



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**“DISEÑO DE UN SISTEMA EXPERIMENTAL PARA LA VALIDACIÓN DE
SIMULACIONES EN REDES TIPO MALLA CON FLUJO DE AGUA”**

Propuesta Tecnológica presentada previo a la obtención del Título de Ingenieros en
Electromecánica

Autores:

Carrillo López Kevin Alexander

Venegas Borja Darwin Reinaldo

Tutor:

PhD. Héctor Luis Laurencio Alfonso

LATACUNGA –ECUADOR

2022



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros: Carrillo López Kevin Alexander y Venegas Borja Darwin Reinaldo declaráramos ser autores del presente proyecto de investigación: “DISEÑO DE UN SISTEMA EXPERIMENTAL PARA LA VALIDACIÓN DE SIMULACIONES EN REDES TIPO MALLA CON FLUJO DE AGUA”, siendo el PhD. Héctor Luis Laurencio Alfonso tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

.....
Carrillo López Kevin Alexander

C.C. 1727496596

.....
Venegas Borja Darwin Reinaldo

C.C. 1726621335



Ingeniería
Electromecánica

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación sobre el título:

“DISEÑO DE UN SISTEMA EXPERIMENTAL PARA LA VALIDACIÓN DE SIMULACIONES EN REDES TIPO MALLA CON FLUJO DE AGUA”, de Carrillo López Kevin Alexander y Venegas Borja Darwin Reinaldo, de la carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que el presente trabajo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, marzo del 2022.

PhD. Héctor Luis Laurencio Alfonso
C.I. 1758367252
TUTOR



Ingeniería
Electromecánica

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Carrera de Ingeniería Electromecánica; por cuanto, los postulantes: Carrillo López Kevin Alexander y Venegas Borja Darwin Reinaldo, con el título de Proyecto de titulación: **“DISEÑO DE UN SISTEMA EXPERIMENTAL PARA LA VALIDACIÓN DE SIMULACIONES EN REDES TIPO MALLA CON FLUJO DE AGUA”** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, marzo, 2022

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente)

Ing. MSc. Jimmy Xavier Toaza Iza

CC: 1717621062

Lector 2

Ing. MSc. Ángel Guillermo Hidalgo Oñate

CC: 0503257404

Lector 3

Ing. Enrique Torres Tamayo Ph. D.

CC: 175712194



Ingeniería
Electromecánica

AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

Latacunga, marzo 2022

Ing. MSc. Cristian Gallardo Molina
Director de la carrera de electromecánica

Presente. –

En calidad de técnico de laboratorio de la Universidad Técnica de Cotopaxi, confirmó la realización del proyecto como material didáctico “Diseño de un sistema experimental para la validación de simulaciones en redes tipo malla con flujo de agua”. Diseñado por los señores estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, carrera de Ingeniería Electromecánica; Kevin Alexander Carrillo López con C.I 1727496596 y Reinaldo Darwin Venegas Borja con C.I 1726621335.

Es cuanto puedo certificar en honor a la verdad, se expide el presente para el interesado pueda hacer el uso para los fines que crea conveniente.


Técnico laboratorista. Jorge Villarroel
C.I 0502943491



AGRADECIMIENTO

Mis agradecimientos a Dios por acompañarme en todo momento a lo largo de mi formación universitaria, A la carrera de Ingeniería Electromecánica, a sus docentes por la calidad educativa que brindan a los/as futuros profesionales con una formación integral.

De manera especial al Doctor Héctor Laurencio por su paciencia y gran capacidad al dirigir con sus conocimientos y apoyar el desarrollo de este proyecto.

Quiero expresar mi gratitud a mi familia por su apoyo incondicional, en especial a mis padres Bertha y Marcelo por ser los pilares fundamentales en mi vida

Kevin



AGRADECIMIENTO

Me va a faltar palabras para agradecer a todas las personas que se han involucrado en este trabajo y sobre todo en el proceso de mi carrera universitaria, sin embargo quiero dar las gracias en primer lugar a mis padres Hugo y Marjorie que con mucho esfuerzo y sacrificio me ayudaron a culminar mis estudios siempre apoyándome lo suficiente para nunca decaer pese a las adversidades.

De igual forma agradezco a mis abuelitos José y Vilma quienes fueron un pilar importante en todo este transcurso, a mi hermano Andrés junto con mis tías Cristina y Edith quienes fueron las personas con quien siempre conté para poder desahogarme y compartir las anécdotas que sucedían en la universidad.

Agradezco a mi tutor, Doctor Luis Laurencio, que con su experiencia, conocimiento y motivación me oriento en todo el proceso del desarrollo del proyecto. A los profesores que me han ayudado a crecer y aportaron con sus conocimientos para llegar a este punto, gracias a todos ellos hoy me siento dichoso y contento.

A mis amigos con lo que compartí dentro y fuera de las aulas, muchas experiencias y anécdotas que se van como uno de los mejores recuerdos de mi vida universitaria, junto a ellos nos hemos apoyado, motivado para poder llegar a donde estamos.

Darwin



DEDICATORIA

Este proyecto realizado con mucho esfuerzo y dedicación se lo dedico a Dios que me acompañó en todo momento. A mi familia y hermanos por acompañarme durante mi etapa universitaria en especial a mis padres Bertha y Marcelo, ya que más que apoyarme económicamente fueron mi apoyo emocional aconsejándome en cada paso que daba.

Kevin

Dedico este trabajo y esfuerzo a mis padres por todo su amor, trabajo, dedicación y sacrificio en todo el transcurso de mi carrera universitaria, por todo lo que me inculcaron en casa la educación, consejos, paciencia y confianza hoy por hoy he logrado estar aquí y convertirme en lo que soy. A todas las personas que aportaron con un granito de arena para que yo esté aquí a las que me dedicaron una sonrisa, un cariño y un símbolo de afecto, para poder lograr siempre con mis objetivos.

Darwin



ÍNDICE

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	i
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN.....	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	iii
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA.....	vii
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT	xvii
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xviii
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. INTRODUCCIÓN	2
2.1. EL PROBLEMA.....	2
2.1.1. Situación problemática	2
2.1.2. Matriz causa efecto.....	2
2.1.3. Formulación del problema.....	3
2.2. CAMPO DE ACCIÓN.....	3
2.2.1. Objeto de estudio.....	3
2.2.2. Campo de acción	3
2.3. BENEFICIARIOS.....	3
2.4. JUSTIFICACIÓN	4
2.5. ALCANCE.....	4
2.6. PREGUNTA CIENTÍFICA O HIPÓTESIS	5
2.7. OBJETIVOS	5
2.7.1. General.....	5
2.7.2. Específicos.....	5



2.8.	SISTEMAS DE TAREAS	5
3.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	6
3.1.	TRABAJOS PRECEDENTES.....	6
3.2.	REDES TIPO MALLA.....	7
3.2.1.	Tuberías y accesorios de una red tipo malla.....	8
3.2.2.	Variables de control de un sistema de red tipo malla.....	10
3.2.3.	Tipo de fluido	14
3.3.	DISEÑO DE UN SISTEMA DE RED TIPO MALLA	15
3.3.1.	Pérdidas de energía en un sistema a presión de un flujo incompresible.....	16
3.3.2.	Pérdidas de carga por fricción en tubería	17
3.3.3.	Bombas de agua.....	17
3.3.4.	Control de procesos	17
3.3.5.	Instrumentos de medición.....	19
3.3.6.	Sensores de presión	19
3.3.7.	Sensores de flujo.....	19
3.4.	HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES PARA LA SIMULACION DE SISTEMAS HIDRAULICOS.....	20
3.4.1.	Software Epanet.....	21
3.4.2.	Software Fluidflow.....	21
3.4.3.	Software LFLOW.....	22
4.	METODOLOGÍA	22
4.1.	Introducción	22
4.2.	Caracterización y requerimientos.	22
4.3.	Materiales y métodos	25
4.4.	Sistema de medición	29
4.5.	Metodología para determinar las variables que intervienen en el método sistémico	31
4.6.	Metodología para determinar las variables en el modelo experimental.	36



4.7. Método estadístico para determinar la baja precisión de los cálculos en redes tipo malla.	37
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	38
5.1. Resultados del método sistémico.	38
5.2. Resultados del método experimental.	43
5.3. Análisis estadístico para validar las simulaciones de un sistema de red tipo malla.	44
6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTO.	46
6.1. Análisis de costos.	46
6.1.1. Costos de materiales.	47
6.1.2. Costo de las horas de ingeniería en diseño.	47
6.1.3. Costos directos e indirectos.	48
6.1.4. Costo total.	49
6.2. Análisis de impacto.	49
6.2.1. Impacto económico.	49
6.2.2. Impacto tecnológico.	50
7. CONCLUSIONES	50
8. RECOMENDACIONES	51
9. BIBLIOGRAFÍA.	51
10. ANEXOS	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Diagrama Ishikawa un sistema experimental para la validación de simulaciones...	2
Figura 3.1. Cálculo de las necesidades de una malla.....	7
Figura 3.2. Redes tipo malla.....	8
Figura 3.3. Tipos de válvulas.....	9
Figura 3.4. Aplicaciones hidráulicas.	10
Figura 3.5. Accesorios hidráulicos.	10
Figura 3.6. Tubo de corriente.	12
Figura 3.7. Relación entre las diferentes presiones.	13
Figura 3.8. Flujo laminar	14
Figura 3.9. Flujo turbulento.....	14
Figura 3.10. Diseño de una malla.....	15
Figura 3.11. Pérdidas de presión en un sistema a presión.	16
Figura 3.12. Bombas de presión de agua.....	17
Figura 3.13. Tipos de automatización.	18
Figura 3.14. Sensores de presión.....	19
Figura 3.15. Tipos de sensores de flujo.....	20
Figura 3.16. Herramientas computacionales.	21
Figura 4.1. Diagrama unifilar antes de las modificaciones	23
Figura 4.2. Diagrama de funcionamiento del sistema eléctrico.	24
Figura 4.3. Características de las bombas.....	26
Figura 4.4. Caso 1	29
Figura 4.5. Caso 2.....	30
Figura 4.6. Caso 3.....	30
Figura 4.7. Caso 4.....	31
Figura 4.8. Unidades y opciones hidráulicas	32
Figura 4.9. Opciones de plano	32



Figura 4.10. Reservorio en Epanet	33
Figura 4.11. Características de la bomba de agua en Epanet.	33
Figura 4.12. Características de las válvulas en Epanet.....	34
Figura 4.13. Reservorio en Epanet	34
Figura 4.14. Propiedades de la tubería en Epanet.....	35
Figura 4.15. Características del depósito en Epanet.....	35
Figura 4.16. Selección de tramos.....	36
Figura 5.1. Diagrama sistémico del primer caso.	39
Figura 5.2. Diagrama sistémico del segundo caso.....	40
Figura 5.3. Diagrama sistémico del tercer caso.....	41
Figura 5.4. Diagrama sistémico del cuarto caso.....	42



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Campo de acción	3
Tabla 2.2. Beneficiarios.....	3
Tabla 2.3. Sistema de tareas por objetivos	5
Tabla 3.1. Viscosidad cinemática	12
Tabla 3.2. Condiciones de flujo según Reynolds	15
Tabla. 4.1. Selección de sensores de presión.....	25
Tabla. 4.2. Selección de manómetros.....	26
Tabla 5.1. Resultado sistémico del primero caso.	39
Tabla 5.2. Resultado sistémico del segundo caso.....	40
Tabla 5.3. Resultado sistémico del Tercer caso.....	41
Tabla 5.4. Resultado sistémico del cuarto caso.	42
Tabla 5.5. Medidas obtenidas del módulo para el primer caso.	43
Tabla 5.6. Medidas obtenidas del módulo para el segundo caso.....	43
Tabla 5.7. Medidas obtenidas del módulo para el tercer caso.....	44
Tabla 5.8. Medidas obtenidas del módulo para el cuarto caso.....	44
Tabla 5.9. Análisis estadístico del primer caso.	45
Tabla 5.10. Análisis estadístico del Segundo caso.	45
Tabla 5.11. Análisis estadístico del tercer caso.	45
Tabla 5.12. Análisis estadístico del cuarto caso.	46
Tabla 6.1. Presupuesto de materiales para el diseño del sistema experimental.....	47
Tabla 6.2. Costo de diseño por ingeniería.	48
Tabla 6.3. Costos directos.....	48
Tabla 6.4. Costos indirectos.	48
Tabla 6.4. Presupuesto.....	49
Tabla 6.5. Proyección a 5 años.....	49
Tabla 6.6. Flujo de caja a 5 años.	49



ÍNDICE DE ECUACIONES

Velocidad:.....	27
Número de Reynolds:	27
Lambda:	27
Resistencia:.....	27
Pérdida local de carga:.....	28
Velocidad específica:.....	28
Caudal:.....	28
Ecuaciones de las obtenidas para el análisis del primer caso:	37
Ecuaciones de las obtenidas para el análisis del segundo caso:	37
Ecuaciones de las obtenidas para el análisis del tercer caso:	37
Ecuaciones de las obtenidas para el análisis del cuarto caso:.....	37
Error absoluto:	38
Error relativo:	38
Error porcentual:.....	38
Costo de la hora de trabajo de un ingeniero:	48



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: “Diseño de un sistema experimental para la validación de simulaciones en redes tipo malla con flujo de agua”

Autores:

Carrillo López Kevin Alexander

Venegas Borja Darwin Reinaldo

RESUMEN

El presente proyecto se enfoca en el diseño de un módulo experimental para la validación de simulaciones en redes tipo malla y determinar la baja precisión en el proceso de cálculo causado por el desconocimiento en el manejo del software “Epanet”, costos elevados en los sensores de presión y proceso de cálculo interactivo en la validación. Se empleó el método experimental en el cual se instalaron sensores de medición para caudal y presión, además se realizó una programación para recepción de datos para su posterior procesamiento y visualización, por el método sistémico debido al desconocimiento en el estudio y análisis de las redes tipo malla fue indispensable recurrir al software “Epanet” del cual se obtuvo de manera instantánea valores de presiones y caudales en función de los parámetros definidos. Se determina un método estadístico para determinar el porcentaje de error que existe al comparar el método sistémico con el experimental. El margen de error que se obtiene entre los cálculos realizados por los dos métodos involucrados da como resultado para el primer caso analizado un error de 3,88 %, para el segundo caso representa el 4,57 % de error, en el tercer caso se visualiza el 4,88 % y para el último caso se aprecia el 6,07 % de error entre los dos métodos. Se considera que esta entre el parámetro establecido en la NFPA (*National Fire Protection Association*) menciona que este error no puede exceder del 15%, si un sistema sobre pasa este valor no satisface las necesidades y condiciones bajo el cual fue diseñado.

Palabras claves: Caudal, Precisión, Epanet, Método Sistémico, Método Experimental.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TOPIC: “Design of an experimental system for the validation of simulations in mesh-type networks with water flow”.

Authors:

Carrillo López Kevin Alexander

Venegas Borja Darwin Reinaldo

ABSTRACT

This project focuses on the design of an experimental module for the validation of simulations in mesh type networks and to determine the low precision in the calculation process caused by the lack of knowledge in the handling of the "Epanet" software, high costs in the pressure sensors and interactive calculation process in the validation. The experimental method was used in which measurement sensors for flow and pressure were installed, in addition to programming for data reception for subsequent processing and visualization, by the systemic method due to the lack of knowledge in the study and analysis of the mesh type networks it was essential to resort to the "Epanet" software from which instantaneous values of pressures and flows were obtained according to the defined parameters. A statistical method is determined to determine the percentage of error that exists when comparing the systemic method with the experimental one. The margin of error obtained between the calculations made by the two methods involved results in an error of 3.88 % for the first case analyzed, 4.57 % error for the second case, 4.88 % error for the third case and 6.07 % error between the two methods for the last case. It is considered that this is between the parameter established in the NFPA (National Fire Protection Association) that this error cannot exceed 15%, if a system exceeds this value it does not satisfy the needs and conditions under which it was designed.

Keywords: Flow rate, Accuracy, Epanet, Systemic Method, Experimental Method.



AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de titulación cuyo título versa: **“DISEÑO DE UN SISTEMA EXPERIMENTAL PARA LA VALIDACIÓN DE SIMULACIONES EN REDES TIPO MALLA CON FLUJO DE AGUA”** presentado por: **Carrillo López Kevin Alexander y Venegas Borja Darwin Reinaldo**, estudiantes de la Carrera de **Ingeniería en Electromecánica** perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, 16 marzo del 2022

Atentamente,



CENTRO
DE IDIOMAS

Mg. Marco Paúl Beltrán Semblantes

DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CI: 0502666514

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título: Diseño de un sistema experimental para la validación de simulaciones en redes tipo malla con flujo de agua.

Tipo de Proyecto: Proyecto Tecnológico

Fecha de inicio: 25 de octubre de 2021

Fecha de finalización:

Lugar de ejecución: Laboratorio de Fluidos de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas en la Universidad Técnica de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi

Facultad que auspicia: Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Carrera que auspicia: Electromecánica.

Proyecto de investigación vinculado:

Equipo de trabajo:

Tutor

Nombre: PhD. Laurencio Alfonso Héctor Luis

Cedula de identidad: 175836725-2

Correo electrónico: hector.laurencio@utc.edu.ec

Coordinador 1:

Nombre: Carrillo López Kevin Alexander

Cédula de Ciudadanía: 172749659-6

Correo electrónico: kevin.carrillo6596@utc.edu.ec

Dirección: Guamaní, Quito, Pichincha

Coordinador 2:

Nombre: Venegas Borja Darwin Reinaldo

Cédula de Ciudadanía: 172662133-5

Correo electrónico: darwin.venegas1335@utc.edu.ec

Dirección: Urbanización nueva vida, Latacunga, Cotopaxi

2. INTRODUCCIÓN

2.1. EL PROBLEMA

2.1.1. Situación problemática

El problema por resolver en ingeniería correspondiente al tema del proyecto es la precisión para realizar diferentes cálculos aplicados a los sistemas de red por malla, juntamente con la simulación. Normalmente se usan fórmulas matemáticas para cuantificar diversos parámetros como el caudal, velocidad específica, pérdidas de carga, entre otros, pero experimentalmente se plantea demostrar si los valores obtenidos por el módulo y comparados con los resultados del método sistémico muestran un margen de precisión de máximo un 15%.

Para determinar la estructura funcional de la maquina a diseñar, enfocada en un sistema experimental para la validación de simulaciones en tuberías en paralelo, por una parte, se obtienen valores a través de softwares computacionales que muestran ciertos resultados y por otra parte se hace el levantamiento de datos a la máquina. La estructura del diseño se arma mediante todos los parámetros que se desea obtener, el prototipo debe cumplir con todas estas características para que los resultados se puedan interpretar eficazmente. Es necesario destacar la precisión de los cálculos mediante el software, pero en el prototipo se tiene presente el dimensionamiento, el material usado, temperatura de fluido, tipo de fluido, entre otros, de esta manera las simulaciones en la red tipo malla mostrasen los resultados con precisión.

2.1.2. Matriz causa efecto

La siguiente figura 2.1 muestra el diagrama Ishikawa, el cual permitió determinar las principales causas y sub-causas para la baja precisión en el proceso de cálculo en redes de tipo malla.

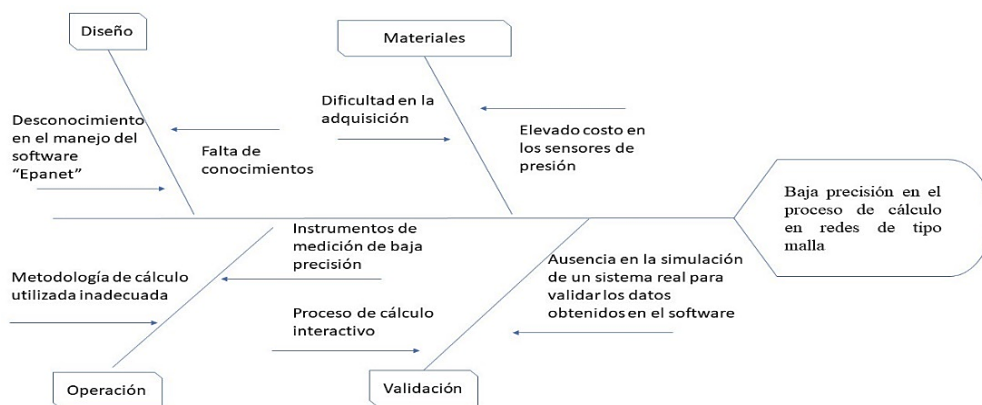


Figura 2.1. Diagrama Ishikawa un sistema experimental para la validación de simulaciones.

2.1.3. Formulación del problema

El principal problema que existe es: La baja precisión del proceso de cálculo en redes de tipo malla.

2.2. CAMPO DE ACCIÓN

2.2.1. Objeto de estudio

Método estadístico de validación de las pérdidas de presión en redes tipo malla con flujo de agua entre un sistema sistemático y un sistema experimental.

2.2.2. Campo de acción

Tabla 2.1. Campo de acción. [1]

Código 2204	03 Flujo de fluidos 04 Mecánica de fluidos
Código 3311	01 Tecnología de la automatización 02 Ingeniería de control 05 Equipos eléctricos de control 07 Instrumentos electrónicos
Código 1209	01 Estadística analítica 02 Cálculo de estadística 03 Análisis de datos
Código 3304	11 Diseño de sistemas de calculo

Área de conocimiento:

El área del conocimiento según la CINE-UNESCO [1], se encuentra:

Área: (07) Ingeniería, industria y construcción

Subárea: (071) Ingeniería y profesiones afines

Subárea específica del conocimiento: (0714) Electrónica y automatización

2.3. BENEFICIARIOS

Con la construcción del sistema experimental tendrán beneficiarios tanto directos como indirectos que se muestran a continuación:

Tabla 2.2. Beneficiarios del diseño de un sistema experimental para la validación de simulaciones.

Beneficiarios directos	Beneficiarios indirectos
Docentes y estudiantes pertenecientes a la universidad técnica de Cotopaxi en la carrera de ingeniería electromecánica	Empresas centradas en hidroriego y sistemas hidráulicos contra incendios.

2.4. JUSTIFICACIÓN

El Ecuador es un país en etapas de avance con múltiples instituciones distribuidas a nivel nacional sin embargo son pocas las que poseen plazas adecuadas para el desarrollo de prácticas investigativas acorde al ámbito laboral; el presente trabajo se realiza con el fin de proporcionar un mecanismo para conseguir conceptos en argumentos de mecánica de fluidos que permitan corregir el grado universitario de los estudiantes. En la Universidad Técnica de Cotopaxi existe la ausencia de módulos experimentales para el desarrollo de prácticas en la asignatura Mecánica de Fluidos, siendo estos indispensables en la formación integral del ingeniero electromecánico.

Con el actual proyecto se plantea detallar la elaboración eficaz de la máquina a proyectar, que se enfoca en un uso experimental para la resolución de simulaciones en tuberías en paralelo, por una parte, se obtiene valores a través de softwares computacionales que muestran ciertos resultados y adicionalmente se hace el levantamiento de documentos a la máquina. La estructura del plan se diseña por medio de todos los parámetros que se desea conseguir como es el caudal, velocidad específica, pérdidas de carga, cantidad de flujo entre otros, el prototipo debe cumplir con todas estas típicas para que los resultados se puedan interpretar eficazmente. Se debe hacer un inca pie en la precisión de los cálculos a través del software resulta una menor complejidad, pero en el ejemplo se tiene presente el dimensionamiento, el material usado, temperatura de fluido, tipo de fluido, entre otros, así las simulaciones en la red prototipo malla mostrasen los resultados con precisión.

2.5. ALCANCE

Línea de investigación: Procesos industriales

Las investigaciones que se desarrollen en esta línea estarán orientadas a producir el desarrollo de tecnologías y cambios que permitan optimizar el beneficio favorable y la transformación de materias primas en artículos de alto coste añadido, fomentando la elaboración industrial más limpia y el plan de nuevos sistemas de elaboración industrial. Así como diseñar procedimientos de cuidado para la elaboración de recursos y servicios de las corporaciones públicas y privadas, con el término de contribuir al desarrollo socio económico del país y al cambio de la matriz productiva del área.

Sublíneas de investigación de la Carrera: Diseño, construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos.

2.6. PREGUNTA CIENTÍFICA O HIPÓTESIS

¿Mediante el método estadístico se puede determinar el porcentaje de error que se tiene entre las simulaciones y el sistema experimental en el proceso de cálculos de una red tipo malla?

2.7. OBJETIVOS

2.7.1. General

Diseñar un módulo experimental para la validación de simulaciones y determinar la baja precisión que existe en los cálculos de red tipo malla.

2.7.2. Específicos

- Analizar los parámetros que intervienen en el proceso de cálculo de variables en un sistema tipo malla con flujo de agua.
- Realizar mediante un software la simulación de una red tipo malla para determinar el caudal y presión que ejerce el sistema.
- Calcular las variables que genera un sistema experimental bajo las mismas condiciones ingresadas en la simulación de red tipo malla.
- Validar mediante un método estadístico los resultados obtenidos entre la simulación y el método experimental para determinar la precisión de los cálculos.

2.8. SISTEMAS DE TAREAS

Tabla 2.3. Sistema de tareas por objetivos

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Analizar los parámetros que intervienen en el proceso para la determinación de las pérdidas de presión en un sistema tipo malla con flujo de agua.	-Investigación de los parámetros que afectan. - Análisis los efectos que producen ciertos parámetros en el fluido. - Determinación el nuevo comportamiento del fluido.	- Memorias de cálculo con el fluido en reposo. - Memoria de cálculo con el fluido afectado por los factores que aplican fuerzas.	-Se considera ecuaciones básicas de velocidad, caudal, presión, temperatura, entre otros. -La investigación es la herramienta primordial para tener conceptos básicos sobre estos parámetros.
Realizar mediante un software la simulación de una red tipo malla para determinar las pérdidas de presión.	-Identificación de elementos y accesorios a ser utilizados en la simulación. - Dimensionamiento del sistema de tuberías y accesorios.	- Simulación exitosa para tener resultados con menos errores. - Resultados generados por el software Epanet. - Cálculos de presión y caudal por método sistemático.	-El Software Epanet es una herramienta computacional que determina las pérdidas de presión. -Las hojas de cálculo ayudan a registrar los resultados obtenidos para ser tabulados.

