistema De Abastecimiento De Agua Potable En La Rinconada De Pamplona Alta, Aplicando Epanet Y Algoritmos Genéticos Para La Localización De Válvulas Reductoras De Presión*. Lima: Universidad Peruana De Ciencias Aplicadas.

Corredor, Y. A. (2019). *Diseño Y Construcción De Un Sistema De Cribado En La Planta Bosconia Del Acueducto Metropolitano De Bucaramanga S.A. E.S.P.* Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial De Santander.

D. Steffelbauer, D. F.-H. (2015). *Oopnet: An Object-Oriented Epanet In Python*. Graz , Ausria .

Daniel Ruiz Beamonte, D. C. (2014). *Dimensionado Óptimo Con Epanetde Redes De Riego A Presión*. Zaragoza, España : Universidad De Zargoza.

Henao, J. M. (2008). *El Libro Electrónico: La Industria Editorial En La Era De La Revolución Digital*. Bogotá.

João Muranho, A. F. (2011). *Water Distribution Network Models Generator And Pipe Sizing*. Coimbra.

João Muranho, A. S. (2012). *Waternetgen: Una Extensión Epanet Para La Generación Automática De Modelos De Red De Distribución De Agua Y El Dimensionamiento De Tuberías*. Coimbra, Portugal.

Lilian Rocio Castañeda Meza, H. H. (2007). *4 Sitio Web Para Facilitar El Aprendizaje Y La Difusión De La Dinámica De Sistemas En La Educación*. Bucaramanga , Colombia: Universidad Industrial De Santander.

Miguel Ángel Jiménez Bello, D. F. (2008). *Integración De Los Procesos Agronómicos E Hidráulicos Del Riego A Presión En Un Entorno Sig Para La Gestión Eficiente De Comunidades De Regantes*. Valencia, España : Universidad Politecnica De Valencia.

Nuryani, B. S. (2020). *Analisa Optimasi Diameter Jaringan Pipa Distribusi Air Bersih Dengan Menggunakan Softwareepanet, Lingo Di Jalur Sentul City Pdam Tirta Kahuripan Kabupaten Bogor, Jawa Barat*. Universitas Gunadarma.

Oyelowo, A. E. (2013). *An Epanet Analysis Of Water Distribution Network Of The University Of Lagos, Nigeria*. Lagos, Nigeria: Journal Of Engineering Researc.

Pinheiro, J. M. (2008). *Especificação De Software Sig Para A Integração Entre O Cadastro De Redes De Água E Consumidores Com O Software Epanet, Utilizando Software Livre Terralib*. São Paulo, Brasil.

Piñeros, M. A. (2013). *Optimizaciónde Redes Hidráulicasmediante Aplicación De Algoritmos Genéticosy De Recocido Simulado Utilizados Enprogramas Comerciales*. Bogotá: Escuela Colombiana De Ingeniería“Julio Garavito”.

Rossman, L. A. (2010). *Manual De Usuario Epanet 2* . Cincinnati, Oh: U.S. Environmental Protection Agency .

Yerly Magaly Arenales Méndez, A. P. (2008). *Sitio Web Para El Reconocimiento Ante El Sena De Cursos Y Programas De Instituciones Educativas Y Empresas*.
Bucaramnaga,Colombia : Universidad Industrial De Santander .