Calcular las pérdidas de presión que genera un sistema experimental bajo las mismas condiciones ingresadas en la simulación de red tipo malla.	-Determinación de los factores como caudal y presión mediante sensores. -Conexión y programación del módulo (PLC). -Realización los cálculos correspondientes.	- Tabulación de los datos para la interpretación. - Mostrar en pantalla los resultados para su mejor análisis y entendimiento de los estudiantes. - Calculo de variables por el método analítico.	- Comprobar el funcionamiento de los sensores que estén en óptimo funcionamiento. - Programación en Tia Portal V15 que es la versión en la que son compatibles.
Validar mediante un método estadístico los resultados obtenidos entre la simulación y el método experimental para determinar la precisión de los cálculos.	- Tabulación de datos para generar cuadros estadísticos de los resultados. - Determinación del porcentaje de errores que genera el método sistemático y el método experimental para determinar las pérdidas de presión.	- Tablas de resultados con los dos métodos implementados. - El porcentaje de error que existe entre el método sistemático y experimental. - Gráficos estadísticos para una mejor interpretación de resultados.	- Ecuaciones para determinar el porcentaje del error absoluto. - Hojas de cálculo mediante el software Excel. - Gráficos para interpretación de datos estadísticos.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1. TRABAJOS PRECEDENTES

Frecuentemente, se desarrolla la actividad de diseñar sistemas para fluidos como redes de tuberías y su cálculo debe realizarse en base a las pérdidas existentes cuando un fluido fluye a través de una determinada tubería en conjunto con los accesorios como; válvulas, juntas, codos y otros elementos, así como aun el acto que adquirirá el fluido en su recorrido con respecto a las variantes asociadas a él.

En la selección de un diámetro para el transporte de fluidos, intervienen dos elementos que se contradicen entre sí. Por un lado, está el volumen del diámetro del conducto, el cual debe ser suministrado en el mínimo para disminuir el costo de instalación, y por la otra parte conviene que el ducto sea grande para deducir la fricción y por lo tanto el costo de bombeo. Es importante manifestar el parámetro de velocidad dado que se la debe mantener en un rango adecuado para conseguir un equilibrio entre desgaste de la tubería y sedimentación de partículas en suspensión en el interior de las redes.

Muy pocos inconvenientes especiales de mecánica de fluidos, como es el hecho del flujo en régimen laminar por tuberías, pueden ser resueltos por métodos matemáticos convencionales; todos los demás problemas necesitan procedimientos de resolución basados en coeficientes determinados experimentalmente.

Muchas fórmulas experimentales han sido propuestas como opciones a diferentes problemas de flujo de fluidos por tuberías, sin embargo, son muy limitadas y pueden aplicarse únicamente

cuando las condiciones del problema se aproximan a las clases de los experimentos de los cuales derivan las fórmulas. Debido a la gran variedad de fluidos que se utilizan en los procesos industriales actuales, una ecuación que pueda ser usada para cualquier fluido ofrece utilidades obvias. Una ecuación de este tipo es la fórmula de Darcy Weisbach, que puede ser deducida por descomposición dimensional; no obstante, una de las variables en la fórmula, el coeficiente de fricción debe ser determinada experimentalmente. Esta fórmula tiene una extensa perseverancia en el ámbito de la mecánica de fluidos y en fenómenos de transporte de fluidos.

3.2. REDES TIPO MALLA

Un sistema tipo malla comprende un conjunto interconectado de componentes individuales que tienen como función transportar fluido en este caso agua. Este sistema se usa para controlar las variables como el flujo del líquido y la presión que ejerce el fluido en el conducto. Con este conocimiento el análisis para el diseño tiene partida con los cálculos de las necesidades de la malla, con el fin de conocer el comportamiento del agua y su forma de consumir, para su posterior levantamiento de planos e implementación. [2]

Cálculo de los requerimientos previos de una malla. -Todo sistema necesita tener requerimientos previos a su creación, donde se determina todos los parámetros a satisfacer para que el sistema tipo malla cumpla con todos sus objetivos y necesidades, a continuación, se presenta un esquema que ayuda a determinar cierta necesidad:

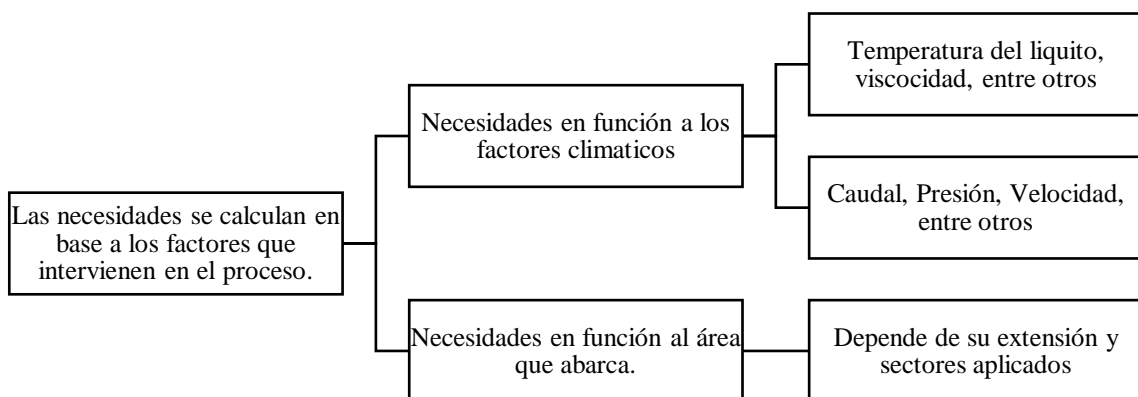


Figura 3.1. Cálculo requerimientos de una malla.

Elementos que constituyen en un sistema de red tipo malla. - Un sistema está conformado por una variedad de partes, con el fin de cumplir con un objetivo en común todos estos elementos se detallan a continuación:

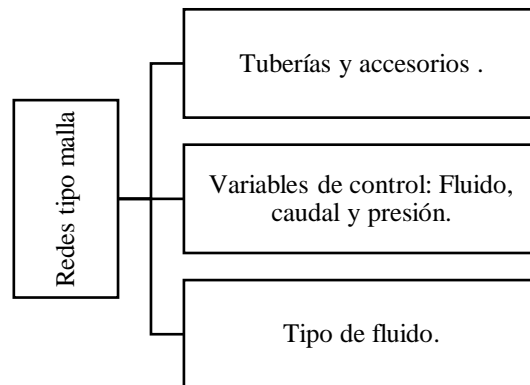


Figura 3.2. Redes tipo malla.

3.2.1. Tuberías y accesorios de una red tipo malla.

Tubería. - Son conductos que transportan fluidos de un punto A, a un punto B. En el mercado se encuentra una amplia variedad de materiales bajo el cual es fabricado dependiendo cual vaya a ser su función. Estos factores pueden cambiar en temperatura, presión, caudal y el tipo de fluido a utilizar. El dimensionamiento de tuberías igual varía dependiendo su longitud, sus diámetros y espesor. [3]

Válvula. - Es un aparato mecánico con el cual se puede comenzar, ralentizar o regular la circulación (paso) de líquidos o gases por medio de una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más agujeros o caños.

La válvula es uno de los aparatos de control más fundamentales en la industria. Debido a su diseño y materiales, las válvulas pueden abrir y cerrar, vincular y desconectar, regular, modular o aislar una enorme serie de líquidos y gases, desde los más simples hasta los más corrosivos o tóxicos. Sus tamaños van desde unos milímetros incluso los 90 m o más de segmento (sin embargo, en tamaños grandes suelen llamarse compuertas). Pueden trabajar con presiones que van desde el vacío incluso más de 140 Mpa (mega pascales) y temperaturas desde las criogénicas aun 1100 K (kelvin). En algunas instalaciones se requiere un sellado absoluto; en otras, las fugas o escurridos no tienen consideración. [4]



Figura 3.3. Tipos de válvulas.

Accesorios para un sistema de red tipo malla. - En el mercado se puede encontrar los accesorios como piezas moldeadas o mecanizadas que son los acoples para los tubos, dependiendo de las necesidades se encuentran en diferentes características como: medida, temperatura, material, condiciones climáticas, entre otros. [5] Las características principales son:

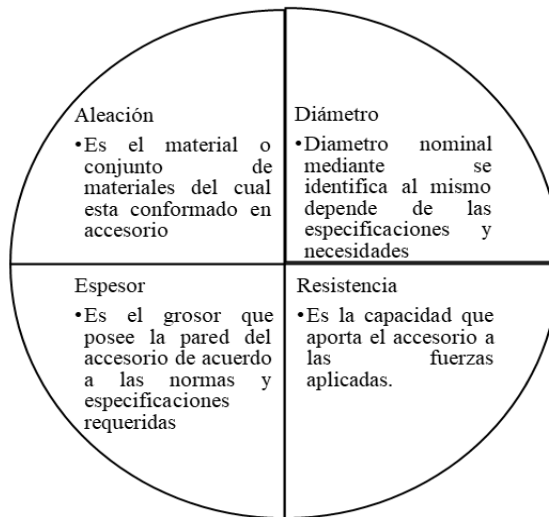


Figura 3.4. Aplicaciones hidráulicas.

A continuación, accesorios más comunes:

	Codo Son accesorios que se manejan con ángulos dependiendo las necesidades, su principal función es cambiar la dirección del flujo.
	Tee Son accesorios que permiten hacer ramificaciones, su función principal es dividir al flujo.
	Reducciones Son accesorios de forma cónica, fabricadas de diversos materiales, su función principal es disminuir el diámetro de las tuberías o viceversa.
	Union universal Es un accesorio designado para la instalación y reparación de los sistemas de agua, por su forma permite unir tramos.
	Tapones Son accesorios utilizados para bloquear el paso del fluido en un tramo predeterminado o con proyección para mas segmentos.

Figura 3.5. Accesorios hidráulicos.

3.2.2. Variables de control de un sistema de red tipo malla.

Las variables de control son parámetros que se pueden manipular y medir en un sistema. En una red hidráulica tipo malla estos criterios se pueden presentar de diversas formas. El primero es el fluido y sus propiedades, el segundo es el caudal puede ser variable dependiendo de su alimentación ya sea por bombas o por gravedad y por último la presión que varía dependiendo los dimensionamientos de las tuberías.

Fluidos. Son sustancias que se deforman continuamente cuando se somete a un esfuerzo cortante, sin importar cuán pequeño sea este esfuerzo. Una fuerza cortante es la componente de fuerza tangente a una superficie, el esfuerzo cortante es la fuerza mencionada dividida para el área de la superficie. [6]

Propiedades de los fluidos. Las propiedades de los fluidos más relevantes para el estudio de pérdidas de carga en sistemas de tuberías son:

Densidad. La densidad de un fluido se define como la cantidad de masa por unidad de volumen.

Peso específico. El peso específico de un fluido es el peso por unidad de volumen. Éste cambia con la gravedad, la cual depende del lugar de localización geográfica.

Densidad relativa. La densidad relativa de una sustancia líquida es un número adimensional que viene dado por la relación entre el peso específico de la sustancia y el peso específico del agua en condiciones normales. También se puede expresar como la relación entre su densidad y la del agua. [7]

El agua en condiciones normales tiene las siguientes características: temperatura (20°C), la densidad 1000 (kg/m³) y una presión absoluta (760 mm de Hg).

Viscosidad. La viscosidad de un fluido es una medida de su resistencia a fluir, como resultado de la interacción y cohesión de sus moléculas. La viscosidad se produce por el efecto de corte o deslizamiento resultante del movimiento de una capa de fluido con respecto a otro y es completamente distinta de la atracción molecular. La ley de viscosidad de Newton establece que, para una tasa dada de deformación angular del fluido, el esfuerzo cortante es directamente proporcional a la viscosidad. [8]

Viscosidad absoluta o dinámica. Es la propiedad del fluido que expresa la resistencia al corte ofrecido por él cuando se mueve. La viscosidad dinámica es directamente proporcional a la tensión de corte, e inversamente proporcional a la velocidad.

Viscosidad cinemática. - Es la viscosidad absoluta dividida entre la densidad. En el sistema internacional (SI) la unidad de viscosidad cinemática es el metro cuadrado por segundo (m² /s).

En los líquidos cuando la temperatura aumenta la viscosidad disminuye, en los gases, si la temperatura aumenta la viscosidad también aumenta. El efecto de la presión sobre la viscosidad de los líquidos y la de los gases perfectos es tan pequeño que no tiene interés práctico en la mayor parte de problemas para flujo de fluidos. [7]

Tabla 3.1. Viscosidad cinemática. [3]

T(°C)	$\nu \left(\frac{m^2}{s} \right) \cdot 10^{-6}$	T(°C)	$\nu \left(\frac{m^2}{s} \right) \cdot 10^{-6}$
0	1.77100	20	1.00488
2	1.65780	22	0.95814
4	1.55578	24	0.91473
6	1.46345	26	0.87431
8	1.37956	28	0.83661
10	1.30307	30	0.80139
12	1.23309	32	0.76843
14	1.16889	34	0.73752
15	1.13874	36	0.70851
16	1.10980	38	0.68123
18	1.05529	40	0.65554

Caudal. Es el volumen de fluido por unidad de tiempo que atraviesa una sección transversal de un conducto. Se pueden relacionar el caudal (Q) con la velocidad (v) a través del área transversal de flujo (A).

Ecuación de continuidad. Esta ecuación se basa principalmente en el principio de conservación de la masa, es decir la materia que entra en un sistema es la misma que la que sale de él. La ecuación de continuidad para los líquidos considera que el caudal será constante para las diferentes secciones de una instalación por la que atraviese el fluido.

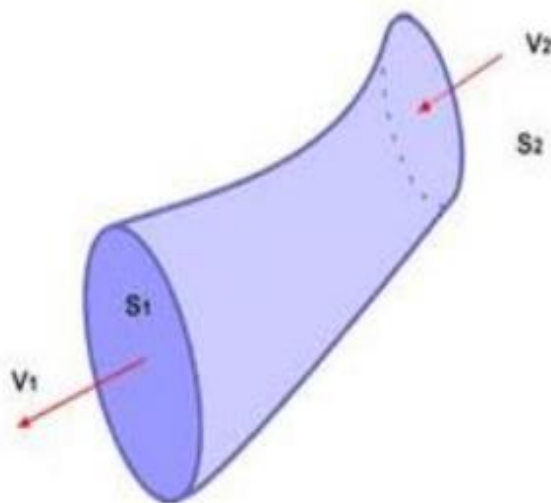


Figura 3.6. Tubo de corriente. [2]

Considerándose el tramo de un tubo de corriente, como se indica en el gráfico N° 1 con secciones A1 y A2 y velocidades v_1 y v_2 respectivas, la cantidad de líquido de peso específico que pasa por una sección, en una unidad de tiempo y si el líquido se considera incomprensible será de un modo general.

Presión. Es la fuerza por unidad de área a que está sometida una partícula de un fluido. La presión en una partícula de un fluido es igual en todas las direcciones. La diferencia de presión entre dos puntos de un conducto (tubería, canal) es la causa del movimiento (caudal) de un fluido.

Presión atmosférica. Es la presión debida al peso del aire en un sitio particular de la superficie terrestre, por lo que su valor depende de la ubicación, altitud y latitud del lugar. [9]

Presión absoluta. Es la presión que se mide con relación al cero absoluto de presión, donde no existe presencia de aire, o en su defecto es igual a la suma de la presión manométrica más la atmosférica.

Presión barométrica. Es la presión ejercida por la atmósfera terrestre medida mediante un barómetro, a nivel del mar. Esta presión es próxima a 760 mmHg.

Presión manométrica. Es la presión determinada por cualquier instrumento que mide la diferencia entre cualquier presión absoluta por encima de la atmosférica y la presión atmosférica del lugar donde se efectúa la medición.

Presión de vacío. Dentro del ambiente técnico se reconoce como vacío el espacio en el cual la presión es inferior a aquella atmosférica. Las unidades más usadas de presión son: el Sistema Inglés $\text{PSI} = \text{lb pulg}^2$ y el Sistema Internacional $\text{N m}^2 = \text{Pa}$. [10]

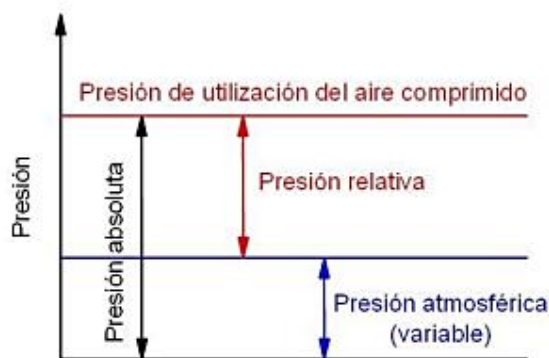


Figura 3.7. Relación entre las diferentes presiones.[11]

3.2.3. Tipo de fluido

El flujo de un fluido real es más complejo que el fluido ideal. Debido a la viscosidad de los fluidos reales, en su movimiento aparecen fuerzas cortantes entre las partículas fluidas y las paredes del contorno y entre las distintas capas de fluido. Existen dos tipos de flujos permanentes en el caso de fluidos reales, que se llaman flujo laminar y flujo turbulento. [12]

Flujo laminar. Es aquel en el cual las partículas del fluido siguen trayectorias paralelas, formando junto de ellas capas o láminas. La velocidad de estas partículas es mayor cuando están más alejadas de las paredes del conducto, o sea que la velocidad de dichas partículas está en función de la distancia de las paredes del conducto.

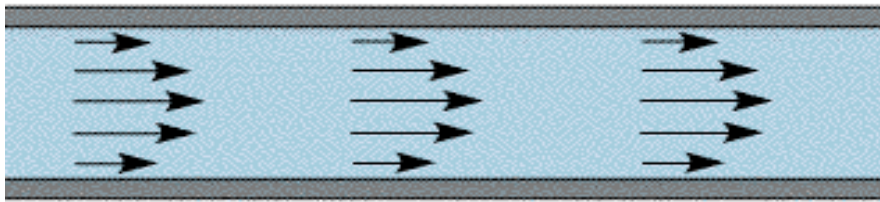


Figura 3.8. Flujo laminar. [13]

Flujo turbulento. Es aquel en el cual las partículas del fluido no siguen trayectorias paralelas, es decir que se mueven en forma desordenada en todas las direcciones. Es imposible conocer la trayectoria de una partícula individualmente.

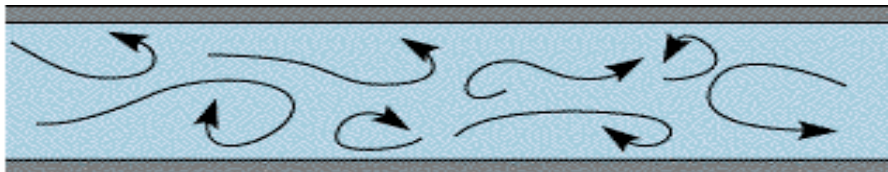


Figura 3.9. Flujo turbulento. [13]

Se puede cuantificar numéricamente el tipo de flujo presente en un conducto mediante un coeficiente adimensional llamado "Número de Reynolds (Re)".

Numero de Reynolds. Las investigaciones de Osborne Reynolds han demostrado que el régimen de flujo en tuberías, es decir, si es laminar o turbulento, depende del diámetro de la tubería, de la densidad, de la viscosidad del fluido y de la velocidad del flujo. El valor numérico de una combinación adimensional de estas cuatro variables se conoce como el número de Reynolds.

Puede considerarse como la relación de las fuerzas dinámicas de la masa del fluido respecto a los esfuerzos de deformación ocasionados por la viscosidad.

Tabla 3.2. Condiciones de flujo según Reynolds. [13]

Tipo de flujo	Re
Laminar	$Re < 2000$
Zona Crítica	$2000 \leq Re \leq 4000$
Transición (probablemente turbulento)	$4000 \leq Re \leq 10000$
Turbulento	$Re > 10000$

3.3. DISEÑO DE UN SISTEMA DE RED TIPO MALLA

El diseño de un sistema tipo malla hace referencia en la disposición de los distintos elementos que intervienen en el sistema con el objetivo de maximizar la eficacia de este de la forma más económico.

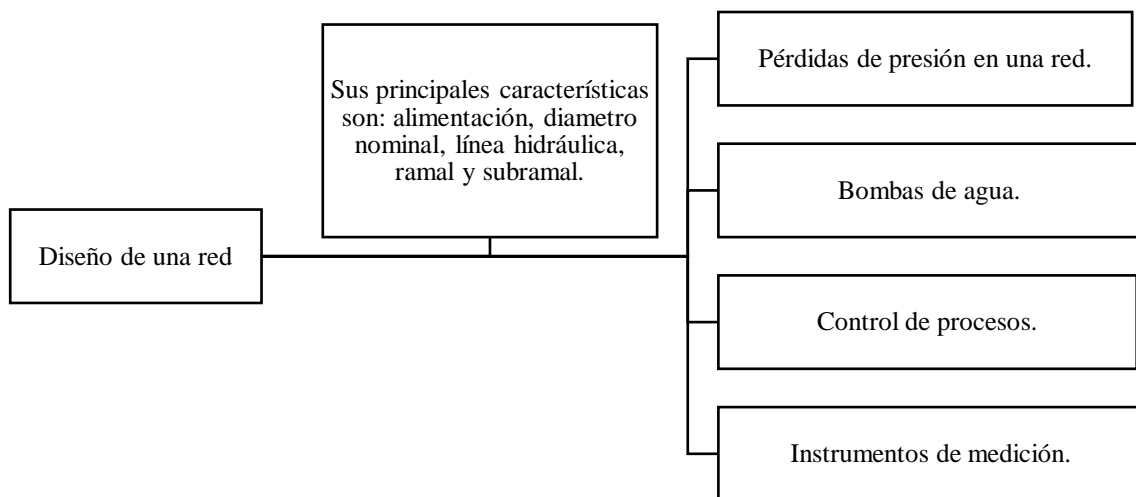


Figura 3.10. Diseño de una malla.

Alimentador. Tramo de tubería que une el nudo de regulación, monitoreo y control interno con un depósito para almacenamiento de agua, (llamado reservorio o tanque cuando es un depósito elevado; y, cisterna o aljibe cuando se trata de un depósito enterrado).

Diámetro nominal. Es el valor del diámetro que el fabricante de tuberías y accesorios lista en su nómina de productos de venta en el mercado y cuyo valor guarda cierta relación o con el diámetro interno o con el externo del producto al cual se refiere.

Línea hidráulica. Es el conjunto de tuberías, accesorios y válvulas que constituyen un tramo de la red de distribución y que se instalan de forma adecuada para permitir la circulación del fluido.

Ramal. Es la línea hidráulica que se alimenta de la columna de distribución o montante, y que permite el suministro de agua a los sub-ramales. Por telescópica e hidrodinámica se considera que el ramal no debe tener un diámetro mayor que el montante.

Sistema de bombeo e hidroneumático. Lo conforma el grupo motor-bomba y un depósito hidroneumático, que transmiten energía al fluido. Normalmente se utiliza cuando la presión disponible no es suficiente para trasegar el agua hasta el punto más crítico, con la presión requerida.

Sub-ramal. Es la línea hidráulica que conecta el ramal con el nudo de consumo; por telescópica e hidrodinámica se considera que no debe tener un diámetro mayor que el ramal. [14]

3.3.1. Pérdidas de energía en un sistema a presión de un flujo incompresible.

Del planteamiento de la ecuación de energía para un tubo de corriente de fluido real incompresible que se mueve entre dos puntos de un sistema se obtiene, teniendo en cuenta que se desarrolla pérdidas de energía.

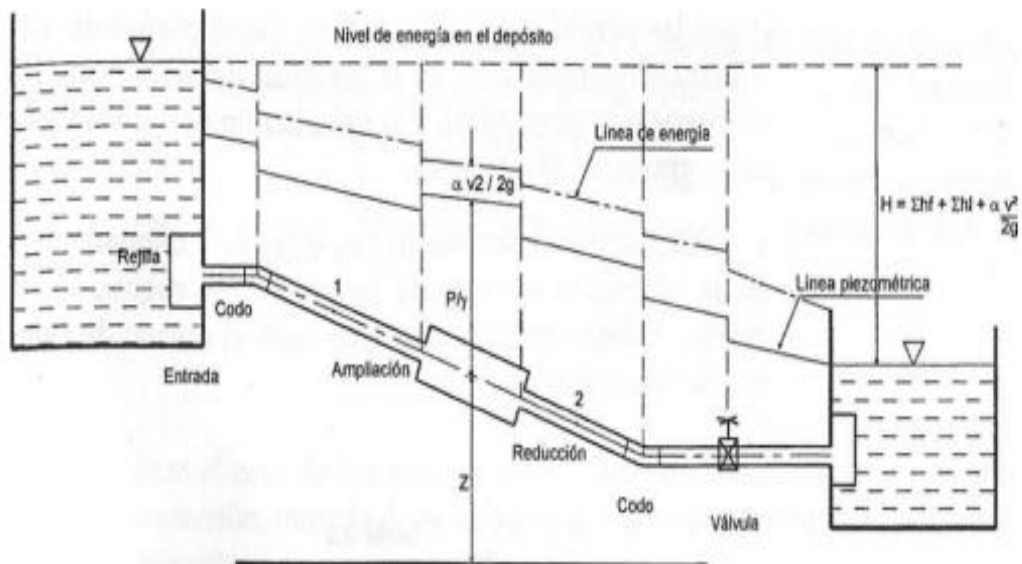


Figura 3.11. Pérdidas de presión en un sistema a presión. [15]

Como resultado del análisis de la expresión anterior, es importante conocer el comportamiento de la variación de la energía a lo largo de un sistema, se realiza a partir de lo que en hidráulica se denomina línea de energía y línea piezométrica.

Cuando se desarrolla flujo a presión, con presión diferente de la atmosférica, de un fluido incompresible a través de un sistema de tuberías, la resistencia al flujo se expresa en función de las pérdidas de energía, la caída de la línea de energía en la dirección del flujo.

3.3.2. Pérdidas de carga por fricción en tubería

Las pérdidas de presión por fricción es la consecuencia del rozamiento entre el fluido con las paredes de la tubería o del conducto. Este fenómeno que continua en dirección del flujo, puede resultar bastante considerable en tramos largos, y, por el contrario, puede ser despreciable en tramos cortos.

3.3.3. Bombas de agua

Es la máquina que transforma energía, aplicándola para mover el agua. Este movimiento, normalmente es ascendente. Las bombas pueden ser de dos tipos “centrífugas” y “periféricas”. Todas constan de un orificio de entrada (de aspiración) y otro de salida (de impulsión).

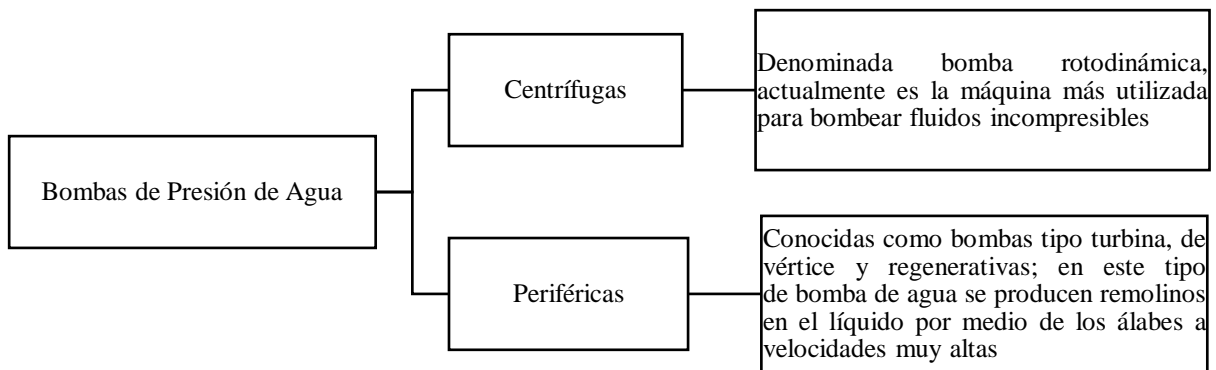


Figura 3.12. Bombas de presión de agua.

3.3.4. Control de procesos

Automatización es la tecnología que trata de la aplicación de procedimientos mecánicos, electrónicos y de bases computacionales para actuar y controlar la producción, es un sistema donde se transfieren laboras de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de datos tecnológicos. En los más modernos sistemas de automatización, el control de las maquinarias es realizado por ellas mismas debido a sensores de control que le permiten advertir cambios en sus inmediaciones de ciertas condiciones semejantes como temperatura, volumen y fluidez de la corriente eléctrica y otros, sensores los cuales le permiten a la máquina efectuar los ajustes obligatorios para poder restablecer estos cambios. Hoy, una gran mayoría de las operaciones industriales son realizadas por enormes máquinas de este apartado. [16]

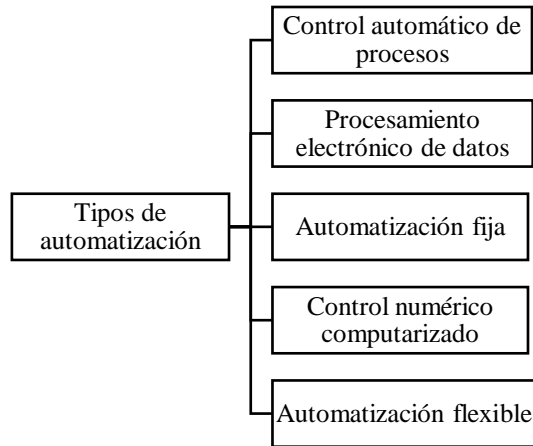


Figura 3.13. Tipos de automatización.

Control automático de procesos. - Se refiere usualmente al comercio de procesos caracterizados de variados tipos de cambios (generalmente artificiales y físicos); un ejemplo de esto lo podría ser el recurso de refinación de petróleo.

Proceso electrónico de datos. - Es la norma de recolección de documentos primarios de recepción que son evaluados y organizados para la toma de resoluciones. Al hablar de procesadores electrónicos hace referencia a maquinas capaces de recibir información, procesarla y emitir resultados. Para ellos se debe combinar cierta cantidad de accesorios que dirigida por un sistema operativo desarrollan actividades que el operario debería realizar.

Automatización fija. - Es aquella asociada al oficio de sistemas metódicos tales como:

Los sistemas de relevadores y compuertas lógicas; sin embargo, estos sistemas se han ido flexibilizando al introducir algunos elementos de programación como en el caso de los (PLC's) O controladores lógicos programables.

Control numérico computarizado. - Se considera de control numérico por ordenador, igualmente llamado Cnc, a todo mecanismo eficaz de orientar el posicionamiento de un órgano mecánico cambiabile por medio de órdenes preparadas de forma absolutamente automática a partir de informaciones numéricas en periodo real.

Automatización flexible. - Consiste en procesos maquinales, reprogramables con mucha destreza y con cambio bastante rápido de herramientas, lo que permiten procesar en las mismas máquinas diferentes artículos en tandas de bajo volumen, logrando coordinar así los ámbitos de la economía de escala, la economía de ámbito y la maleabilidad de fabricación. [17]

3.3.5. Instrumentos de medición.

Se puede definir como una herramienta la cual nos permite medir magnitudes físicas, la medición tiene como principal característica tomar valores de los fenómenos del mundo y compararlos con cantidades físicas. Las magnitudes físicas se pueden interpretar con diferentes actores, cada uno de ellos tiene su propio sistema el más reconocido es el sistema internacional de medidas, los otros dos son sistema métrico decimal y sistema cegesimal de medidas.

3.3.6. Sensores de presión

Un sensor es un mecanismo que mide una magnitud física y la transforma en una señal. Esa magnitud puede ser, por ejemplo, temperatura, longitud, fuerza o, naturalmente, presión. En la totalidad de los riesgos la señal es eléctrica, sin embargo, igualmente puede ser óptica. En consecuencia, un sensor de presión es un instrumento compuesto por un elemento detector de presión con el que se determina la presión real aplicada al sensor (utilizando distintos principios de funcionamiento) y otros componentes que convierten esta información en una señal de salida. [18]

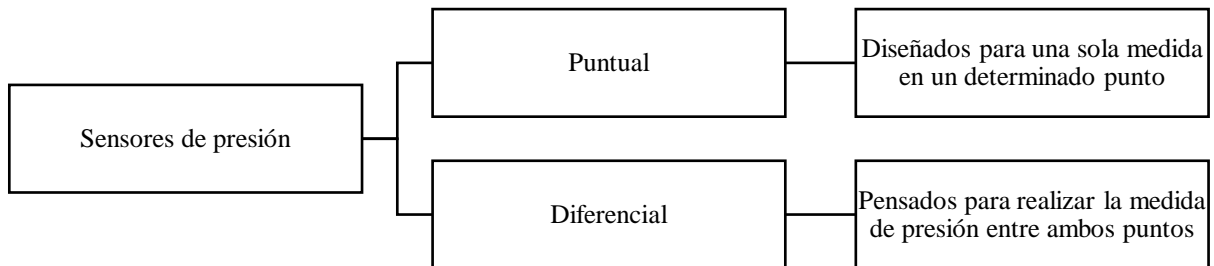


Figura 3.14. Clasificación de los sensores de presión.

3.3.7. Sensores de flujo.

Los flujómetros son uno de los instrumentos más destacados en el camino del desarrollo de la industria, son equipos que realizan mediciones de velocidad y caudal, es decir toman valores del comportamiento de un fluido dentro de un conducto y los comparan con magnitudes físicas. [19]

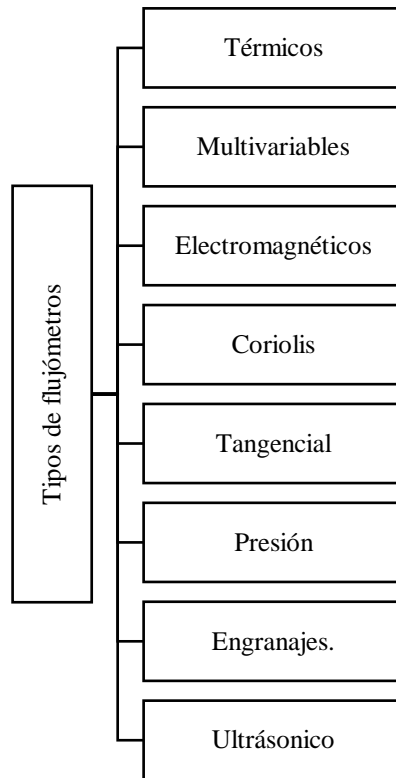


Figura 3.15. Tipos de sensores de flujo.

3.4. HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES PARA LA SIMULACION DE SISTEMAS HIDRAULICOS.

Por herramientas computacionales se tiene el conocimiento que es un conjunto de instrumentos que pueden manejar información proporcionada por un sistema de entrada con el fin de realizar una actividad (salida). Entre los más reconocidos podemos describir; procesador de texto, base de datos, correo electrónico, hojas de cálculo, buscadores, programas de diseño, presentadores, graficadores, redes de telecomunicaciones, entre otros. [20]

Las herramientas computacionales para la simulación de una red tipo malla toman el nombre de Softwares para el análisis de cualquier fluido no compresible con flujo de presión, dependiendo del uso que se le quiera dar las herramientas computacionales tienen varios autores con los que se determina variables de presión y caudal, pero no solo eso se desarrolla en software también se realiza cálculos como régimen del fluido, propiedad del fluido, magnitudes físicas como velocidad, aceleración, determinación de tiempos entre dos puntos, rugosidad de los conductos, pérdidas en tuberías, pérdidas por accesorio, entre otros. Bajo determinación de su función los considerados son:

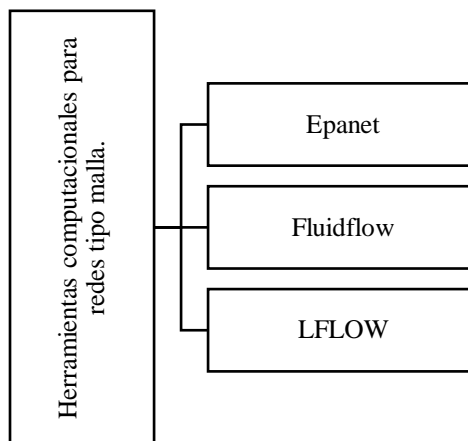


Figura 3.16. Herramientas computacionales.

3.4.1. Software Epanet

Es una herramienta computacional para el análisis de sistemas de distribución de agua potable, de uso público no requiere permiso o licencia alguna, desarrollado y puesto en marcha por la Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos. [21]

Entre las descripciones del software si puede detallar su fácil manejo, ingreso de datos, sistema de modelado, amplia librería de accesorios, bombas (ingresar la curva de la bomba), el hecho de que su diseño sea fácil permite obtener buenos resultados y graficas del comportamiento del fluido.

Su principal uso es determinar las pérdidas de presión debido al factor de rozamiento en la rugosidad del conducto, el software bajo sus condiciones permite realizar el análisis bajo tres actores, el principal y más usado es la fórmula de Hazen Williams, Darcy Weisbach y por último Manning.

3.4.2. Software Fluidflow.

Un software diseñado para calcular las pérdidas de carga en tuberías modular y fácil de manejar con capacidades de cálculo del factor de fricción y pérdidas de calor. La ventaja de este software es que puede combinar interfaces entre Fluidos compresible y no compresible, bifásica, lodo y el flujo de fluidos no newtonianos.

Por sus diversas funcionalidades tiene un grado de complejidad poco superior a los otros softwares analizados, así mismo dispone de una librería completa y para realizar los cálculos se maneja con los siguientes autores; número de Reynolds, Bernoulli, ecuaciones de Darcy Weisbach, diagrama de Moody, Hazen Williams, Duxbury, Wilson Addie Selgren y Clift.

3.4.3. Software LFLOW.

Esta herramienta permite el cálculo de la pérdida de carga producida en líquidos a través de los conductos y accesorios. Tiene la ventaja de poder seleccionar en su base de datos el tipo de fluido, material de las tuberías y accesorios. Tiene cálculos con gran precisión y proporciona curvas, las que a su vez son instrumentos de gran utilidad a la hora de presentar los resultados del análisis. [21]

Este software tiene la opción también de determinar pérdidas locales así mismo su librería de accesorios es amplia, tiene la consideración del tipo de flujo como laminar y turbulento, en las ventajas que destacan es su fácil manejo, amplia base de datos y resultados con gráficos y curvas fáciles de interpretar.

4. METODOLOGÍA

4.1. Introducción

En la Ingeniería Electromecánica se diseñan maquinarias y herramientas, procedimientos electromecánicos que hacen más competentes y confiables los recursos de elaboración. El diseño de la máquina se fundamentó en metodologías, métodos e instrumentos, en base a modelos matemáticos, herramientas computacionales de modelado, análisis y simulación que permitan un diseño electromecánico. Para la validación del procedimiento de la máquina es necesario el análisis de los parámetros ideales de las variables de proceso como presión, caudal y velocidad a través de la ecuación de pérdidas para la determinación de las mismas en función del caudal en la tubería. La información obtenida por trabajos precedentes, herramientas computacionales y libros permitirá desarrollar el proyecto de manera sistematizada.

4.2. Caracterización y requerimientos.

Para el desarrollo de la propuesta tecnológica se parte de un módulo del laboratorio de fluidos de la carrera de ingeniería electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, la cual pretendía revisar el estado del módulo en el cual se iba a trabajar y los requerimientos que debía cumplir el mismo, la técnica que se utilizó fue la observación tomando nota de la información y el mayor número de datos para posteriormente emitir un informe técnico en el cual se presenten todas las especificaciones y parámetros requeridos del módulo a trabajar.

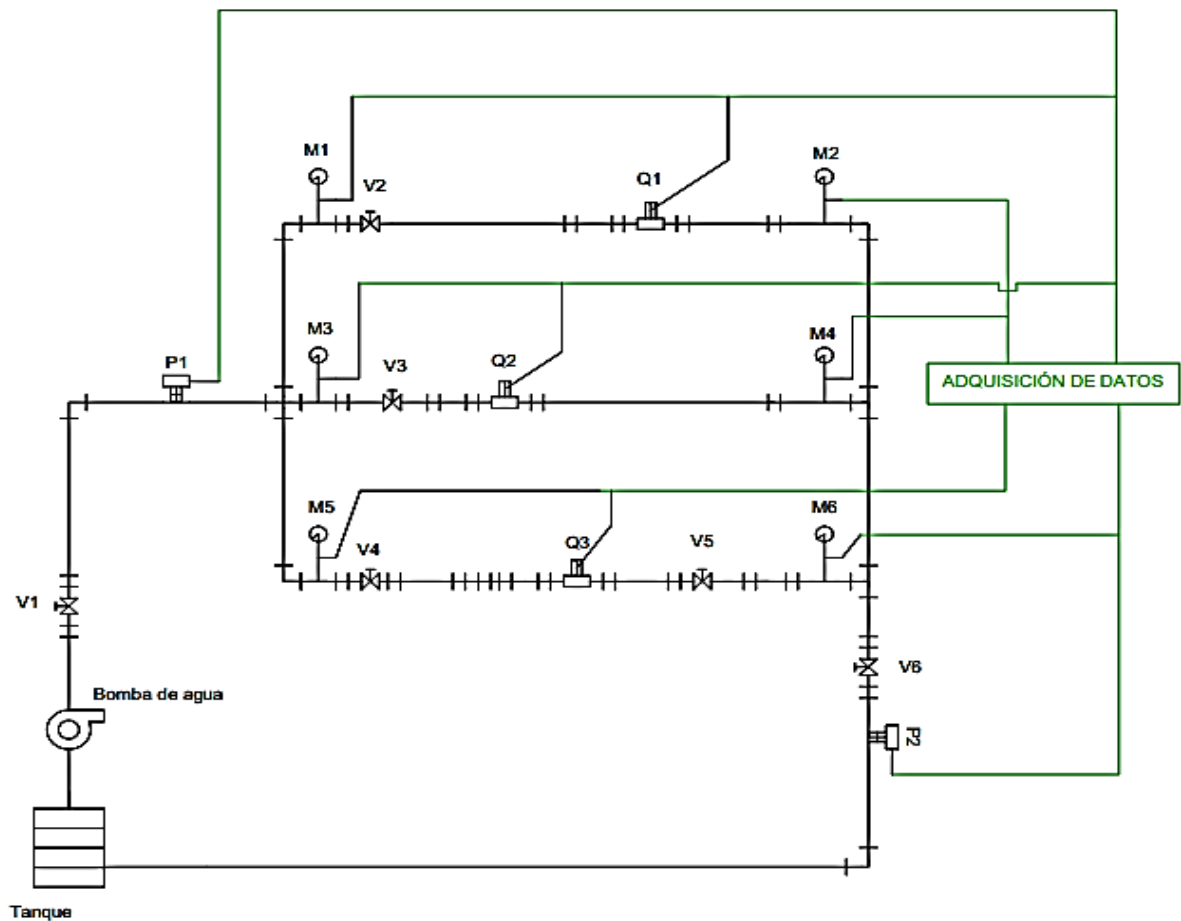


Figura 4.1. Diagrama unifilar antes de las modificaciones

Sistema mecánico. - Para el sistema mecánico se parte de una estructura de aluminio ya constituida en el módulo, la cual es una parte esencial del mismo ya que se encarga de la sujeción de todo el sistema tanto el eléctrico, electrónico e hidráulico.

Sistema hidráulico. - Los sistemas hidráulicos trabajan con fluidos a una cierta presión con el fin de accionar una maquinaria o generar el movimiento de esta. En el módulo experimental se analiza el comportamiento del fluido bajo la presión que genera la bomba, en cada uno de los tramos de diferente diámetro.

Sistema eléctrico. - El sistema eléctrico está compuesto por un circuito de control que se encarga de controlar las entradas y salidas mediante un ordenador utilizando lenguaje de programación y un circuito de fuerza que son los utilizados para suministrar electricidad a los receptores de la instalación como la bomba y su finalidad se basa en convertir en trabajo útil.

[22]

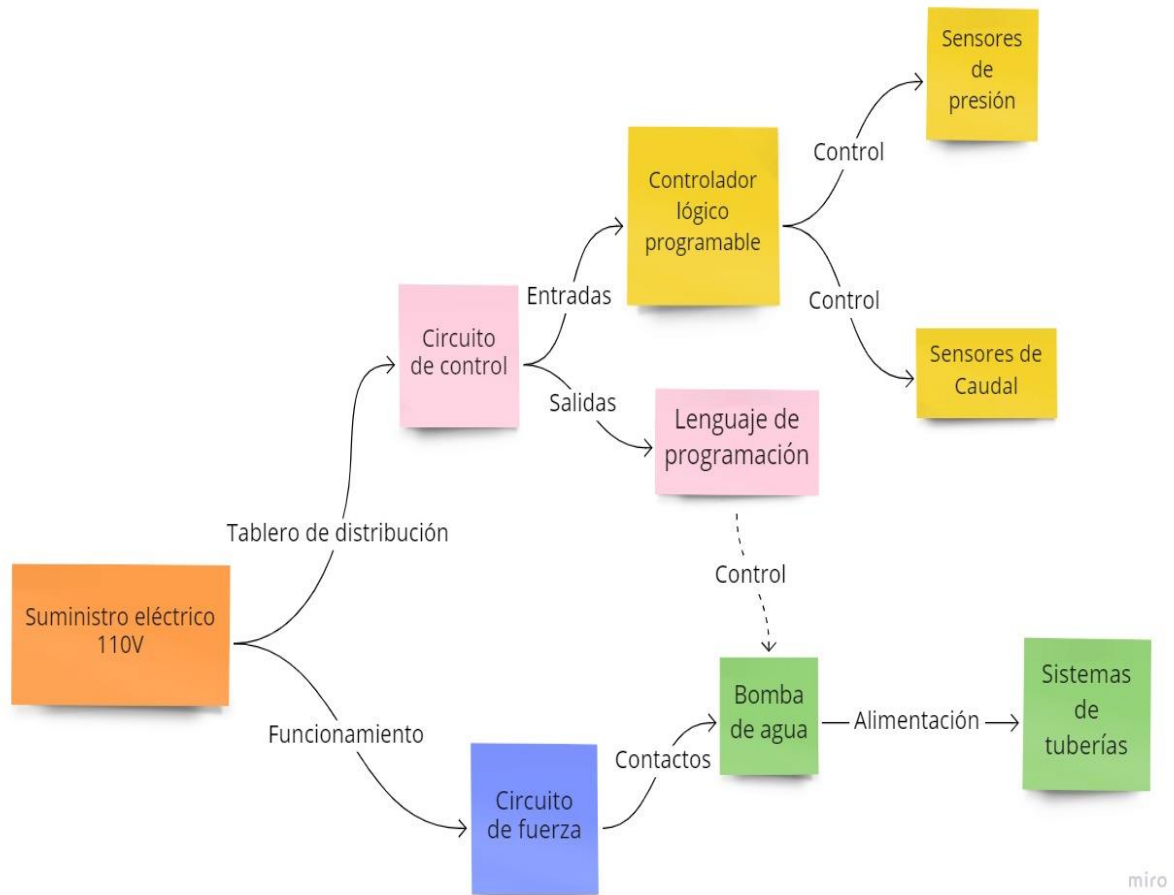


Figura 4.2. Diagrama del sistema eléctrico.

Sistema electrónico. Se define como el conjunto de circuitos que trabajan con señales eléctricas, las cuales son recogidas en su primera etapa denominada entrada donde recopilan todos los datos del sistema, estos datos pueden ser digitales o analógicas, la segunda etapa es el control donde se puede realizar un sin número de operaciones lógicas con el fin de pasar a la última fase que es la salida la cual genera una actividad para operar maquinas, industrias, instalaciones, entre otras. [22]

Sensores de flujo. Los fluxómetros constan con una amplia gama de características dependiendo al uso que se le quiera dar entre las principales destacan la capacidad para medir Caudal o flujo, este puede ser laminar o turbulento. En el módulo experimental consta de 3 fluxómetros antes ya instalados, en los diferentes diámetros de tubería que maneja el sistema.

Selección de controlador. El módulo consta con un controlador lógico programable (PLC) son dispositivos electrónicos que permite realizar operaciones con las señales que entran tanto como digitales o analógicas, de voltaje o de corriente, que genera una salida para que ejecute una acción. Así de esta forma se puede controlar maquinas, industrias con diferentes procesos o sistemas didácticos como se desarrolla este caso.

Tubería y accesorios. El sistema experimental consta con una estructura simple donde se obtiene 3 tramos, el primer tramo con el diámetro de tubería de ½ pulgada y con una válvula tipo bola que genera un recorrido corto de la manija, el segundo tramo tiene un diámetro de 1 pulgada aplicando la misma válvula, pero la medida superior y por último consta con un tramo con tubería de 1 ½ pulgadas y a la misma altura con su respectiva válvula con el fin de poder variar la presión y caudal en cada tramo. [23]

4.3. Materiales y métodos

La selección de materiales y métodos es la intermediaria explicativa entre los objetivos y los resultados obtenidos. Se desarrolla con el enfoque de cumplir y justificar con los objetivos planteados para el desarrollo de la propuesta tecnológica.

Metodología para la selección de sensores de presión. También denominados transmisor de presión, son dispositivos diseñados para convertir los valores de presión a señales digitales que puede dar lectura el controlador en este caso el PLC. En el mercado internacional se maneja con tres tipos de sensores: Presión absoluta se caracteriza por tener el segundo lado sometido al vacío, Presión Relativa en este caso su segundo lado está sometido a la presión atmosférica y el sensor de presión diferencial este sensor tiene dos entradas por donde circula el flujo apto para mediciones en tramos.

Tabla. 4.1. Selección de sensores de presión.

	Sensor de presión absoluta	Sensor de presión relativa	Sensor de presión diferencial
Función	15	5	20
Rango	20	10	20
Punto de medida	5	5	20
Disponibilidad	15	15	10
Instalación	20	20	15
Costo	15	15	10
Total	90	75	95

Tomando en cuenta ciertos parámetros que caracterizan a los sensores se concluye que el sensor de presión diferencial es el más apto para implementarse por su buen funcionamiento, diferentes intervalos rangos de medida, tiene la facilidad comparar las presiones entre dos puntos, pese a que en Ecuador no se encuentra disponible estos sensores, se considera la importación del país China.

Metodología para la selección de manómetros para las tuberías. Para la selección de manómetros tomamos a consideración su principal función que es medir la presión de los

fluidos que pasan por un conducto cerrado, también se puede implementar en la medición de la presión de los gases, para la selección de considera el Anexo IV.

Tabla. 4.2. Selección de manómetros.

	Manómetro de glicerina	Manómetro Bourdon	Manómetro digital
Precisión	15	5	20
Adaptabilidad	15	15	10
Disponibilidad	10	20	5
Vida nominal	15	10	15
Costo	10	20	5
Total	65	70	55

Para la selección de los manómetros se toma a consideración la presión que ejerce la bomba en los conductos, el cual se determinó por el método experimental dándonos un rango de 20 Psi, por lo que los manómetros llevan el rango de 0 a 60 Psi.

Metodología para selección de la bomba. Para la selección de la bomba se analizaron las diferentes características de los tipos de bombas que existen en el mercado evaluando parámetros como; caudal, potencia, voltaje de trabajo, el tipo de movimiento, la aplicación de campo en la que se utiliza y posteriormente se realizaron los cálculos para determinar una cierta velocidad que debe cumplir el sistema, esto se lo puede evidenciar en el Anexo IV

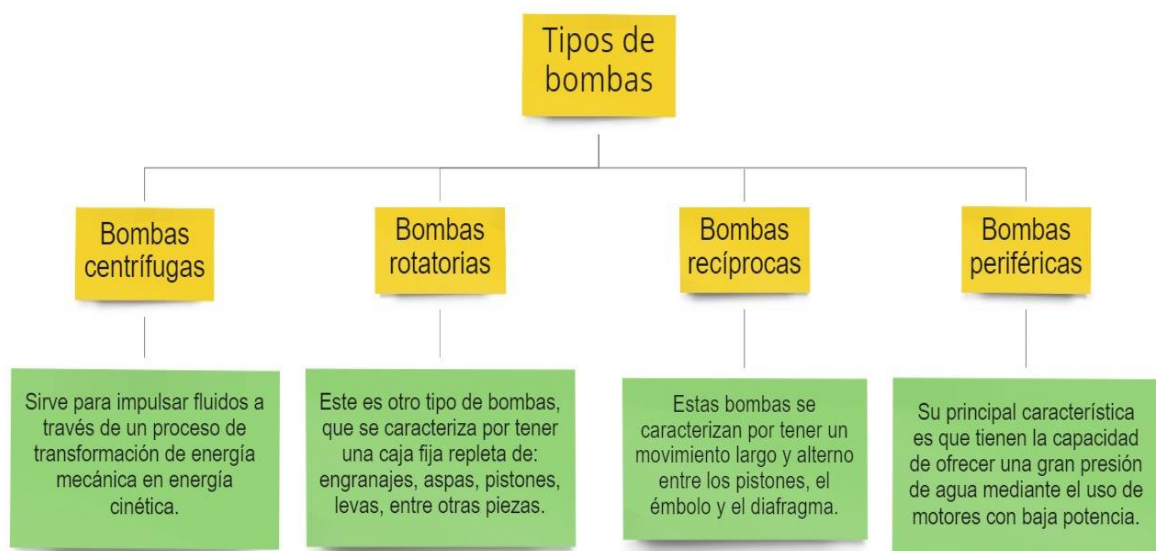


Figura 4.3. Características de las bombas. [24]

Ecuaciones utilizadas para la resolución de cálculos:

Velocidad:

$$V = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} \quad (4.1)$$

Donde:

Q = Caudal (m^3/s).

D = Diámetro (m).

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} \quad (4.2)$$

Donde:

D = Diámetro (m).

V = Velocidad (m/s).

P = Densidad (kg/m^3).

μ = Coeficiente dinámico de viscosidad ($Pa \cdot s$).

Lambda:

$$\lambda = \frac{0.3164}{\sqrt[4]{Re}} \quad (4.3)$$

Donde:

Tubería lisa = 0.3164

Re = Reynolds (*Adim*).

Resistencia:

$$R = \left(\sum E + \lambda \cdot \frac{L}{D} \right) \cdot \frac{8}{g \cdot \pi \cdot D^4} \quad (4.4)$$

Donde:

$\sum E$ = Sumatoria de pérdidas locales.

λ = Lambda

L = Longitud de tubería (m).

D = Diámetro (m).

g = Gravedad (m/s²).

Pérdida local de carga:

$$H = R \cdot Q^2 \quad (4.5)$$

Donde:

R = Resistencia (s²/m⁵)

Q = Caudal (m³/s)

Velocidad específica:

$$s = 3.65 \cdot \frac{n \cdot \sqrt{Q}}{(H)^{\frac{3}{4}}} \quad (4.6)$$

Donde:

n = Número de revoluciones del motor (rpm)

H = Altura (mca)

Q = Caudal (m³/s)

Caudal:

$$Q = \frac{V}{s} \quad (4.7)$$

Donde:

V = Volumen (litros)

s = Tiempos (s)

4.4. Sistema de medición

Es el registro de operaciones, procedimientos, instrumentos de medición y otros equipos, para asignar un número de características del sistema al cual se lo aplica. Este proceso es de suma importancia en toda empresa o institución, con base a este sistema se evalúa el desempeño y ayuda a la toma de decisiones. [25]

Casos de estudio. - para el sistema de medición tanto por el método sistemático y método experimental se toma a consideración cuatro casos, con el fin de hacer cálculos interactivos para la obtención de las magnitudes con las que se va a desarrollar el análisis de precisión.

Primer caso. - Para analizar el primer caso se considera que todas las válvulas del sistema se encuentran abiertas, entonces si obtiene medidas en los tres tramos.

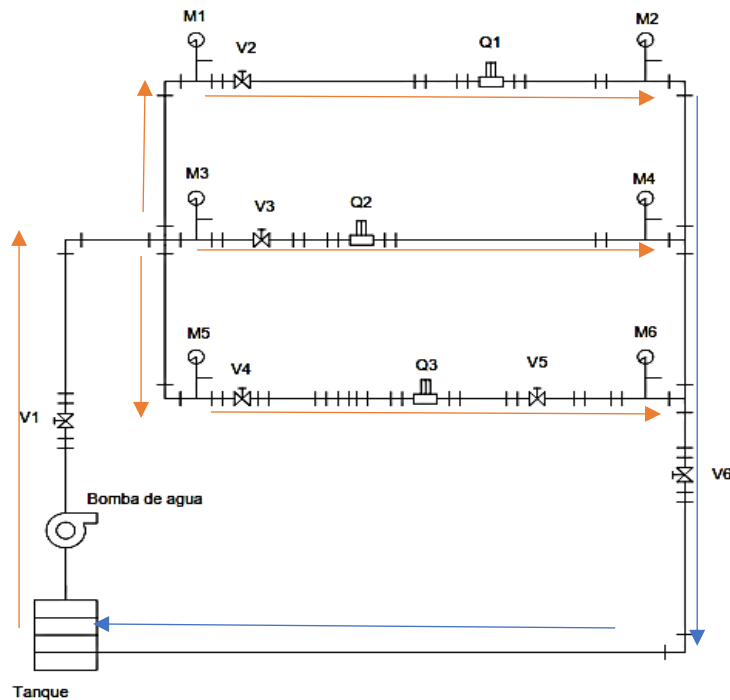


Figura 4.4. Primer caso de estudio.

Segundo caso. - En el segundo caso la válvula del primer tramo se encuentra cerrada generando así un nuevo sistema para la determinación de pérdidas. Considerando que el primer tramo se encuentra cerrado la presión del sistema aumentara y generando así un posible aumento de la magnitud.

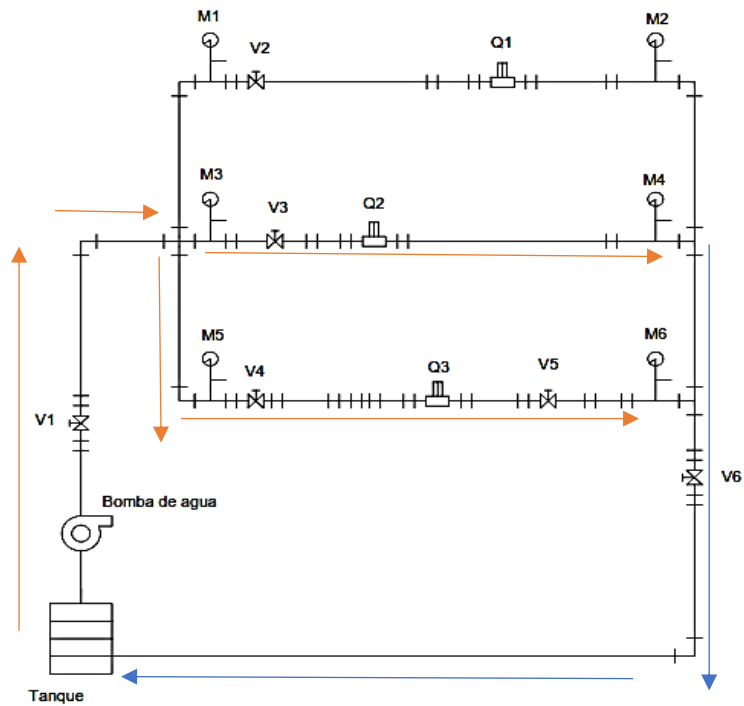


Figura 4.5. Segundo caso de estudio.

Tercer caso. - La válvula del primer tramo se encuentra abierta, la válvula del segundo tramo está cerrada para así considerar el análisis en un nuevo sistema con tuberías de media pulgada y de una pulgada y media.

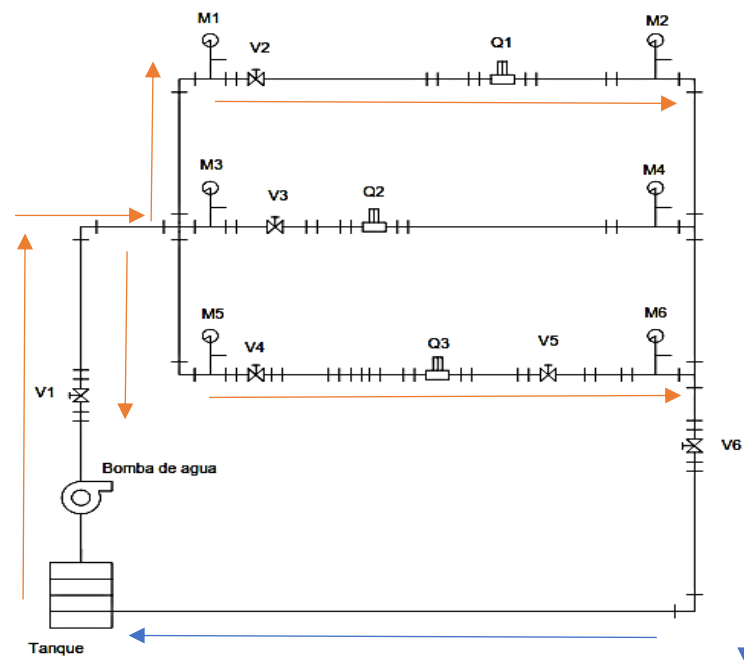


Figura 4.6. Tercer caso de estudio.

Cuarto caso. - Para este último caso solo se considera que la válvula del tramo tres se encuentran cerrada y tenemos paso solo en las tuberías de media pulgada y una pulgada que vendrían siendo los tramos de menor dimensionamiento.

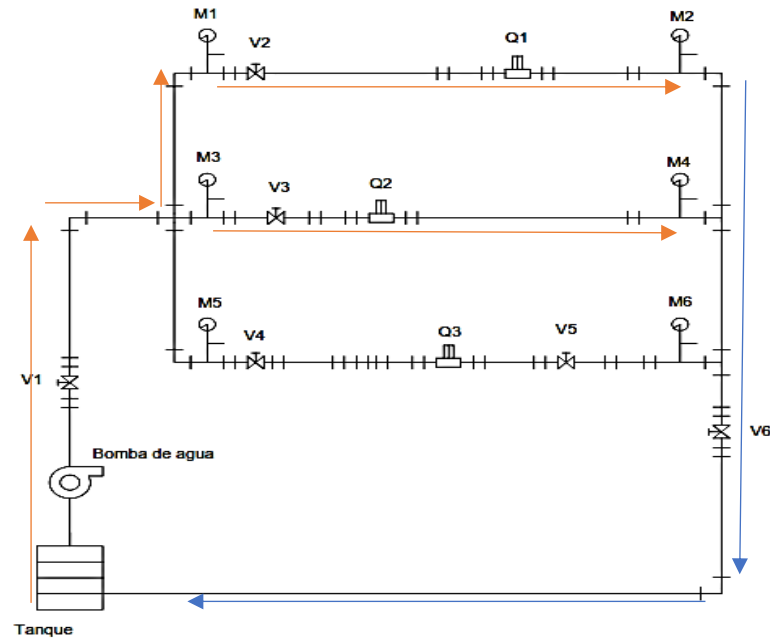


Figura 4.7. Cuarto caso de estudio.

4.5. Metodología para determinar las variables que intervienen en el método sistémico

Una simulación asistida por computador es una herramienta que se utiliza en el desarrollo tanto de procesos como de productos, los cuales nos ayudan en el análisis de diferentes parámetros, en este caso se utiliza el software Epanet el cual nos ayudará en el cálculo de pérdidas por fricción en un sistema de red tipo malla, la simulación consta de una serie de procesos a seguir y la configuración de distintos parámetros. [26]

Simulación mediante Software Epanet del módulo experimental para la validación de simulaciones de redes tipo malla. - Para la simulación de redes tipo malla en el software Epanet se debe conocer las unidades que emplea el software en los diferentes parámetros de medida o cálculos, además de seguir una serie de pasos, lo primero es crear un archivo nuevo en el cual se definirá las unidades en la pestaña proyecto-valores por defecto-opciones hidráulicas.

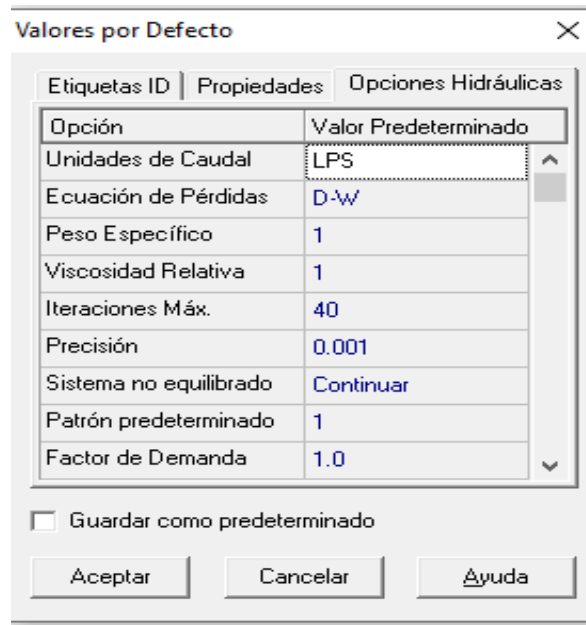


Figura 4.8. Unidades y opciones hidráulicas

En este apartado se puede definir o utilizar los valores predeterminados que nos ofrece el software en opciones como; unidades de caudal, los diferentes métodos de cálculo para la determinación de pérdidas, peso relativo, la precisión, entre otros según demande el sistema que se quiera realizar.

Posteriormente se configura las opciones del plano en la pestaña ver-opciones y los parámetros a configurar son; el tamaño de nodos y líneas, rótulos, en etiquetas es importante que se muestre el identificador tanto de nodos como de líneas, los símbolos, flechas y fondos.

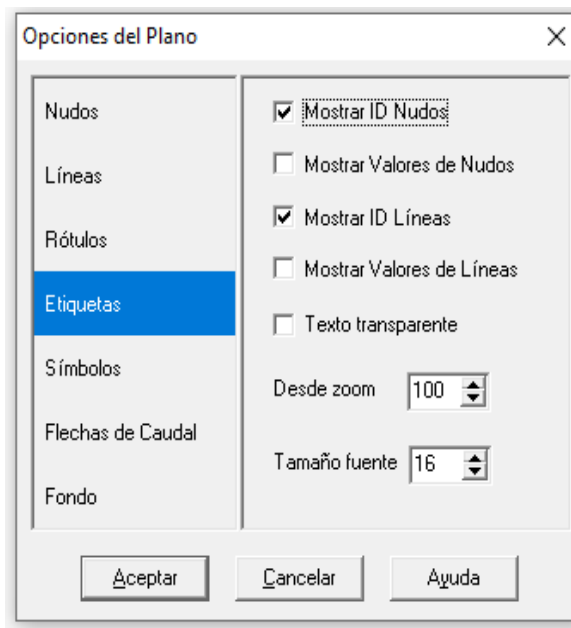


Figura 4.9. Opciones de plano

Componentes y accesorios del sistema:

Embalse o reservorio; es el encargado de suministrar el flujo constante de agua a la red a lo largo de la simulación, para acceder a las propiedades del elemento se debe realizar doble clic sobre el mismo.

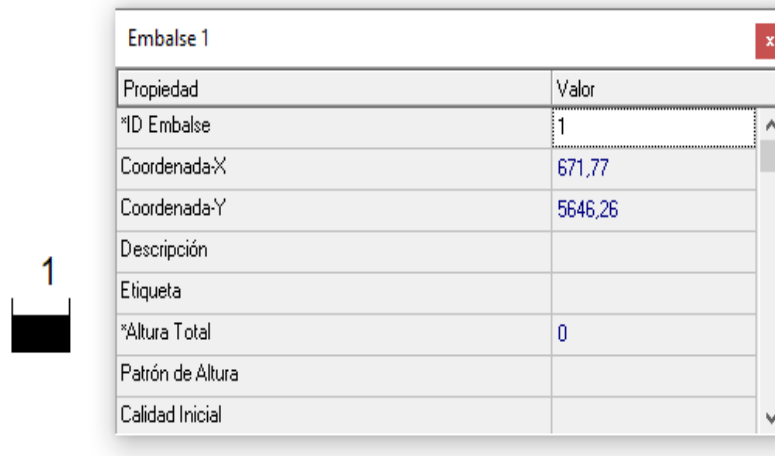


Figura 4.10. Reservorio en Epanet

Bombas; son elementos físicos para suministrar energía al fluido con el fin de desplazar desde un punto hacia otro, con lo cual se vencen las pérdidas de energía presentes en el circuito.



Figura 4.11. Características de la bomba de agua en Epanet.

Válvulas; son componentes que controlan el caudal o flujo dentro de un tramo de tubería, todas las válvulas que existen en epanet realizan algún tipo de control, ya sea con relación al caudal o la presión que circula sobre la misma.

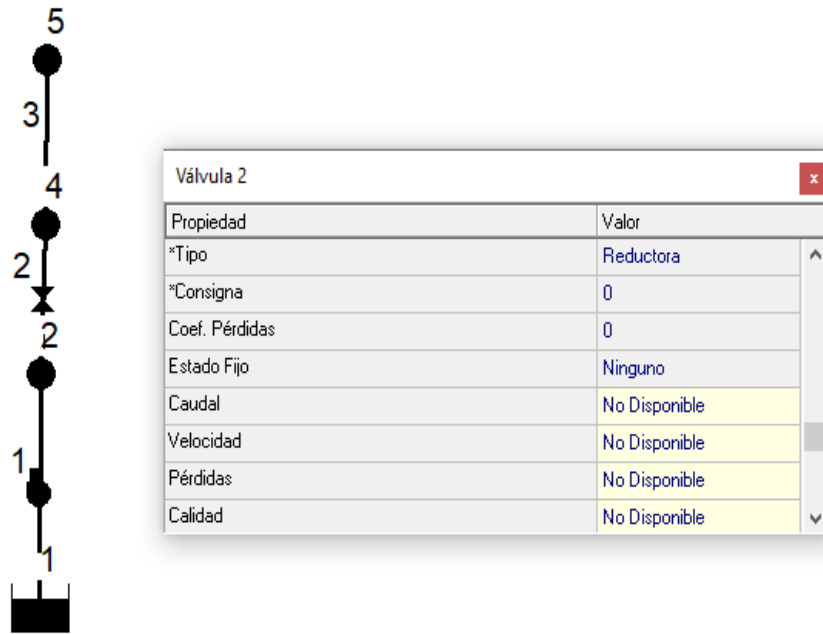


Figura 4.12. Características de las válvulas en Epanet

Conexiones o nudo; por medio de este elemento se realizan conexiones de dos o más tuberías, también funciona para describir extracciones o inyección de agua en la red, si el nudo es utilizado como accesorio para la conexión de varias tuberías la demanda base es igual a cero.

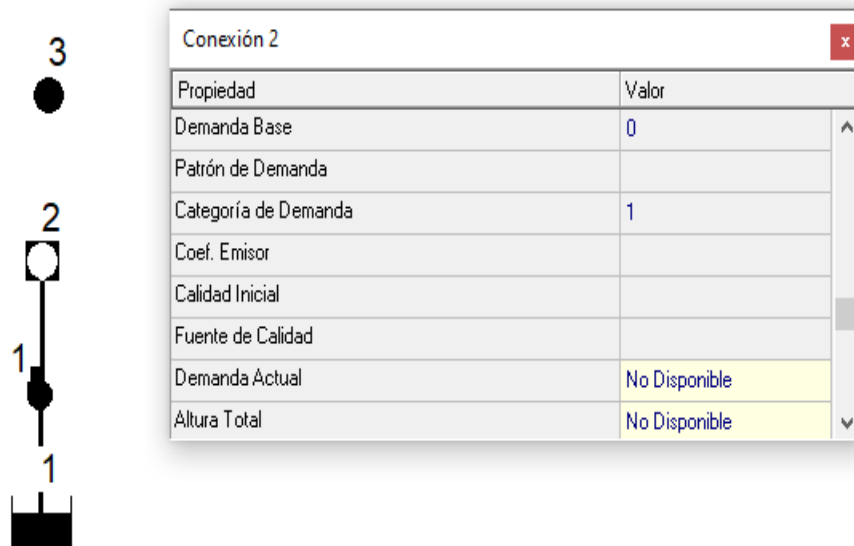


Figura 4.13. Reservorio en Epanet

Tuberías; es un elemento importante en una red hidráulica ya que es el encargado de transportar el fluido por todo el sistema de distribución de agua, la dirección del fluido se rige por el principio de gradiente hidráulico de mayor a menor energía.

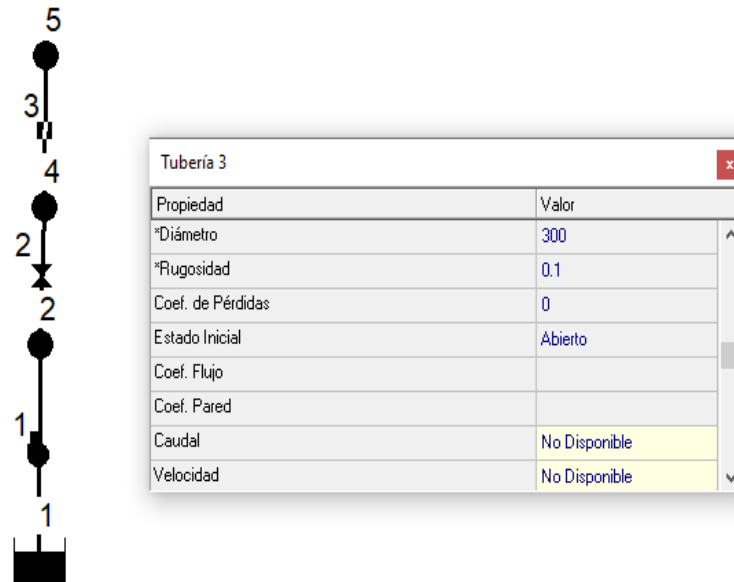


Figura 4.14. Propiedades de la tubería en Epanet

Deposito; son elementos que suministran el fluido a la red que se está estudiando, dependen de una fuente de suministro la cual puede ser un reservorio utilizando la gravedad o una bomba que utiliza la presión.

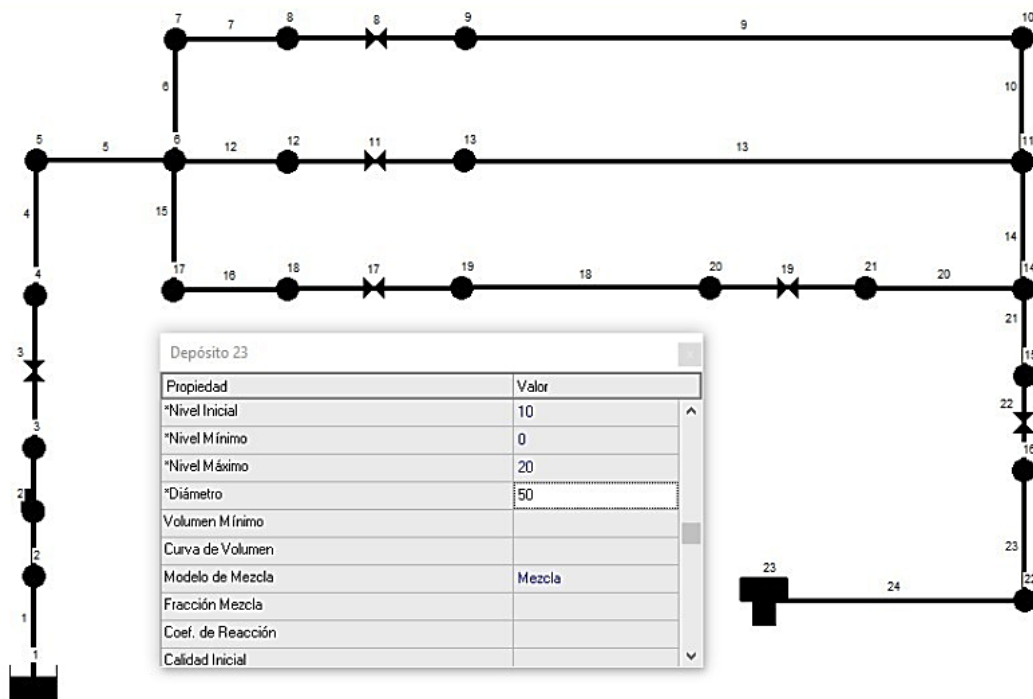


Figura 4.15. Características del depósito en Epanet

Selección de tramos. - Se puede configurar como cuatro casos distintos, ya que en el software permite abrir y cerrar las válvulas, como primera instancia podemos considerar todas las válvulas abiertas teniendo así los tres tramos con fluido.

Como segundo caso podemos cerrar la válvula del primer tramo generando así otro sistema de mallas distinto ya que el fluido tendría paso solo por el tramo dos y tres. El tercer caso se configura cerrando la válvula del segundo tramo que pertenece al diámetro de una pulgada y por último consideramos como cerrada la válvula del tercer tramo la cual le identificamos con el diámetro de una pulgada y media generando así el cuarto caso.

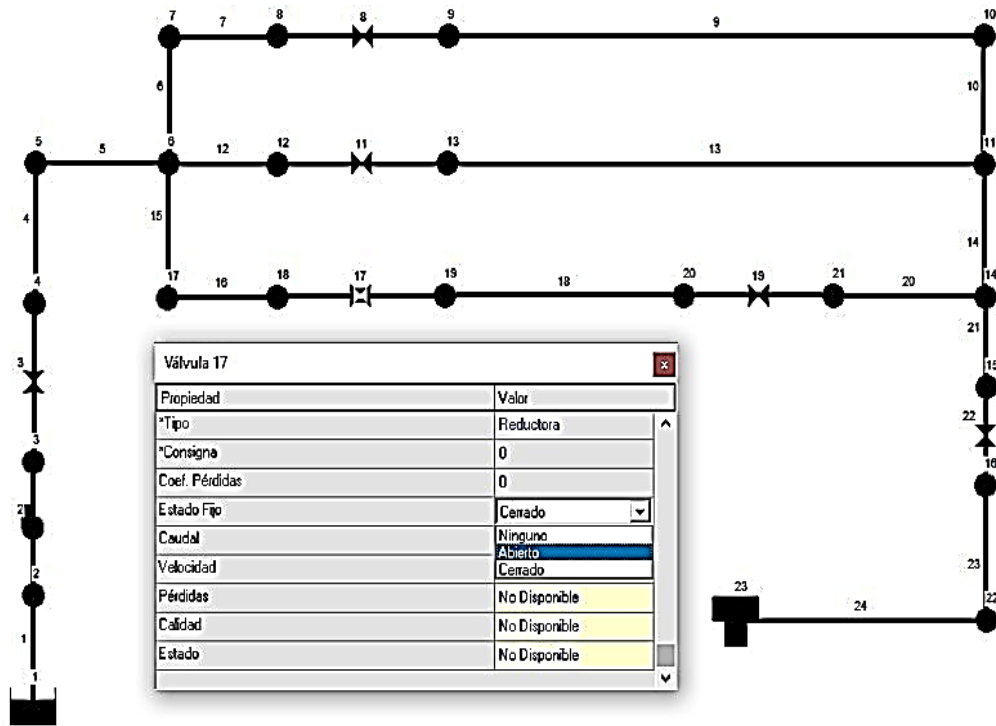


Figura 4.16. Selección de tramos

4.6. Metodología para determinar las variables en el modelo experimental.

Para la recolección de datos en el sistema experimental es fundamental la utilización de los sensores de presión y flujo, los sensores de presión diferenciales entregan como resultado las pérdidas de presión diferencial de cada tramo, los sensores de flujo ponen a disposición las magnitudes de velocidad y caudal en cada segmento, con esos datos mediante el método analítico se puede determinar las pérdidas de presión de todo el sistema.

El sistema de red tipo malla consta con tres tramos, en el primero tenemos un dimensionamiento de media pulgada, en el segundo de una pulgada y por último una tubería de una pulgada y media.

Primer caso. - Para analizar el primer caso se considera que todas las válvulas del sistema se encuentran abiertas, entonces si obtiene medidas en los tres tramos.

Ecuaciones de las obtenidas para el análisis del primer caso:

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (4.8)$$

$$\Delta P_T = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 \quad (4.9)$$

Segundo caso. - En el segundo caso la válvula del primer tramo se encuentra cerrada generando así un nuevo sistema para la determinación de pérdidas.

Ecuaciones de las obtenidas para el análisis del segundo caso:

$$Q_T = Q_2 + Q_3 \quad (4.10)$$

$$\Delta P_T = \Delta P_2 + \Delta P_3 \quad (4.11)$$

Tercer caso. - Solo se encuentra cerrada la válvula del segundo tramo, el primer y tercer tramo se encuentra abierto.

Ecuaciones de las obtenidas para el análisis del tercer caso:

$$Q_T = Q_1 + Q_3 \quad (4.12)$$

$$\Delta P_T = \Delta P_1 + \Delta P_3 \quad (4.13)$$

Cuarto caso. - Para este último caso solo se considera que la válvula del tramo tres se encuentran cerrada y tenemos paso solo en las tuberías de media pulgada y una pulgada que vendrían siendo los tramos de menor dimensionamiento.

Ecuaciones de las obtenidas para el análisis del cuarto caso:

$$Q_T = Q_1 + Q_2 \quad (4.14)$$

$$\Delta P_T = \Delta P_1 + \Delta P_2 \quad (4.15)$$

4.7. Método estadístico para determinar la baja precisión de los cálculos en redes tipo malla.

Para determinar la precisión de los cálculos se debe seguir una serie de procesos como primer paso se obtiene los resultados del método sistémico y los resultados del método experimental. El siguiente paso es tabular los datos para tener una mejor apreciación de las magnitudes, se puede implementar gráficos estadísticos que ayuden a la interpretación.

Como tercer paso se considera el cálculo de los errores se debe tener en cuenta que el error se calcula para determinar la baja precisión de los cálculos entre los dos métodos. La medida del

método experimental se asume como el valor real y la medida obtenida del método sistémico se considera como valor ideal.

Error absoluto:

$$\epsilon_a = \text{Valor real} - \text{Valor ideal.} \quad (4.16)$$

Error relativo:

$$\text{Error relativo} = \frac{\text{Error absoluto}}{\text{Valor Real}} \quad (4.17)$$

Error porcentual:

$$\text{Error \%} = \text{Error relativo} \cdot 100\% \quad (4.18)$$

Con estos cálculos realizados se puede interpretar que si el error es alto se considera que la precisión de los cálculos es baja y si el error es bajo la precisión es alta. Para la interpretación de estos valores se debe ayudar con diagramas estadísticos y curvas para poder generar una comparación.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Una vez considerado todos los parámetros para realizar una simulación utilizando la herramienta computacional Epanet se procede a recopilar los datos del método sistémico para comparar con el método experimental mediante el cálculo del error entre las dos magnitudes. De esta forma se puede interpretar los resultados ayudando también la realización de gráficos estadísticos.

5.1. Resultados del método sistémico.

Para la obtención de datos del método sistémico se parte del diagrama realizado, este consta con la numeración en cada accesorio de la estructura y se encuentra enumerado en todo el sistema para un fácil reconocimiento de información.

Primer caso. - Para analizar el primer caso se considera que todas las válvulas del sistema se encuentran abiertas, entonces las medidas obtenidas son generadas por los tres tramos cabe recalcar que el primer tramo la tubería es de ½ pulgada, el segundo de 1 pulgada y el tercero es de 1 ½ pulgadas.

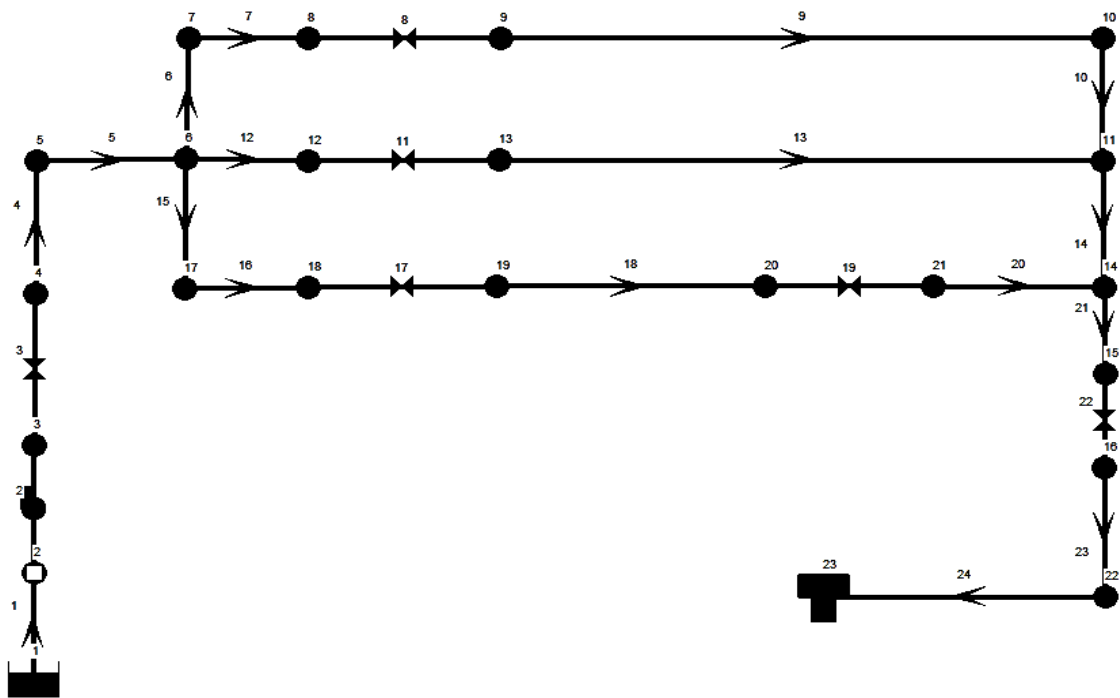


Figura 5.1. Diagrama sistémico del primer caso.

Tabla 5.1. Resultado sistémico del primero caso.

Tabla de Red - Líneas				
ID Línea	Caudal LPM	Velocidad m/s	Pérd. Unit. m/km	Estado
Tubería 1	77,82	2,56	397,71	Abierto
Tubería 4	77,82	2,56	903,34	Abierto
Tubería 5	77,82	2,56	2733,70	Abierto
Tubería 6	7,17	0,24	27,24	Abierto
Tubería 7	7,17	0,94	307,99	Abierto
Tubería 9	7,17	0,94	176,94	Abierto
Tubería 10	7,17	0,24	4,57	Abierto
Tubería 12	33,37	1,10	472,57	Abierto
Tubería 13	33,37	1,10	153,16	Abierto
Tubería 14	40,54	1,33	113,05	Abierto
Tubería 15	37,27	1,23	708,84	Abierto
Tubería 16	37,27	1,23	369,75	Abierto
Tubería 18	37,27	0,54	12,37	Abierto
Tubería 20	37,27	0,54	75,68	Abierto
Tubería 21	-77,82	2,56	4688,30	Abierto
Tubería 23	77,82	2,56	397,71	Abierto
Tubería 24	77,82	2,56	397,71	Abierto
Bomba 2	77,82	0,00	-13,97	Abierto
Válvula 3	77,82	1,02E+13	0,00	Abierto
Válvula 8	7,17	943286,80	0,00	Abierto
Válvula 11	33,37	1097683,00	0,00	Abierto
Válvula 19	37,27	5449,03	0,00	Abierto
Válvula 17	37,27	5449,03	0,00	Abierto
Válvula 22	-77,82	0,02	0,00	Abierto

Segundo caso. - En el segundo caso la válvula del primer tramo se encuentra cerrada generando así un nuevo sistema para la determinación de pérdidas.

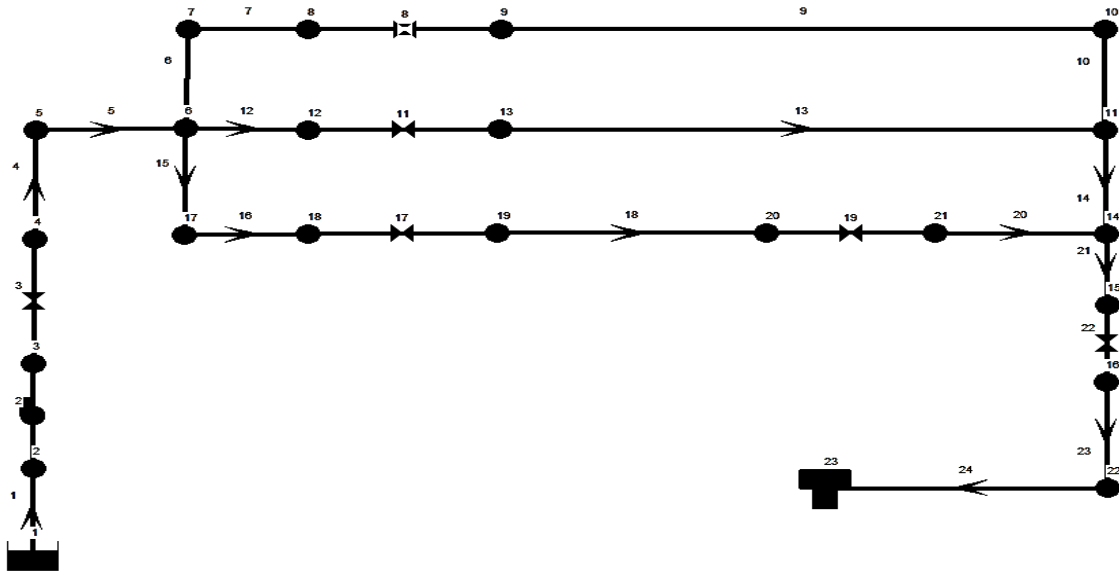


Figura 5.2. Diagrama sistémico del segundo caso.

Tabla 5.2. Resultado sistémico del segundo caso.

Tabla de Red - Líneas				
ID Línea	Caudal LPM	Velocidad m/s	Pérd. Unit. m/km	Estado
Tubería 1	77,75	2,56	397,06	Abierto
Tubería 4	77,75	2,56	901,83	Abierto
Tubería 5	77,75	2,56	2729,12	Abierto
Tubería 6	0	0	0	Abierto
Tubería 7	0	0	0	Abierto
Tubería 9	0	0	0	Abierto
Tubería 10	0	0	0	Abierto
Tubería 12	37,06	1,22	581,72	Abierto
Tubería 13	37,06	1,22	187,88	Abierto
Tubería 14	37,06	1,22	95,22	Abierto
Tubería 15	40,69	1,34	843,97	Abierto
Tubería 16	40,69	1,34	439,8	Abierto
Tubería 18	40,69	0,59	14,57	Abierto
Tubería 20	40,69	0,59	90,03	Abierto
Tubería 21	-77,75	2,56	4680,4	Abierto
Tubería 23	77,75	2,56	397,06	Abierto
Tubería 24	77,75	2,56	397,06	Abierto
Bomba 2	77,75	0	-14,04	Abierto
Válvula 3	77,75	1,02E+07	0	Abierto
Válvula 8	0	0	0	Cerrado
Válvula 11	37,06	12188,72	0	Abierto
Válvula 19	40,69	5948,93	0	Abierto
Válvula 17	40,69	5948,94	0	Abierto
Válvula 22	-77,75	0,02	0	Abierto

Tercer caso. - Solo se encuentra cerrada la válvula del segundo tramo, el primer y tercer tramo se encuentra abierto.

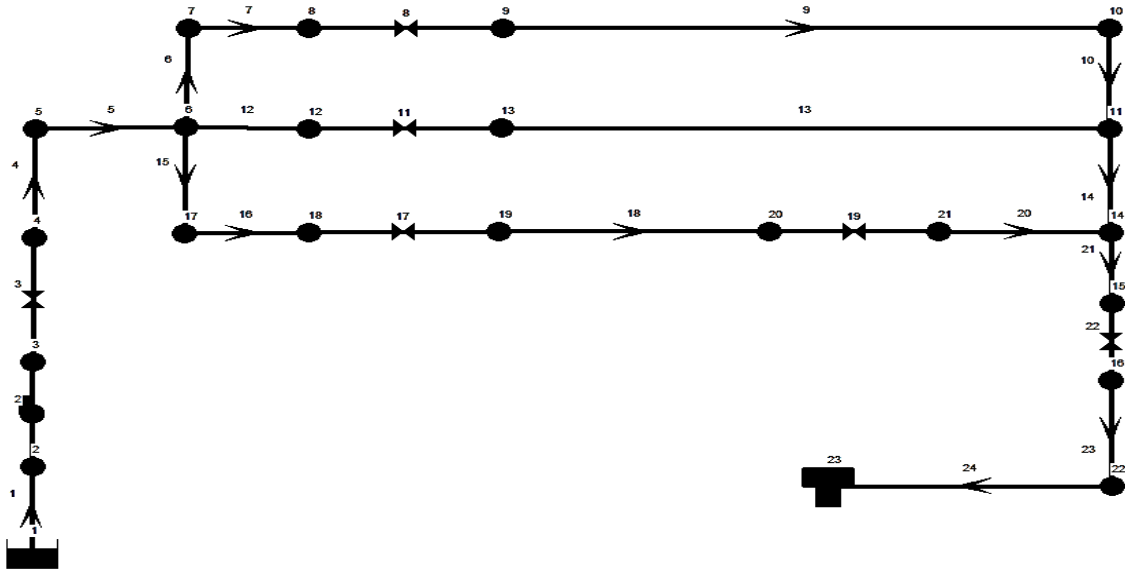


Figura 5.3. Diagrama sistémico del tercer caso.

Tabla 5.3. Resultado sistémico del Tercer caso.

Tabla de Red – Líneas				
ID Línea	Caudal LPM	Velocidad m/s	Pérd. Unit. m/km	Estado
Tubería 1	77,15	2,54	391,14	Abierto
Tubería 4	77,15	2,54	888,18	Abierto
Tubería 5	77,15	2,54	268,46	Abierto
Tubería 6	13,16	0,43	90,1	Abierto
Tubería 7	13,16	1,73	1009,96	Abierto
Tubería 9	13,16	1,73	568,28	Abierto
Tubería 10	13,16	0,43	13,72	Abierto
Tubería 12	0	0	0	Abierto
Tubería 13	0	0	0	Abierto
Tubería 14	13,16	0,43	13,72	Abierto
Tubería 15	63,99	2,1	2077,39	Abierto
Tubería 16	63,99	2,1	1078,03	Abierto
Tubería 18	63,99	0,94	34,1	Abierto
Tubería 20	63,99	0,94	220,69	Abierto
Tubería 21	-77,15	2,54	4608,84	Abierto
Tubería 23	77,15	2,54	3910,14	Abierto
Tubería 24	77,15	2,54	391,14	Abierto
Bomba 2	77,15	0	-14,67	Abierto
Válvula 3	77,15	1.02E+07	0	Abierto
Válvula 8	13,16	1731744	0	Abierto
Válvula 11	0	0	0	Cerrado
Válvula 19	63,99	9354,53	0	Abierto
Válvula 17	63,99	9354,56	0	Abierto
Válvula 22	-77,15	0,02	0	Abierto

Cuarto caso. - Para este último caso solo se considera que la válvula del tramo tres se encuentran cerrada y tenemos paso solo en las tuberías de media pulgada y una pulgada que vendrían siendo los tramos de menor dimensionamiento.



Figura 5.4. Diagrama sistémico del cuarto caso.

Tabla 5.4. Resultado sistémico del cuarto caso.

Tabla de Red – Líneas				
ID Línea	Caudal LPM	Velocidad m/s	Pérd. Unit. m/km	Estado
Tubería 1	76,95	2,53	389,13	Abierto
Tubería 4	76,95	2,53	883,53	Abierto
Tubería 5	76,95	2,53	2673,26	Abierto
Tubería 6	13,75	0,45	98,24	Abierto
Tubería 7	13,75	1,81	1100,68	Abierto
Tubería 9	13,75	1,81	618,61	Abierto
Tubería 10	13,75	0,45	14,87	Abierto
Tubería 12	63,2	2,08	1680,5	Abierto
Tubería 13	63,2	2,08	535,1	Abierto
Tubería 14	76,95	2,53	389,13	Abierto
Tubería 15	0	0	0	Abierto
Tubería 16	0	0	0	Abierto
Tubería 18	0	0	0	Abierto
Tubería 20	0	0	0	Abierto
Tubería 21	-76,95	2,53	4584,49	Abierto
Tubería 23	76,95	2,53	389,13	Abierto
Tubería 24	76,95	2,53	389,13	Abierto
Bomba 2	76,95	0	-14,89	Abierto
Válvula 3	76,95	1,01E+07	0	Abierto
Válvula 8	13,75	1809286	0	Abierto
Válvula 11	69,2	2078657	0	Abierto
Válvula 19	0	0	0	Cerrado
Válvula 17	0	0	0	Cerrado
Válvula 22	-76,95	0,02	0	Abierto

5.2. Resultados del método experimental.

Los valores presentados a continuación reflejan las magnitudes que toman los sensores de caudal y presión. Para poder generar una apreciación y poder comparar con los resultados obtenidos, se calcula analíticamente el Caudal total que no es más que la sumatoria de los tramos identificados en la malla. Así como también las pérdidas que se identifica en cada tramo.

De cada tramo se considera 4 mediciones realizadas tanto de caudal como de presión por lo que se procede a calcular la media de cada una de las variables.

Primer caso. - Para analizar el primer caso se considera que todas las válvulas del sistema se encuentran abiertas, entonces si obtiene medidas en los tres tramos.

Tabla 5.5. Medidas obtenidas del módulo para el primer caso.

Primer Caso	Variable	Unidad	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Media Aritmética
Tramo 1	ΔP	Pa	20,46	16,78	20,13	19,65	19,26
	Q	l/min	7,10	6,90	8,02	7,43	7,36
Tramo 2	ΔP	Pa	16,45	13,95	12,26	15,56	14,56
	Q	l/min	30,90	29,45	31,89	33,56	31,45
Tramo 3	ΔP	Pa	9,86	11,96	8,56	11,96	10,59
	Q	l/min	39,96	40,52	38,12	41,32	39,98
Entrada	P	Pa	158579,00	165895,00	159632,00	171129,00	163808,75
	Q	l/min	72,96	74,65	71,32	69,97	72,23
Salida	P	Pa	164789,00	156234,00	152698,00	151478,00	156299,75
	Q	l/min	77,96	76,87	78,03	82,31	78,79

Segundo caso. - En el segundo caso la válvula del primer tramo se encuentra cerrada generando así un nuevo sistema para la determinación de pérdidas.

Tabla 5.6. Medidas obtenidas del módulo para el segundo caso.

Segundo Caso	Variable	Unidad	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Media Aritmética
Tramo 2	ΔP	Pa	686,45	541,65	698,12	611,32	634,39
	Q	l/min	35,78	40,26	39,56	38,78	38,60
Tramo 3	ΔP	Pa	344,65	202,96	356,59	291,21	298,85
	Q	l/min	42,65	43,11	41,78	43,96	42,88
Entrada	P	Pa	168023,00	165632,00	172568,00	171963,00	169546,50
	Q	l/min	72,96	74,65	71,32	69,97	72,23
Salida	P	Pa	151231,00	149698,00	152874,00	150036,00	150959,75
	Q	l/min	78,43	83,37	81,34	82,74	81,47

Tercer caso. - Solo se encuentra cerrada la válvula del segundo tramo, el primer y tercer tramo se encuentra abierto.

Tabla 5.7. Medidas obtenidas del módulo para el tercer caso.

Tercer Caso	Variable	Unidad	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Media Aritmética
Tramo 1	ΔP	Pa	17236,90	17589,60	18896,50	16894,41	17654,35
	Q	l/min	12,33	13,51	12,81	11,21	12,47
Tramo 3	ΔP	Pa	10342,10	9365,45	11874,56	10852,63	10608,69
	Q	l/min	70,12	65,89	69,99	72,64	69,66
Entrada	P	Pa	179852,00	180236,00	181015,00	179984,00	180271,75
	Q	l/min	72,96	74,65	71,32	69,97	72,23
Salida	P	Pa	137258,00	132654,00	130896,00	130412,00	132805,00
	Q	l/min	82,45	79,40	82,80	83,85	82,13

Cuarto caso.- Para este último caso solo se considera que la válvula del tramo tres se encuentran cerrada y tenemos paso solo en las tuberías de media pulgada y una pulgada que vendrían siendo los tramos de menor dimensionamiento.

Tabla 5.8. Medidas obtenidas del módulo para el cuarto caso.

Cuarto Caso	Variable	Unidad	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Media Aritmética
Tramo 1	ΔP	Pa	41688,00	42963,00	42789,00	42874,00	42578,50
	Q	l/min	16,89	17,63	17,32	17,12	17,24
Tramo 2	ΔP	Pa	27321,00	25456,00	25412,00	25632,00	25955,25
	Q	l/min	55,98	54,78	55,11	55,36	55,31
Entrada	P	Pa	186158,00	191874,00	189584,00	189951,00	189391,75
	Q	l/min	72,96	74,65	71,32	69,97	72,23
Salida	P	Pa	124106,00	120450,00	123753,00	122863,00	122793,00
	Q	l/min	72,87	72,41	72,43	72,48	72,55

5.3. Análisis estadístico para validar las simulaciones de un sistema de red tipo malla.

El análisis estadístico se realiza para cada uno de los casos planteados mediante tablas para una mejor interpretación de resultados. En la columna de método sistémico y experimental se considera las medidas obtenidas por su distintiva herramienta (Software y sensores) antes ya mencionadas en tablas del literal **5.1; 5.2**

Tabla 5.9. Análisis estadístico del primer caso.

Primer caso	Variable	Unidad	Método Sistémico	Método Experimental	Error Absoluto	Error Relativo	Error Porcentual
Tramo 1	ΔP	Pa	18,56	19,26	0,70	0,036	3,61
	Q	l/min	7,17	7,36	0,19	0,026	2,61
Tramo 2	ΔP	Pa	15,32	14,56	0,77	0,053	5,26
	Q	l/min	32,37	31,45	0,92	0,029	2,93
Tramo 3	ΔP	Pa	9,65	10,59	0,94	0,088	8,83
	Q	l/min	37,69	39,98	2,29	0,057	5,73
Entrada	P	Pa	165874,00	163808,75	2065,25	0,013	1,26
	Q	l/min	77,82	72,23	5,60	0,077	7,75
Salida	P	Pa	155332,00	156299,75	967,75	0,006	0,62
	Q	l/min	77,82	78,79	0,97	0,012	1,23
Error total del primer caso:							3,98

Tabla 5.10. Análisis estadístico del Segundo caso.

Segundo caso	Variable	Unidad	Método Sistémico	Método Experimental	Error Absoluto	Error Relativo	Error Porcentual
Tramo 2	ΔP	Pa	623,95	634,39	10,43	0,016	1,64
	Q	l/min	37,06	38,60	1,54	0,040	3,98
Tramo 3	ΔP	Pa	250,61	298,85	48,24	0,161	16,14
	Q	l/min	40,69	42,88	2,19	0,051	5,10
Entrada	P	Pa	169402,10	169546,50	144,40	0,001	0,09
	Q	l/min	77,75	72,23	5,53	0,076	7,65
Salida	P	Pa	155874,32	150959,75	4914,57	0,033	3,26
	Q	l/min	77,75	81,47	3,72	0,046	4,57
Error total del segundo caso:							5,30

Tabla 5.11. Análisis estadístico del tercer caso.

Tercer caso	Variable	Unidad	Método Sistémico	Método Experimental	Error Absoluto	Error Relativo	Error Porcentual
Tramo 1	ΔP	Pa	18541,54	17654,35	887,19	0,050	5,03
	Q	l/min	13,16	12,47	0,70	0,056	5,58
Tramo 3	ΔP	Pa	9541,45	10608,69	1067,24	0,101	10,06
	Q	l/min	63,99	69,66	5,67	0,081	8,14
Entrada	P	Pa	177605,96	180271,75	2665,79	0,015	1,48
	Q	l/min	77,15	72,23	4,93	0,068	6,82
Salida	P	Pa	130904,95	132805,00	1900,05	0,014	1,43
	Q	l/min	77,15	82,13	4,97	0,061	6,06
Error total del tercer caso:							5,57

Tabla 5.12. Análisis estadístico del cuarto caso.

Cuarto caso	Variable	Unidad	Método Sistémico	Método Experimental	Error Absoluto	Error Relativo	Error Porcentual
Tramo 1	ΔP	Pa	41652,45	42578,50	926,05	0,022	2,17
	Q	l/min	13,75	17,24	3,49	0,202	20,24
Tramo 2	ΔP	Pa	22236,41	25955,25	3718,84	0,143	14,33
	Q	l/min	63,20	55,31	7,89	0,143	14,27
Entrada	P	Pa	185325,25	189391,75	4066,50	0,021	2,15
	Q	l/min	76,95	72,23	4,73	0,065	6,54
Salida	P	Pa	122695,36	122793,00	97,64	0,001	0,08
	Q	l/min	76,95	72,55	4,40	0,061	6,07
Error total del cuarto caso:							8,23

Interpretación: En los casos planteados se puede observar que el comportamiento del fluido es similar, se puede decir que el caudal inicial es igual a la sumatoria del caudal en cada tramo, si es una malla cerrada se interpreta que el caudal de entrada es igual al caudal de salida, también se agrega el dato que a mayor diámetro mayor caudal se tiene en el conducto.

La presión de entrada es mayor que la presión de salida debido a que en cada tramo dependiendo su configuración de válvulas si se genera pérdidas, por lo cual se interpreta que el caudal final más las pérdidas del sistema es igual a la presión inicial. Se debe tener en cuenta que entre menor sea el diámetro más pérdidas de presión se van a generar.

La NFPA menciona que el porcentaje de error no puede exceder el 15 % en un sistema, en los cálculos realizados para cada caso se evidencia que el error no supera esta magnitud en su mayoría, pero si existe casos donde se observa que sobrepasa esto se debe a factores que no se considera en el diseño del sistema experimental a su vez que en el Software hay algunos valores que se desprecia como el número de Reynolds o el sistema asume como valores ideales.

6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTO

6.1. Análisis de costos

Mediante este proceso se analiza los recursos y cantidades necesarias consideradas en el desarrollo del diseño de un módulo experimental para la validación de redes tipo malla con flujo de agua. A continuación se describe detalladamente los costos de materiales, costos directos e indirectos del proyecto.

6.1.1. Costos de materiales

Se detalla el costo de los materiales en función a los documentos emitidos (facturas) como respaldo de la compra, para el diseño del sistema experimental en el cual se divide en dos subtemas que son; sistema hidráulico, sistema de medición y sistema eléctrico.

Tabla 6.1. Presupuesto de materiales para el diseño del sistema experimental.

Cantidad	Elementos	Precio Unitario (\$)	Costo (\$)
Sistema Hidráulico			
1	Tubería de 1 pulgada	8,00	8,0
1	Tubería de 1/2 pulgada	3,00	3,0
1	Bomba periférica de 1 Hp	65,00	65,0
5	Uniones para tubería de 1 1/2 pulgadas	2,00	10,0
10	Teflón	0,50	5,0
8	Reducciones de 1/2 a 1/4	0,60	4,8
1	Puntura para sistema	10,00	10,0
1	Válvula tipo globo	15,00	15,0
Sistema de medición			
3	Sensor de presión diferencial	150,00	450,00
1	Sensor de presión puntual	60,00	60,00
6	Manómetros	5,00	30,00
10	Manguera hidráulica (metros)	2,00	20,00
12	Acoples par manguera	2,00	24,00
6	T de acero galvanizado	1,80	10,80
6	Neplo corrido	1,00	6,00
8	Collarines	2,30	18,40
12	Abrazaderas para manguera hidráulica	0,50	6,00
Sistema Eléctrico			
1	Gabinete 30x40	39,00	39,00
9	Etiquetas para cable	2,00	18,00
10	Cable N° 18 (metros)	0,20	2,00
1	Canaleta	4,00	4,00
1	Riel Din	3,00	3,00
1	Prensa estopa	1,00	1,00
2	Taype	1,80	3,60
5	Borneras Phoenix contact	1,80	9,00
100	Terminales para cable	0,07	7,00
50	Borneras hembra	0,50	25,00
50	Plug Bananas	0,25	12,50
10	Tornillos	0,09	0,90
10	Pernos	0,30	3,00
Total			\$874,00

6.1.2. Costo de las horas de ingeniería en diseño

Para el diseño de un sistema experimental para la validación de simulaciones en redes tipo malla con flujo de agua, se ha considerado el tiempo que conlleva este proceso. Para determinar el costo de la hora de trabajo se toma como base el salario básico en el Ecuador en la actualidad (año 2021) es de \$425 (cuatrocientos veinticinco dólares) y de acuerdo con lo que dictamina la

ley laboral, donde hace mención que durante la semana deben cumplirse 40 horas laborables que representa 8 horas diarias y a su vez 160 horas al mes y se hace el siguiente calculo.

Costo de la hora de trabajo de un ingeniero:

$$\text{Costo de la hora} = \frac{\text{Salario Basico}}{\text{Horas al mes}} \quad (4.18)$$

$$\text{Costo de la hora} = \frac{\$600}{160 h} = \$3,75 \text{ la hora}$$

Tabla 6.2. Costo de diseño por ingeniería.

Descripción	# horas	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
Diseño sistema hidráulico	80	3,75	300,00
Diseño sistema de medición	60	3,75	225,00
Programación	40	3,75	150,00
Simulación	50	3,75	187,50
Correcciones	120	3,75	450,00
Total			\$ 1312,50

6.1.3. Costos directos e indirectos.

Los costos directos son todos aquellos que intervienen directamente con la elaboración del producto o servicio. Como la mano de obra y materia prima, este valor es el que afecta al precio de venta o servicio entre más costos directos se obtenga mayor será el precio de venta.

Tabla 6.3. Costos directos.

Descripción	Valor
Costos de materiales	\$ 874,00
Costo de horas por ingeniería	\$ 1312,50
Total	\$ 2186,50

Los costos indirectos son los que afectan al proceso de producción, este valor no se le puede agregar directamente al producto.

Tabla 6.4. Costos indirectos.

Descripción	Valor
Gastos operativos (Impresiones)	\$ 60,00
Ingeniería en detalle e investigación.	\$ 30,00
Otros	\$ 40,00
Total	\$ 130,00

6.1.4. Costo total.

El costo total es la suma de los costos que intervienen de forma directa e indirecta en el proceso de producción. Con este valor se puede obtener un análisis de VAN y TIR para determinar el estado en que se encuentra el proyecto y poder realizar una proyección para 5 años.

Tabla 6.4. Presupuesto.

Rubro	Valor
Costos directos	\$ 2186,50
Costos indirectos	\$ 130,00
Presupuesto	\$ 2316,50

6.2. Análisis de impacto.

El sistema experimental para la validación de simulaciones de redes tipo malla con flujo de agua es un sistema innovador, ya que el estudio de una malla es muy poco común por lo que se tiene una alta posibilidad de desarrollo. Una práctica para el análisis de un sistema mallado se encuentra alrededor de los 250 dólares, debido a que en estas prácticas se utilizan sensores de caudal y presión que son los más costos en el mercado. [27]

6.2.1. Impacto económico.

Tabla 6.5. Proyección a 5 años.

	1er año	2do. Año	3ero. Año	4to. Año	5to. Año
Numero de practicas	10	20	30	40	50
TOTAL (\$)	2500	5000	7500	10000	12500

Tabla 6.6. Flujo de caja a 5 años.

	1er año	2do. Año	3ero. Año	4to. Año	5to. Año
Costo de pruebas	2500	5000	7500	10000	12500
Probetas	560	650	790	840	920
Materiales de laboratorio	1000	1100	1200	1330	1450
TOTAL DE COSTO	1560	1750	1990	2170	2370
MARGEN BRUTO	-60	2150	4310	6500	8680
Transporte	1000	1200	1400	1600	1800
TOTAL DE GASTO GENERALES	1000	1100	1200	1330	1450
MARGEN NETO	-1060	950	2910	4900	6880

Para obtener la proyección para 5 años se asume el valor de ingresos y egresos a través del flujo anual para el proyecto presentado el mismo que da como resultado un valor actual neto (VAN) de \$5,963.02 y una tasa interna de retorno (TIR) de 58%. Con estos resultados se interpreta que el proyecto genera beneficios económicos y una buena rentabilidad, tratándose de un proyecto para la universidad técnica de Cotopaxi este beneficio económico representaría un ahorro para la institución.

6.2.2. Impacto tecnológico.

La comunidad universitaria en especial la carrera de Ingeniería Electromecánica tendrán el conocimiento de nuevas tecnologías desarrolladas mediante el aporte de este proyecto, uno de los elementos más destacados son sus sensores que se catalogan entre los más costos y con tecnología desarrollada. El afán de aprovechar esta herramienta experimental en procesos hidráulicos generando una relación de conocimiento en el área de la ingeniería, permitiendo así validar simulaciones de redes tipo malla con flujo de agua un sistema escaso y poco común en el país.

7. CONCLUSIONES

- El método estadístico si responde a las inquietudes que se genera sobre la baja precisión que se obtiene en el proceso de cálculos en una red tipo malla, mediante la determinación de los errores como absoluto, relativo y porcentual. Para una mejor interpretación de los resultados obtenidos del método sistémico y experimental.
- De acuerdo a la simulación mediante una herramienta computacional (Epanet) se concluye que la magnitud del caudal se divide en cada tramo y la sumatoria de todos los tramos da como resultado el caudal inicial del sistema. En la presión se analiza que dependiendo el diámetro del conducto se genera pérdidas, entonces la presión inicial va a ser mayor que la presión final. A este dato se agrega que la presión final si se le suma las pérdidas se obtiene un valor aproximado a la presión inicial.
- El margen de error que se obtiene entre los cálculos realizados por los dos sistemas se considera bueno debido a que la NFPA (contra incendios) menciona que este error no puede exceder del 15%. En el presente análisis de resultados evidencian que existen valores que sobrepasan lo plateado por la normativa, esto puede suceder por la apreciación de los sensores o parámetros que no se considera en el diseño del método experimental.

- La validación del proceso de cálculos en una red tipo malla por un método estadístico genera resultados eficientes con fácil nivel de interpretación entre los dos métodos, el cálculo de los errores permite visualizar el porcentaje de error que genera los mismos. Haciendo así un enfoque en los puntos donde el error tiene mayor magnitud para hacer un análisis de cuáles son los factores que producen esta alza. Ya que si no se corrigen los sistemas hidráulicos podrían no cumplir con sus necesidades.

8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar mantenimiento semestral al módulo didáctico para preservar la vida útil de los elementos del sistema. El agua es un elemento muy corrosivo por lo que es necesario realizar cambios permanentes para disminuir este fenómeno así prolongaremos la vida nominal de los sensores de presión y caudal.
- Para adquirir más conocimientos en redes tipo malla se recomienda aumentar ramificaciones en el sistema para poder realizar un análisis profundo del comportamiento del agua, esto conlleva a instalar más sensores en el módulo para poder registrar todo el comportamiento del fluido.
- Las válvulas tipo globo permiten un mejor control del fluido por lo que se recomienda reemplazarlas por las válvulas tipo bola que se encuentran en el sistema. Con este cambio se puede tener más control del fluido para un mejor análisis.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] I. UNESCO, Field of Education and training, Quebec: ISCED-F 2, 2013.
- [2] H. RODRIGUEZ, Diseños hidráulicos sanitarios y de gas en edificios, Mexico, 2005.
- [3] C. Mataix, Mecánica de fluidos, 1986.
- [4] G. ROJAS, MECANICA DE FLUIDOS E HIDRAULICA, MEXICO: MC GRAW - HILL, 1988.
- [5] Y. R. M. H. L. A. A GILBERT HERNANDEZ, PROCEDIMIENTO PARA LA SELECCION DEL ESPESOR OPTIMO ECONOMICO DE AISLAMIENTO TERMICO EN TUBERIAS CON TRAZAS DE VAPOR, MINERIA Y GEOLOGIA 32, 2016.
- [6] Y. G. C. B LEYVA DE LA CRUZ, CARACTERIZACION REOLOGICA DE UN LODO QUE SE GENERA EN EL LAVADO DE ARIDO, 2016.

- [7] Y. D. D. H Laurencio Alfonso, Propiedades reológicas de emulsiones de petróleo pesado en agua, Revista Chilena de Ingeniería, 2008.
- [8] H. L. HERNANDEZ, MODELO DE LA VISCOCIDAD APARENTE DE UN PETROLEO CRUDO DE 11° API CON COMPORTAMIENTO NO NEWTONIANO, REVISTA CHILENA DE INGENIERIA, 2017.
- [9] I. J, MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, MADRID: INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 1996.
- [10] Y. d. B. H Laurencio Alfonso, Influencia de la temperatura en las propiedades reológicas de la emulsión de petróleo pesado., Minería y Geología 24, 2008.
- [11] T. P, FISICA MOLECULAR, BARCELONA: REVERTE , 1992.
- [12] H. L. A. A GILBERT HERNANDEZ, SELECCION DEL ESPESOR DE AISLAMIENTO TERMICO PARA TUBERIAS DE PETROLEO CON TRAZA DE VAPOR, MINERIA Y GEOLOGIA 30, 2014.
- [13] R. MOTT, Mecánica de fluidos aplicada., 1996.
- [14] F. M. WHITE, Mecánica de Fluidos, México: MC GRAW-HILL, 1983.
- [15] J. F. H. H Laurencio Alfonso, Modelo para cálculo de pérdidas de presión en tuberías conductoras de petróleo pesado., Minería y Geología 28(3), 2012.
- [16] RABINOVICH, HIDRAULICA, MOSCU: ED RUDIA-URSS, 1998.
- [17] I. H. SHAMES, Mecánica de fluidos, ED DEL CASTILLO, 1970.
- [18] V. Y. STREETER, Mecánica de fluidos e hidráulica, México: MCGRAW - HILL, 1998.
- [19] G. D. POSADA, Hidráulica del medio, Madrid: ED POR EL AUTOR, 1992.
- [20] M. M. García, Herramientas computaciones, Escuela Superior Tlahuelilpan, 2014.
- [21] H. E. T. F. Manuel A, Model of pressure losses in pipes during the transport of heavy oil with 11 API gravity, INTERNATIONAL JOURNAL OF MECHANICS, 2018.
- [22] LANDAU, MECANICA Y FISICA MOLECULAR, MOSCO: ED MIR, 1979.
- [23] H. L. Alfonso, Método para la determinación de parametros reacionales de transporte por tuberías de combustible cubano crudo mejorado 650, MOA: INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO DE MOA, 2012.
- [24] H. J. Q. DP Gualancañay Miñarcaja, Diseño de un sistema de bombeo para un almacenamiento de agua de riego en los sectores de Chan chico y Tiobamba de la parroquia Eloy Alfaro., LATACUNGA: POR LOS AUTORES, 2017.

- [25] H. L. Hernández, Procedimiento para prácticas de laboratorio de la asignatura de mecánica de fluidos, 2015.
- [26] MARSHALL, DISEÑO DE MALLAS, CAMBRIDGE: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRES, 1988.
- [27] I. E. -. G. e. I. L. Francisco F. López - Ruiz, Prácticas de Mecánica de Fluidos, Cádiz: Departamento de Física Aplicada., 2006.

10.ANEXOS

Anexo I.

Metodología Cualitativa

La metodología cualitativa caracterizada por su enfoque interpretativo tiene como principal función analizar objetos o materiales, basándose en conocimientos, experiencia, contextos que muchas veces, no se tiene control. Generando mayor eficacia en la selección de materiales, equipos, herramientas, entre otros.

El uso de tablas genera facilidad mediante una valoración numérica y parámetros que califican entorno a su actividad y función, para poder seleccionar la mejor opción para proyecto considerando también la relación costo beneficio.

En la primera Fila se plantea cada una de las opciones que se desea analizar, estas pueden ser (equipos, materiales, herramientas, entre otros). En la primera columna se enlista los indicadores de comportamiento que condicionan al objeto para su valoración. El número de filas y columnas se establece según el criterio del investigador.

Tabla 0.1 Matriz de decisión

	Opción A	Opción A	Opción A	Opción A
Indicador 1				
Indicador 2				
Total				

En el proceso de valoración, se establece un rango de 0 – 20 que condiciona la aplicabilidad del objeto en el proyecto, a continuación, la clasificación de los rangos.

Tabla 0.2 Rangos de valoración

Clasificación	Condición	Puntaje
Muy baja	No es aplicable al proyecto	5
Baja	Posee grandes falencias, solo se toma en cuenta en casos especiales	10
Media	Posee algunas anomalías, sin embargo, es aplicable al proyecto	15
Alta	Aplica al proyecto	20

La tabla establecida por la metodología cualitativa es aplicable principalmente para sistemas donde se desarrolle un diseño, ya que se puede analizar varios factores para mejorar la toma de decisiones.

Tabla IV.1. Estimaciones para la selección del tipo de tubería.

Selección del tipo de tubería.

Las tuberías consideradas para el módulo experimental son plásticas, de acero galvanizado y de cobre. Los parámetros para evaluar son las pérdidas de fricción que genera por el tipo de material, la disponibilidad en el mercado, la vida útil que tiene el material y el costo que tiene.

Tabla IV.2. Estimaciones para la selección de manómetros para las tuberías.

Selección de manómetros para las tuberías

Los manómetros considerados para el análisis son de glicerina, comerciales y digitales. Los parámetros evaluadores son: la precisión al momento de realizar las medidas, la facilidad para adaptar a los sistemas hidráulicos, la disponibilidad en el mercado, la vida nominal del dispositivo y el costo que tiene para adquirirlo.

Tabla IV.3. Estimaciones para la selección de válvulas.

Selección de válvulas

Las válvulas tienen muchas funcionalidades por ende aplicaciones las consideradas con las que se pueden aplicar al sistema hidráulico, válvula globo, válvula esfera, y válvula mariposa. Los parámetros calificadores están establecidos mediante su función, fácil adaptabilidad, la disponibilidad en el mercado, la carrera de sus manijas, la fuerza que soportan y el costo de adquisición.

Metodología Cuantitativa

La investigación cuantitativa es un método de investigación que utiliza herramientas de análisis matemático y estadístico para describir, explicar y predecir fenómenos mediante datos numéricos.

Tabla IV.4. Estimaciones para la selección de la bomba

Selección de la bomba

En el mercado existen varias bombas de agua con especificaciones que varían, esto depende del tipo que se haya escogido como pueden ser bombas centrifugas, rotatorias, reciprocas, periféricas, entre otras, para la selección de esta se aplicó una metodología cuantitativa en la cual consistía en la recolección de datos por parte de la placa de información de la bomba para

posteriormente realizar un cálculo mediante las diferentes ecuaciones planteadas ya que el sistema requiera cumplir una velocidad mínima por las tuberías.

Tabla IV.5. Estimaciones para la selección de sensores de presión.

Selección de sensores de presión.

Los sensores de presión tomados a consideración son los de presión absoluta o denominados también puntuales, los sensores de presión relativa o sensores atmosféricos y por último los sensores diferenciales. Los parámetros para calificación son la función, el rango de mediada, el punto referencial de mediad, la disponibilidad en el mercado, complejidad del proceso de instalación y el costo que tiene.



UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE
COTOPAXI

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA
INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA



Ingeniería
Electromecánica

Anexo II.

Guía práctica.

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

ELABORADO POR: Docente	REVISADO POR: Laboratorista	APROBADO POR: Director de carrera
	Ing. Jorge Villaroel	Ing. Cristian Gallardo
Fecha:	Fecha: 07/03/2022	Fecha: 07/03/2022
Firma:	Firma:	Firma:

CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA	IELM605M2	Mecánica de fluidos

PRÁCTICA N°	LABORATORIO:	Mecánica de Fluidos	DURACIÓN (HORAS)
01	NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	VALIDACIÓN DE REDES TIPO MALLA CON FLUJO DE AGUA	2

1	OBJETIVO
	<ul style="list-style-type: none"> • Analizar los parámetros que intervienen en el proceso para la determinación de las pérdidas de presión en un sistema tipo malla con flujo de agua. • Realizar mediante un software la simulación de una red tipo malla para determinar las pérdidas de presión. • Calcular las pérdidas de presión que genera un sistema experimental bajo las mismas condiciones ingresadas en la simulación de red tipo malla. • Validar mediante un método estadístico los resultados obtenidos entre la simulación y el método experimental para determinar la precisión de los cálculos.

2	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
	<p>2.1. INTRODUCCIÓN</p> <p>Redes tipo malla</p> <p>Un sistema tipo malla comprende un conjunto interconectado de componentes individuales que tienen como función transportar fluido en este caso agua. Este sistema se usa para controlar las variables como el flujo del líquido y la presión que ejerce el fluido en el conducto. Con este conocimiento el análisis para el diseño tiene partida con los cálculos de las necesidades de la malla, con el fin de conocer el comportamiento del agua y su forma de consumir, para su posterior levantamiento de planos e implementación.</p> <p>En la presente práctica se va a realizar la siguiente malla:</p>

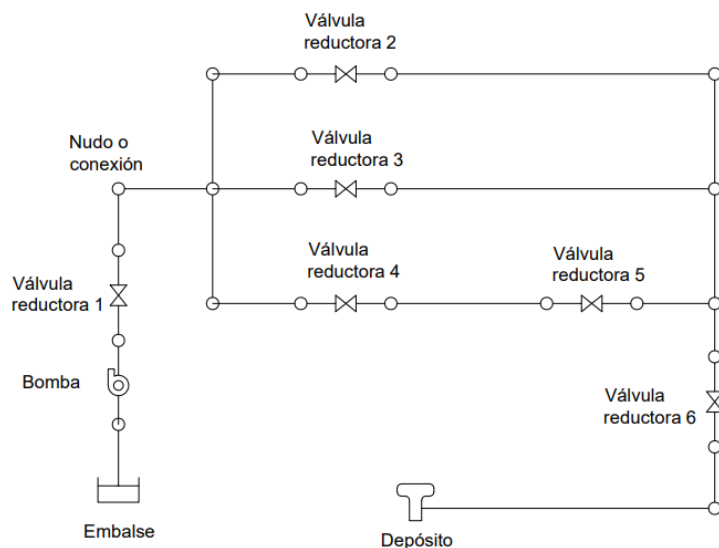


Figura 1: Red tipo malla.

Figura. 1: En esta figura se evidencia la red tipo malla a realizarse en la presente práctica.

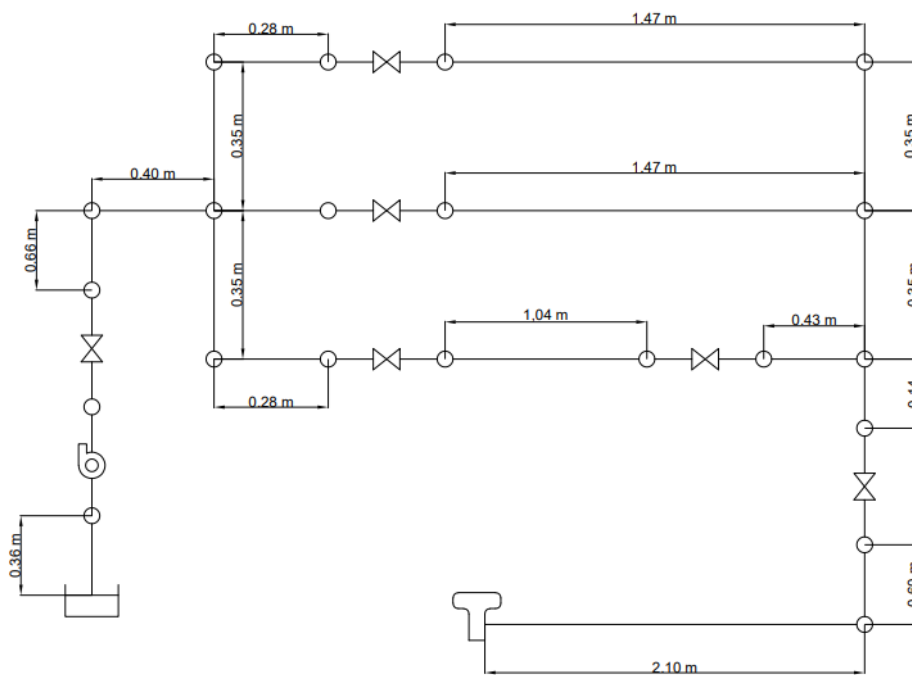


Figura 2: Longitud de las tuberías

Figura. 2: En esta figura se evidencia la longitud de las tuberías que contiene la red tipo malla.

Tutorial de manejo del software “Epanet”

Paso 1: Encienda la computadora

Paso 2: Dar doble clic sobre sobre el icono de “Epanet2w”

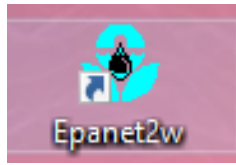


Figura 3: Software “Epanet2w”

Figura. 3: En esta figura se evidencia el icono de acceso directo del software a utilizar.

Paso 3: Una vez abierto el software dar clic en la sobre la pestaña; “**Proyecto/Valores**” por defecto, aparecerá una ventana en la cual se debe dar clic sobre; “**Opciones hidráulicas**” y en la opción de “**unidades de caudal**” elegir litros por minuto (**LPM**), posteriormente dar clic en “**Aceptar**”.

Nota: Las demás opciones no deben ser editadas o cambiadas.

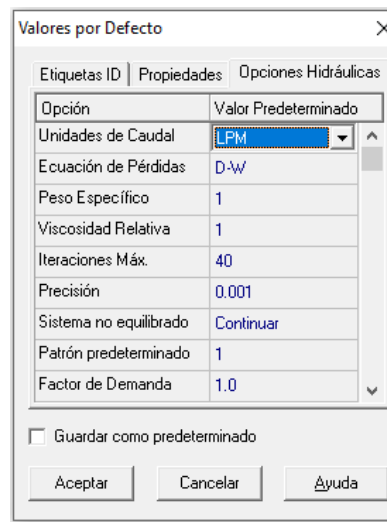


Figura 4: Unidades y opciones hidráulicas

Figura. 4: En esta figura se evidencia los distintos parámetros hidráulicos a seleccionar que nos proporciona el software

Paso 4: Dar clic en la pestaña; “**Ver/opciones de plano**”, aparecerá una ventana en la cual se recomienda editar el tamaño de nudos y líneas a un valor de 6, en la opción de “**etiquetas**” es importante marcar “**Mostrar ID Nudos**” y “**Mostrar ID líneas**” con un valor del tamaño de fuente de 16, por último, en la opción “**Flechas de Caudal**” seleccionar el estilo de flecha “**Decorativa**” y editar el tamaño a un valor de 15, posteriormente dar clic en “**Aceptar**”.

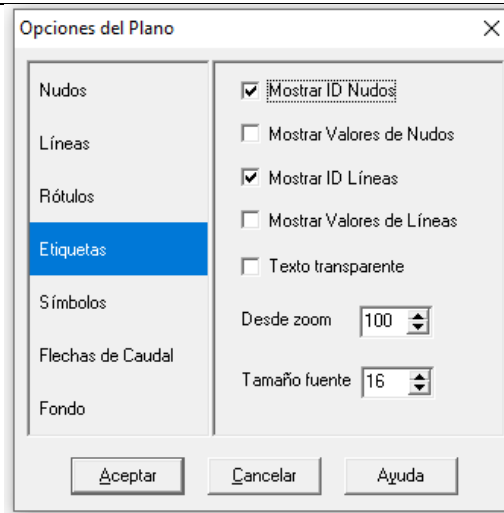



Figura. 5: Opciones de plano

Figura. 5: En esta figura se evidencia las distintas opciones de plano como puede ser tamaño de la conexión o línea, fechas del caudal, color de fondo, etiquetas.


Componentes y accesorios del sistema:



- **Embalse o reservorio;**  es el encargado de suministrar el flujo constante de agua a la red a lo largo de la simulación.


Paso 5: En la barra de herramientas dar un clic sobre el símbolo de “**embalse**” y ubicarlo en el plano de la red o área de trabajo.



- **Conexiones o nudo;**  por medio de este elemento se realizan conexiones de dos o más tuberías, también funciona para describir extracciones o inyección de agua en la red, si el nudo es utilizado como accesorio para la conexión de varias tuberías la demanda base es igual a cero.

Paso 6: En la barra de herramientas dar clic sobre el símbolo de “**conexión**” y ubicarlo en la parte superior del embalse a una distancia considerable en el plano de la red o área de trabajo.




- **Tuberías;**  es un elemento importante en una red hidráulica ya que es el encargado de transportar el fluido por todo el sistema de distribución de agua, la dirección del fluido se rige por el principio de gradiente hidráulico de mayor a menor energía.

Paso 7: En la barra de herramientas dar clic sobre el símbolo de “**Tubería**” y seleccionar desde el “**embalse**” hasta la primera “**conexión**” como se visualiza en la figura 6.



Figura. 6: Desarrollo de la red tipo malla.

Figura. 6: En esta figura se evidencia el desarrollo de la red tipo malla

Bombas;  son elementos físicos para suministrar energía al fluido con el fin de desplazar desde un punto hacia otro, con lo cual se vencen las pérdidas de energía presentes en el circuito.

Paso 8: Añadir otra conexión a una distancia considerable y en la barra de herramientas dar clic sobre el componente “**Bomba**”, colocarlo en el plano de red desde la “**conexión 2**” hasta la “**conexión 3**”, adicionalmente en la pestaña; “**Visor/datos**” desplegar la barra de opciones y elegir “**curvas**” dar clic sobre “**Añadir**” y se desplegará una pantalla en la cual se debe colocar el caudal y altura de la bomba, así como una descripción y un nombre en “**ID curva**”, como se muestra en la figura 7.

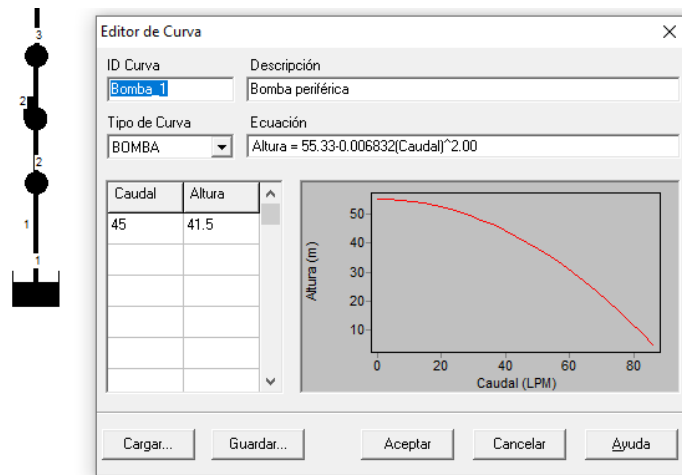



Figura. 7: Curva característica de la bomba.

Figura. 7: En esta figura se evidencia el desarrollo del paso 8.

Nota: Los valores de caudal y altura se pueden obtener en la placa de especificaciones de la bomba.

Paso 9: Una vez realizado el paso 8, se debe seleccionar en la barra de herramientas la opción “**Seleccionar objeto**” y dar clic sobre la componente “**Bomba**” para desplegar la ventana de propiedades y en el parámetro curva característica coloque el mismo nombre que se colocó en el “**ID Curva**”

Válvulas;  son componentes que controlan el caudal o flujo dentro de un tramo de tubería, todas las válvulas que existen en “Epanet” realizan algún tipo de control, ya sea con relación al caudal o la presión que circula sobre la misma.

Paso 10: Añadir otra conexión a una distancia considerable y en la barra de herramientas dar clic sobre el componente “**Válvula**” colocarlo en el plano de red desde la “**conexión 3**” hasta la “**conexión 4**”, adicionalmente seleccionar en la barra de herramientas la opción “**Seleccionar objeto**” y dar doble clic sobre el componente y en la ventana de “**propiedades**” seleccionar el tipo de válvula en este caso será una “**reductora**” como se muestra en la figura 8.

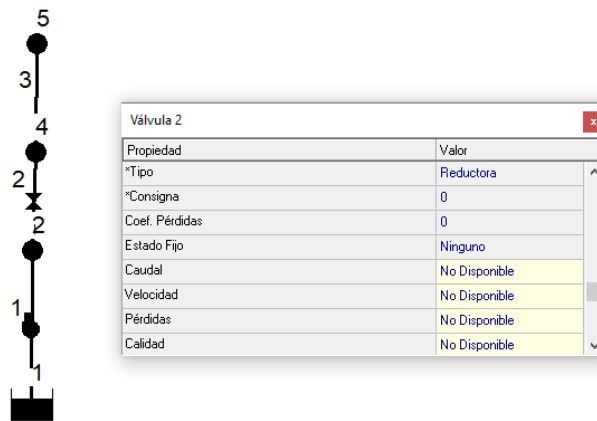



Figura. 8: Características de las válvulas en Epanet

Figura. 8: En esta figura se evidencia las propiedades a configurar en el componente válvulas.

- **Deposito;**  son elementos que suministran el fluido a la red que se está estudiando, dependen de una fuente de suministro la cual puede ser un reservorio utilizando la gravedad o una bomba que utiliza la presión.

Paso 11: Una vez que se haya familiarizado con el software y conozca cada uno de los componentes y accesorios del sistema puede desarrollar la red tipo malla de la figura 1, siguiendo cada uno de los pasos anteriormente mencionados, de manera que el resultado sea igual a la figura 9.

Nota: Las líneas de conexión o válvulas siempre van desde la conexión inferior a la superior, por ejemplo, al colocar la tubería 4, se debe dar clic desde la conexión 4 a la conexión 5 y así sucesivamente.

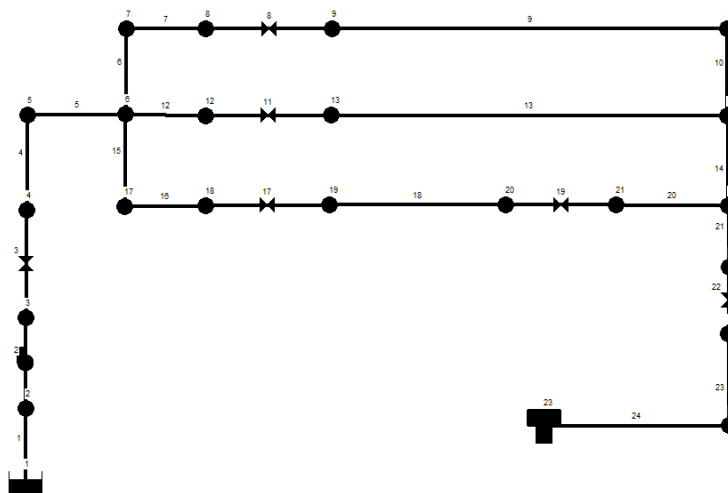


Figura. 9: Red tipo malla en “Epanet”

Figura. 9: En esta figura se evidencia el sistema de red tipo malla realizado en “Epanet”.

Paso 12: Luego de terminar con el sistema de red tipo malla es importante suministrar los valores de nudos de red y líneas de red que se proporcionará en las siguientes tablas, es conveniente que el valor que se vaya a ingresar se lo trabaje con punto y no con una coma ya que, al trabajar con la coma, el software notificará que se está produciendo un error al momento de iniciar el análisis.

Paso 13: Para suministrar los valores en cada una de las conexiones, en la barra de herramientas se debe elegir la opción “**Seleccionar objeto**” y dar doble clic sobre la conexión que se quiera editar el valor de cota.

Para valores de nudos en la red se considera únicamente la cota:

Tabla de red-Nudos	
ID Nudo	Cota (m)
Conexión 2	0
Conexión 3	0
Conexión 4	0
Conexión 5	1.26
Conexión 6	1.47
Conexión 7	1.82
Conexión 8	0
Conexión 9	0
Conexión 10	1.82
Conexión 11	1.47
Conexión 12	0
Conexión 13	0
Conexión 14	1.12
Conexión 15	0.98
Conexión 16	0.98
Conexión 17	1.12
Conexión 18	0
Conexión 19	0
Conexión 20	0
Conexión 21	0
Conexión 22	0.38
Embalse 1	0.50
Depósito 23	0.50

Tabla. 1: Tabla de red-Nudos.


Paso 14: Para suministrar los valores en cada una de las tuberías y válvulas, en la barra de herramientas se debe elegir la opción “**Seleccionar objeto**” y dar doble clic sobre la tubería o válvula a la cual se le quiera asignar el valor de longitud, diámetro y coeficiente de pérdidas, el significado de las siglas “ND” quiere decir que valor no está disponible.

Para valores de líneas en la red se considera; la longitud, diámetro, coeficiente de perdidas:


Tabla de red- líneas			
ID Línea	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Coef. Pérdidas
Tubería 1	0.38	25.4	0
Tubería 4	0.66	25.4	1
Tubería 5	0.40	25.4	2.8
Tubería 6	0.35	25.4	2.8
Tubería 7	0.28	12.7	1
Tubería 9	1.47	12.7	1
Tubería 10	0.35	25.4	2.8
Tubería 12	0.28	25.4	1.8
Tubería 13	1.47	25.4	1.8
Tubería 14	0.35	25.4	2.8
Tubería 15	0.35	25.4	2.8
Tubería 16	0.28	25.4	1
Tubería 18	1.04	38.1	0
Tubería 20	0.43	38.1	1.8
Tubería 21	0.14	25.4	1.8
Tubería 23	0.60	25.4	1
Tubería 24	2.10	25.4	1
Bomba 2	ND	ND	ND
Válvula 3	ND	25.4	0
Válvula 8	ND	12.7	0
Válvula 11	ND	25.4	0
Válvula 19	ND	38.1	0
Válvula 17	ND	38.1	0
Válvula 22	ND	25.4	0

Tabla. 2: Tabla de red-Líneas.

Paso 15: Una vez haya cumplido con todos los pasos anteriores, se debe ir hasta la barra de herramientas y

dar clic en la opción **“iniciar análisis”**  si se realizó la simulación de manera correcta se mostrará el siguiente mensaje **“La simulación se produjo con éxito”** y se podrá visualizar la dirección del fluido y los datos de caudal y presión, de esta manera se puede realizar los casos propuestos.

Paso 16: Para mostrar los valores de altura y presión en cada una de las conexiones del sistema se debe

desplazar hasta la barra de herramientas y dar clic en la opción **“Tablas”**  aparecerá una ventana con el nombre **“selección de ventana”**, seleccionar **“Nudos de la red”** y dar clic en **“Aceptar”** se desplegará una pantalla con la información de altura y presión en cada una de las conexiones de manera que pueda recopilar los mismos en las tablas requeridas con los diferentes casos propuestos.

Paso 17: Para mostrar los valores de caudal en cada una de las líneas o tuberías del sistema se debe desplazar

hasta la barra de herramientas y dar clic en la opción **“Tablas”**  aparecerá una ventana con el nombre

“selección de ventana”, seleccionar “Líneas de la red” y dar clic en “Aceptar” se desplegará una pantalla con la información de caudal, velocidad, perdidas unitarias, factor de fricción, entre otros en cada una de las líneas o tuberías de manera que pueda recopilar los mismos en las tablas requeridas con los diferentes casos propuestos.

Casos propuestos

Caso 1.

- Realice la simulación en el software “Epanet” para poder analizar los resultados que se van a obtener en la práctica experimental con el módulo.
- Asegurarse que el estado fijo de todas las válvulas se encuentre en abierto, esto se lo puede hacer dando doble clic sobre la válvula.
- Dar clic en “iniciar análisis”.
- Por último, seguir el “paso 16 y 17” para obtener los valores de presión y caudal del sistema.

Resolución caso 1:

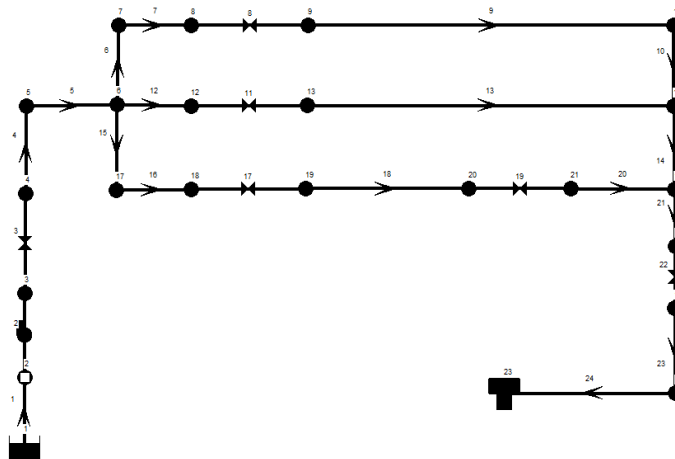


Figura. 10: Simulación en el software “Epanet”

Figura. 10: En esta figura se evidencia la simulación de la red tipo malla.

Datos obtenidos de presión en la simulación:

Tramo	ID Nudo	Altura m	Presion (m)	Presion (Psi)	Presion (Pa)	ΔP
P. Entrada	Conexión 5	13,72	12,46	17,71812	122162,185	122162,19
1	Conexión 7	12,62	10,8	15,3576	105886,966	3431,5221
	Conexión 10	12,27	10,45	14,8599	102455,444	
2	Conexión 6	12,63	11,16	15,86952	109416,532	3529,5655
	Conexión 11	12,27	10,8	15,3576	105886,966	
3	Conexión 17	12,38	11,26	16,01172	110396,967	1470,6523
	Conexión 14	12,23	11,11	15,79842	108926,314	
P. Salida	Conexión 22	11,34	10,96	15,58512	107455,662	107455,66

Tabla. 3: Valores de presión, caso 1

Nota: Los valores de presión se seleccionan solo de la conexión de referencia en la cual este situado el manómetro o el sensor de presión y es importante que realice una conversión del valor de presión metro columna de agua a libras por pulgada cuadrada (psi) y a Pascales (Pa) para una mejor apreciación del error, la simbología ΔP es la diferencia de presión que existe entre los tramos 1, 2 y 3.

Datos obtenidos de caudal en la simulación:

Nº de tubería	Caudal (LPM)
Tubería 9	7,17
Tubería 13	33,37
Tubería 18	37,27
Total	77,81

Tabla. 4: Valores de caudal, caso 1

Nota: Los valores de caudal se seleccionan solo de la tubería de referencia en la cual este situado el flujómetro.

Caso 2.

- Seleccione el estado fijo de la válvula reductora 2 en “**cerrado**” y las demás válvulas deben permanecer en estado “**abierto**”, esto se lo puede hacer dando doble clic sobre la válvula.
- Dar clic en “**iniciar análisis**”.
- Por último, seguir el “**paso 16 y 17**” para obtener los valores de presión y caudal del sistema.

Resolución caso 2:

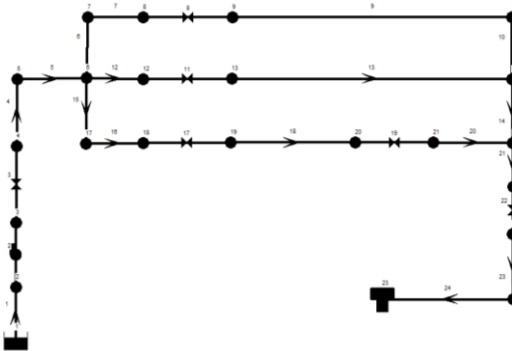


Figura. 11: Simulación en el software “Epanet”

Figura. 11: En esta figura se evidencia el cierre de la válvula ubicada en el primer tramo.

Datos obtenidos de presión en la simulación:

Tramo	ID Nudo	Altura m	Presion (m)	Presion (Psi)	Presion (Pa)	ΔP
P. Entrada	Conexión 5	13,79	12,53	17,81766	122848,489	122848,49
1	Conexión 7	12,7	10,88	15,47136	106671,314	4313,9134
	Conexión 10	12,26	10,44	14,84568	102357,401	
2	Conexión 6	12,7	11,23	15,96906	110102,836	4313,9134
	Conexión 11	12,26	10,79	15,34338	105788,923	
3	Conexión 17	12,5	11,28	16,04016	110593,054	1666,7393
	Conexión 14	12,23	11,11	15,79842	108926,314	
P. Salida	Conexión 22	11,33	10,95	15,5709	107357,618	107357,62

Tabla. 5: Valores de presión, caso 2

Nota: Los valores de presión se seleccionan solo de la conexión de referencia en la cual este situado el manómetro o el sensor de presión y es importante que realice una conversión del valor de presión metro columna de agua a libras por pulgada cuadrada (psi) y a Pascales (Pa) para una mejor apreciación del error, la simbología ΔP es la diferencia de presión que existe entre los tramos 1, 2 y 3.

Datos obtenidos de caudal en la simulación:

N° de tubería	Caudal (LPM)
Tubería 9	0
Tubería 13	37,06
Tubería 18	40,69
Total	77,75

Tabla. 6: Valores de caudal, caso 2

Nota: Los valores de caudal se seleccionan solo de la tubería de referencia en la cual este situado el flujómetro.

Caso 3.

- Seleccione el estado fijo de la válvula reductora 2 en “abierto” y de doble clic sobre la válvula reductora 3 para cambiar el estado a “cerrado”, las demás válvulas deben permanecer en estado “abierto”, esto se lo puede hacer dando doble clic sobre la válvula.
- Dar clic en “iniciar análisis”.
- Por último, seguir el “paso 16 y 17” para obtener los valores de presión y caudal del sistema.

Resolución caso 3:

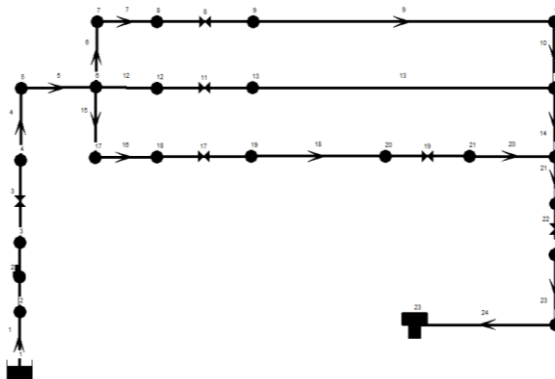


Figura. 12: Simulación en el software “Epanet”

Figura. 12: En esta figura se evidencia el cierre de la válvula ubicada en el segundo tramo.

Datos obtenidos de presión en la simulación:

Tramo	ID Nudo	Altura m	Presion (m)	Presion (Psi)	Presion (Pa)	ΔP
P. Entrada	Conexión 5	14,44	13,18	18,74196	129221,316	129221,32
1	Conexión 7	13,33	11,51	16,36722	112848,054	10980,871
	Conexión 10	12,21	10,39	14,77458	101867,183	
2	Conexión 6	13,36	11,89	16,90758	116573,706	11275,001
	Conexión 11	12,21	10,74	15,27228	105298,705	
3	Conexión 17	12,63	11,51	16,36722	112848,054	4215,8699
	Conexión 14	12,2	11,08	15,75576	108632,184	
P. Salida	Conexión 22	11,32	10,94	15,55668	107259,575	107259,575

Tabla. 7: Valores de presión, caso 3

Nota: Los valores de presión se seleccionan solo de la conexión de referencia en la cual este situado el manómetro o el sensor de presión y es importante que realice una conversión del valor de presión metro columna de agua a libras por pulgada cuadrada (psi) y a Pascales (Pa) para una mejor apreciación del error, la simbología ΔP es la diferencia de presión que existe entre los tramos 1, 2 y 3.

Datos obtenidos de caudal en la simulación:

N° de tubería	Caudal (LPM)
Tubería 9	13,16
Tubería 13	0
Tubería 18	63,99
Total	77,15

Tabla. 8: Valores de caudal, caso 3

Nota: Los valores de caudal se seleccionan solo de la tubería de referencia en la cual este situado el flujómetro.

Caso 4.

- Seleccione el estado fijo de la válvula reductora 3 en **“abierto”** y de doble clic sobre las válvulas reductoras 4 y 5 para cambiar el estado a **“cerrado”**, las demás válvulas deben permanecer en estado **“abierto”**, esto se lo puede hacer dando doble clic sobre la válvula.
- Dar clic en **“iniciar análisis”**.
- Por último, seguir el **“paso 16 y 17”** para obtener los valores de presión y caudal del sistema.

Resolución caso 4:

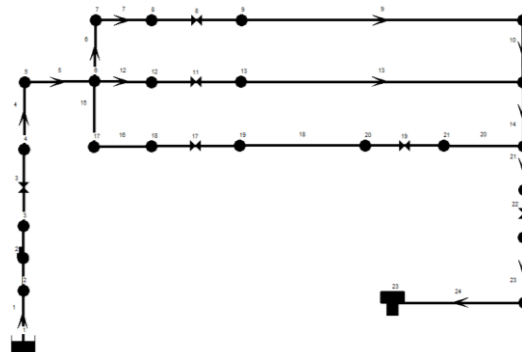


Figura. 13: Simulación en el software “Epanet”

Figura. 13: En esta figura se evidencia el cierre de la válvula ubicada en el segundo tramo.

Datos obtenidos de presión en la simulación:

Tramo	ID Nudo	Altura m	Presion (m)	Presion (Psi)	Presion (Pa)	ΔP
P. Entrada	Conexión 5	14,66	13,4	19,0548	131378,273	131378,27
1	Conexión 7	13,55	11,73	16,68006	115005,01	11961,305
	Conexión 10	12,33	10,51	14,94522	103043,705	
2	Conexión 6	13,59	12,12	17,23464	118828,706	12353,479
	Conexión 11	12,33	10,86	15,44292	106475,227	
3	Conexión 17	13,59	12,47	17,73234	122260,229	0
	Conexión 14	13,59	12,47	17,73234	122260,229	
P. Salida	Conexión 22	11,32	10,94	15,55668	107259,575	107259,57

Tabla. 9: Valores de presión, caso 4

Nota: Los valores de presión se seleccionan solo de la conexión de referencia en la cual este situado el manómetro o el sensor de presión y es importante que realice una conversión del valor de presión metro columna de agua a libras por pulgada cuadrada (psi) y a Pascales (Pa) para una mejor apreciación del error, la simbología ΔP es la diferencia de presión que existe entre los tramos 1, 2 y 3.

Datos obtenidos de caudal en la simulación:

N° de tubería	Caudal (LPM)
Tubería 9	13,75
Tubería 13	63,2
Tubería 18	0
Total	76,95

Tabla. 10: Valores de caudal, caso 4

Nota: Los valores de caudal se seleccionan solo de la tubería de referencia en la cual este situado el flujómetro.

Información acerca del módulo y pasos a llevar a cabo para una correcta operación.

Paso 1: Visualice y certifique que la conexión de los sensores este correcta, mediante el diagrama de conexión que se encuentra en el módulo.

Paso 2: Conecte el enchufe al suministro de energía (110V).

Paso 3: Abra el panel de control con la llave que se encuentra en la parte superior del mismo.

Paso 4: Una vez abierto el panel de control, localice los disyuntores Q1 y Q2.

Paso 5: Accione los disyuntores y cierre el panel de control.

Paso 6: Luego de haber realizado correctamente los anteriores pasos, espere algunos segundos hasta que la pantalla HDMI permita el acceso. Una vez se permita el acceso presione en el botón **“Start”**, posteriormente aparecerá una ventana la cual ofrece diferentes parámetros.

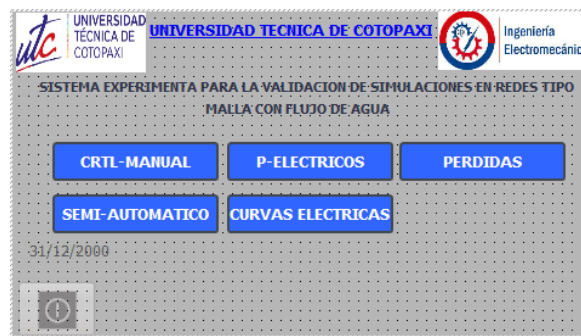


Figura. 14: Ventana principal de control

Figura. 14: En esta figura se evidencia la ventana principal para la visualización de parámetros como; caudal, presión, parámetros eléctricos, curvas.

Casos propuestos.

Caso 1:

- Asegurarse que todas las válvulas estén abiertas en el módulo experimental.

Paso 6: En el tablero de control localice el selector que enciende la bomba y seleccione el estado **“ON”**

Paso 7: Presione el botón de **“Control manual”** y se desplegará una ventana en la cual se muestra la medición del caudal en cada tramo, una vez haya registrado los valores de caudal, presione botón **“Presión”**, este direcciona hacia una nueva ventana en la que se muestra los valores de presión diferenciales que de igual manera deben ser registrados.

Nota: En la ventana de **“control manual”** usted tiene opción de apagar o encender la bomba de manera táctil en la pantalla y en el caso de emergencia presionar el **“botón de paro de emergencia”**.

Resolución caso 1:

Datos obtenidos de presión en la práctica experimental:

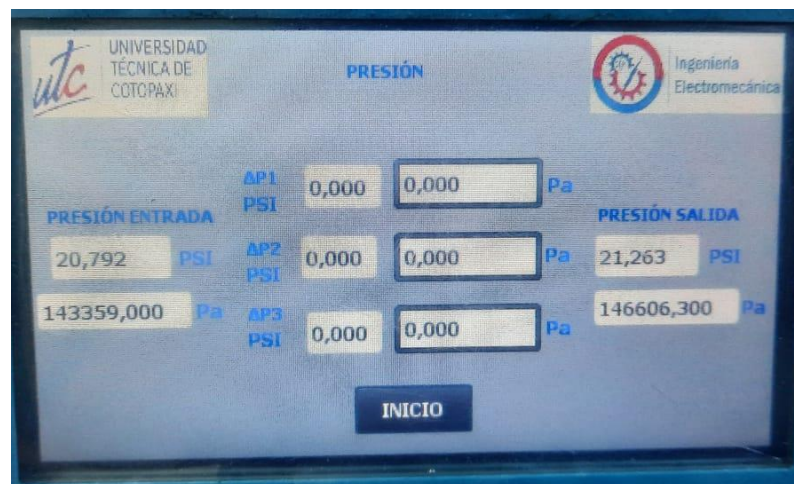


Figura. 15: Datos del módulo experimental

Figura. 15: En esta figura se evidencia los datos de presión para el caso 1

	Experimental
P. Entrada (Pa)	143359
$\Delta P1$ (Pa)	0
$\Delta P1$ (Pa)	0
$\Delta P1$ (Pa)	0
P. Salida (Pa)	146606,3

Tabla. 11: Valores de presión, caso 1

Datos obtenidos de caudal en la práctica experimental:



Figura. 16: Datos del módulo experimental

Figura. 16: En esta figura se evidencia los datos del caudal para el caso 1

	Caudal (LPM)
Tramo 1	7,8
Tramo 2	33,1
Tramo 3	37,2

Tabla. 12: Valores de caudal, caso 1

Paso 8: En el tablero de control localice el selector y seleccione el estado “OFF” para apagar la bomba.

Caso 2:

- Cierre la válvula 1.
- Realice el “**paso 6**” para encender la bomba.
- Seguir el “**paso 7**” para obtener los valores de presión y caudal del sistema.
- Por último, realice el “**paso 8**” para apagar la bomba

Resolución caso 2:

Datos obtenidos de presión en la práctica experimental:



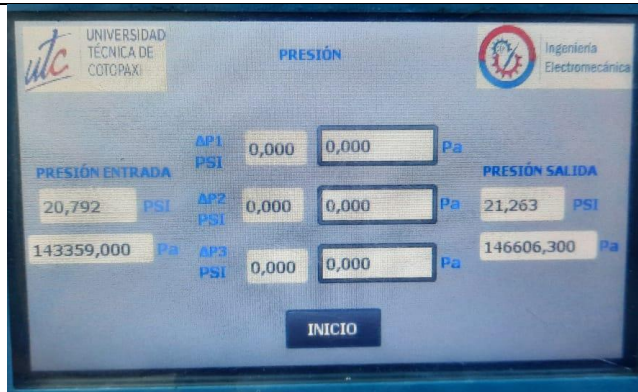


Figura. 17: Datos del módulo experimental

Figura. 17: En esta figura se evidencia los datos de presión para el caso 2

	Experimental
P.Entrada (Pa)	143359
$\Delta P1$ (Pa)	0
$\Delta P1$ (Pa)	0
$\Delta P1$ (Pa)	0
P. Salida (Pa)	146606,3

Tabla. 13: Valores de presión, caso 2

Datos obtenidos de caudal en la práctica experimental:

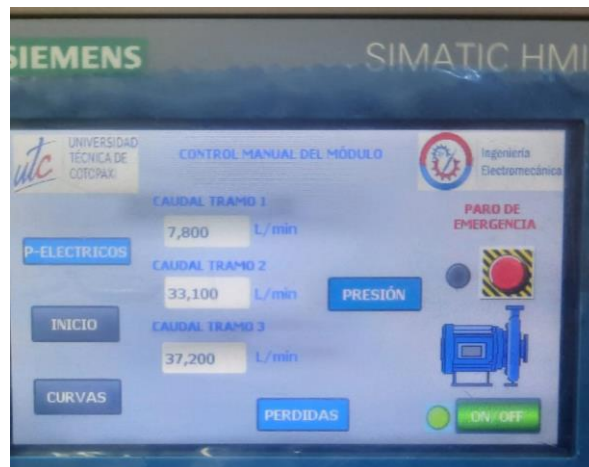


Figura. 18: Datos del módulo experimental

Figura. 18: En esta figura se evidencia los datos del caudal para el caso 2

	Caudal (LPM)
Tramo 1	7,8
Tramo 2	33,1
Tramo 3	37,2

Tabla. 14: Valores de caudal, caso 2

Caso 3:

- Abra la válvula 1.
- Cierre la válvula 2.
- Realice el “**paso 6**” para encender la bomba.
- Seguir el “**paso 7**” para obtener los valores de presión y caudal del sistema.
- Por último, realice el “**paso 8**” para apagar la bomba.

Resolución caso 3:

Datos obtenidos de presión en la práctica experimental:

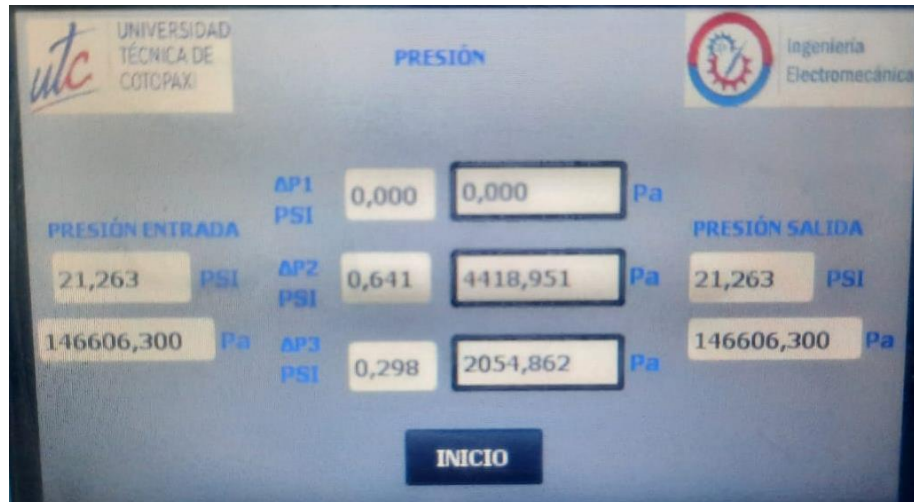


Figura. 19: Datos del módulo experimental

Figura. 19: En esta figura se evidencia los datos de presión para el caso 3

	Experimental
P.Entrada (Pa)	146606,300
$\Delta P1$ (Pa)	0
$\Delta P1$ (Pa)	4418,951
$\Delta P1$ (Pa)	2054,862
P. Salida (Pa)	146606,300

Tabla. 15: Valores de presión, caso 3

Datos obtenidos de caudal en la práctica experimental:

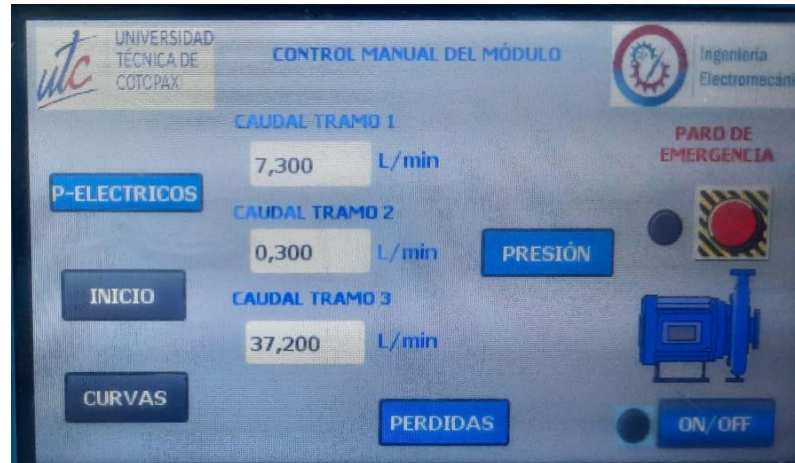


Figura. 20: Datos del módulo experimental

Figura. 20: En esta figura se evidencia los datos del caudal para el caso 3

	Caudal (LPM)
Tramo 1	7,3
Tramo 2	0
Tramo 3	37,2

Tabla. 16: Valores de presión, caso 3

Caso 4:

- Abra la válvula 2.
- Cierre las válvulas 3 y 4.
- Realice el “**paso 6**” para encender la bomba.
- Seguir el “**paso 7**” para obtener los valores de presión y caudal del sistema.
- Por último, realice el “**paso 8**” para apagar la bomba.

Resolución caso 4:

Datos obtenidos de presión en la práctica experimental:



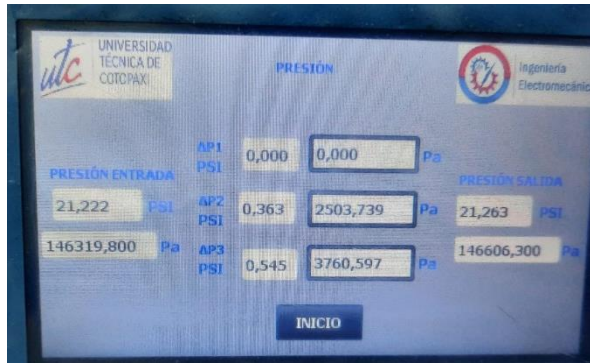


Figura. 21: Datos del módulo experimental

Figura. 21: En esta figura se evidencia los datos de presión para el caso 4

	Experimental
P. Entrada (Pa)	146319,800
$\Delta P1$ (Pa)	0
$\Delta P2$ (Pa)	2503,739
$\Delta P3$ (Pa)	3760,596
P. Salida (Pa)	146606,300

Tabla. 17: Valores de presión, caso 4

Datos obtenidos de caudal en la práctica experimental:

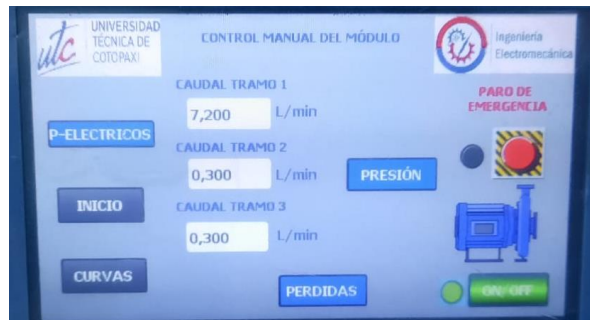


Figura. 22: Datos del módulo experimental

Figura. 22: En esta figura se evidencia los datos del caudal para el caso 4

	Caudal (LPM)
Tramo 1	7,2
Tramo 2	0,3
Tramo 3	0,3

Tabla. 18: Valores de caudal, caso 4

Paso 9: Una vez haya recopilado todos los valores y llenado las tablas correspondientes, abra el panel de control e identifique los disyuntores Q1 y Q2 para posteriormente accionarlos y para apagar los equipos, cierre el panel de control y, por último, desenchufe del suministro de energía (110V).

Cálculo de errores

Para el cálculo de los errores se debe tener en cuenta que el error se calcula para determinar la baja precisión de los cálculos entre los dos métodos.

Error absoluto:

$$\text{Error absoluto} = \text{Valor real} - \text{Valor Aproximado.} \quad (2.1)$$

Error relativo:

$$\text{Error relativo} = \frac{\text{Error absoluto}}{\text{resultado exacto}} \quad (2.2)$$

Error porcentual:

$$\text{Error \%} = \text{Error relativo} \cdot 100\% \quad (2.3)$$

Con estos cálculos realizados se puede interpretar que si el error es alto se considera que la precisión de los cálculos es baja y si el error es bajo la precisión es alta.

2.2. EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS

Equipos: Módulo experimental, Software "Epanet".

Materiales: Guía de práctica
Manual de operación
Excel

2.3. MEDIDAS DE SEGURIDAD

Los estudiantes y docentes deben asistir a la charla de inducción de seguridad en la primera práctica por una sola vez, la misma que será facilitada por el laboratorista y deberán firmar un registro de inducción.

EPP: Mandil, gafas claras, guantes.

Instrucciones de seguridad:

- Lea y comprenda la presente guía de laboratorio
- Lea y comprenda el manual de seguridad y operación de la máquina
- No corra dentro del laboratorio
- Absténgase de usar el teléfono celular
- Aleje sus manos de las partes móviles del equipo

2.4. TRABAJO PREPARATORIO

¿En un sistema de red tipo malla que variables principalmente se pueden controlar?

Este sistema se usa para controlar las variables como el flujo del líquido y la presión que ejerce el fluido en el conducto.

¿Cómo se puede identificar si el flujo de mi sistema es laminar o turbulento?

Flujo laminar. - Es aquel en el cual las partículas del fluido siguen trayectorias paralelas, formando junto de ellas capas o láminas. La velocidad de estas partículas es mayor cuando están más alejadas de las paredes del conducto, o sea que la velocidad de dichas partículas está en función de la distancia de las paredes del conducto.

Flujo turbulento. - Es aquel en el cual las partículas del fluido no siguen trayectorias paralelas, es decir que se mueven en forma desordenada en todas las direcciones. Es imposible conocer la trayectoria de una partícula individualmente.

¿Cuál es la función del software “Epanet”?

Su principal uso es determinar las pérdidas de presión debido al factor de rozamiento en la rugosidad del conducto, el software bajo sus condiciones permite realizar el análisis bajo tres actores, el principal y más usado es la fórmula de Hagen Williams, Darcy Weisbach y por último Manning.

2.5 ACTIVIDADES A DESARROLLAR

Antes de realizar la práctica desarrolle la simulación en el Software “Epanet”, para esto siga el tutorial que se encuentra en el marco teórico, posteriormente visualice y certifique que la conexión de los sensores este correcta, mediante el diagrama de conexión que se encuentra en el módulo posteriormente asegúrese de enchufar el conector del módulo al suministro de electricidad (110V), luego abra la caja de panel de control y energice los disyuntores Q1 y Q2, luego espéreme un momento hasta que la pantalla HDMI proporcione el acceso, una vez realizados los anteriores pasos presione Start y mediante el selector encienda la bomba para comenzar con los casos de prueba.

2.5.1 METODOLOGÍA Y TÉCNICA EXPERIMENTAL

Operación y obtención de datos del módulo

Luego de haber realizado cada uno de los anteriores pasos de manera correcta se puede continuar con los casos planteados:

Caso 1:

- Realice la simulación en el software “Epanet” para poder analizar los resultados que se van a obtener en la práctica experimental con el módulo.
- Asegurarse que todas las válvulas estén completamente abiertas.
- Accione el selector para encender la bomba.
- En la ventana control manual visualice y tome nota de los valores de Caudal, posteriormente presione el botón “**Presión**” para poder visualizar y tomar nota de los valores de presión al inicio, final y de cada uno de los tramos del sistema.

Caso 2:

- Realice la simulación en el software “Epanet” para poder analizar los resultados que se van a obtener en la práctica experimental con el módulo.
- Cierre la válvula del tramo 1 en la simulación y en el módulo.
- Accione el selector para encender la bomba.
- En la ventana control manual visualice y tome nota de los valores de Caudal, posteriormente presione el botón “**Presión**” para poder visualizar y tomar nota de los valores de presión al inicio, final y de cada uno de los tramos del sistema.

Caso 3:

- Realice la simulación en el software “Epanet” para poder analizar los resultados que se van a obtener en la práctica experimental con el módulo.
- Abra la válvula del tramo 1 en la simulación y en el módulo.
- Cierre la válvula del tramo 2 en la simulación y en el módulo.
- Accione el selector para encender la bomba.
- En la ventana control manual visualice y tome nota de los valores de Caudal, posteriormente presione el botón “**Presión**” para poder visualizar y tomar nota de los valores de presión al inicio, final y de cada uno de los tramos del sistema.

Caso 4:

- Realice la simulación en el software “Epanet” para poder analizar los resultados que se van a obtener en la práctica experimental con el módulo.
- Abra la válvula del tramo 2 en la simulación y en el módulo.
- Cierre la válvula del tramo 3 en la simulación y en el módulo.
- Accione el selector para encender la bomba.
- En la ventana control manual visualice y tome nota de los valores de Caudal, posteriormente presione el botón “**Presión**” para poder visualizar y tomar nota de los valores de presión al inicio, final y de cada uno de los tramos del sistema.

2.6 BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

Y. A. Çengel, Mecánica de Fluidos, Madrid : McGraw-Hill, 2013.

SUHISSA, «AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL,» 2017. [En línea]. Available: <https://suhissa.com.mx/automatizacion-y-control/>. [Último acceso: 15 12 2021].

C. Guilmaraigua, «Repositorio UTC,» 2018. [En línea]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/5407/1/PI-000768.pdf>.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
INFORME DE PRÁCTICA

TEMA: Validación de redes tipo malla con flujo de agua
NÚMERO DE PRÁCTICA: 1
NOMBRE(S): Carrillo Kevin, Venegas Borja
FECHA: 07/03/2022

1	A continuación, en función de los datos obtenidos realizar la siguiente tabla en la que se calculan todos los parámetros necesarios para la validación de redes tipo malla; guiarse en base a la guía tutorial del software, la información del módulo y las ecuaciones para el cálculo del error.
---	--

Caso 1:

Análisis de error de presión caso 1:

	Simulación	Experimental	Error absoluto	Error relavito	Error %
P. Entrada (Pa)	122162,19	143359	21196,81	0,147858244	14,7858244
ΔP1 (Pa)	3431,5221	0	-3431,5221	#iDIV/0!	#iDIV/0!
ΔP1 (Pa)	3529,5655	0	-3529,5655	#iDIV/0!	#iDIV/0!
ΔP1 (Pa)	1470,6523	0	-1470,6523	#iDIV/0!	#iDIV/0!
P. Salida (Pa)	107455,66	146606,3	39150,64	0,267046096	26,70460956

Tabla. 1: Valores de presión, caso 1

Análisis de error de caudal caso 1:

Caudal (LPM)	Simulación	Experimental	Error absoluto	Error relavito	Error %
Tramo 1	7,17	7,8	0,63	0,080769231	8,07692308
Tramo 2	33,37	33,1	-0,27	-0,0081571	0,81570997
Tramo 3	37,27	37,2	-0,07	-0,00188172	0,18817204

Tabla. 2: Valores de caudal, caso 1

Caso 2:

Análisis de error de presión caso 2:

	Simulación	Experimental	Error absoluto	Error relavito	Error %
P. Entrada (Pa)	122848,49	143359	20510,51	0,143070962	14,30709617
ΔP1 (Pa)	4313,9134	0	-4313,9134	#iDIV/0!	#iDIV/0!
ΔP1 (Pa)	4313,9134	0	-4313,9134	#iDIV/0!	#iDIV/0!
ΔP1 (Pa)	1666,7393	0	-1666,7393	#iDIV/0!	#iDIV/0!
P. Salida (Pa)	107357,62	146606,3	39248,68	0,267714825	26,77148254

Tabla. 3: Valores de presión, caso 2

Análisis de error de caudal caso 2:

Caudal (LPM)	Simulación	Experimental	Error absoluto	Error relavito	Error %
Tramo 1	0	7,8	7,8	1	100
Tramo 2	37,06	33,1	-3,96	-0,119637462	-11,9637462
Tramo 3	40,69	37,2	-3,49	-0,093817204	-9,38172043

Tabla. 4: Valores de caudal, caso 2

Caso 3:

Análisis de error de presión caso 3:

	Simulación	Experimental	Error absoluto	Error relavito	Error %
P. Entrada (Pa)	129221,32	146606,3	17384,98	0,118582762	11,85827621
$\Delta P1$ (Pa)	10980,871	0	-10980,871	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!
$\Delta P1$ (Pa)	11275,001	4418,951	-6856,05	-1,551510754	-155,1510754
$\Delta P1$ (Pa)	4215,8699	2054,862	-2161,0079	-1,051655975	-105,1655975
P. Salida (Pa)	107259,575	146606,3	39346,725	0,268383589	26,83835892

Tabla. 5: Valores de presión, caso 3

Análisis de error de caudal caso 3:

Caudal (LPM)	Simulación	Experimental	Error absoluto	Error relavito	Error %
Tramo 1	13,16	7,3	-5,86	0,802739726	80,2739726
Tramo 2	0	0	0	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!
Tramo 3	63,99	37,2	-26,79	-0,72016129	-72,016129

Tabla. 6: Valores de caudal, caso 3

Caso 4:

Análisis de error de presión caso 4:

	Simulación	Experimental	Error absoluto	Error relavito	Error %
P. Entrada (Pa)	131378,27	146319,8	14941,53	0,102115572	10,21155715
$\Delta P1$ (Pa)	11961,305	0	-11961,305	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!
$\Delta P1$ (Pa)	12353,479	2503,739	-9849,74	3,934012291	393,4012291
$\Delta P1$ (Pa)	0	3760,596	3760,596	1	100
P. Salida (Pa)	107259,57	146606,3	39346,73	0,268383623	26,83836234

Tabla. 7: Valores de presión, caso 4

Análisis de error de caudal caso 4:

Caudal (LPM)	Simulación	Experimental	Error absoluto	Error relavito	Error %
Tramo 1	13,75	7,2	-6,55	0,909722222	90,9722222
Tramo 2	63,2	0,3	-62,9	209,6666667	20966,6667
Tramo 3	0	0,3	0,3	1	100

Tabla. 8: Valores de caudal, caso 4

2	ANÁLISIS DE RESULTADOS
----------	-------------------------------

En los casos planteados se puede observar que el comportamiento del fluido es similar, se puede decir que el caudal inicial es igual a la sumatoria del caudal en cada tramo, si es una malla cerrada se interpreta que el caudal de entrada es igual al caudal de salida, también se agrega el dato que a mayor diámetro mayor caudal se tiene en el conducto.

La presión de entrada es mayor que la presión de salida debido a que en cada tramo dependiendo su configuración de válvulas si se genera pérdidas, por lo cual se interpreta que el caudal final más las pérdidas del sistema es igual a la presión inicial. Se debe tener en cuenta que entre menor sea el diámetro más perdidas de presión se van a generar.

La NFPA menciona que el porcentaje de error no puede exceder el 15 % en un sistema, en los cálculos realizados para cada caso se evidencia que el error no supera esta magnitud en su mayoría, pero si existe casos donde se observa que sobrepasa esto se debe a factores que no se considera en el diseño del sistema experimental a su vez que en el Software hay algunos valores que se desprecia como el número de Reynolds o el sistema asume como valores ideales.

3	CONSULTAS
----------	------------------

¿En un sistema de red tipo malla que variables principalmente se pueden controlar?

Este sistema se usa para controlar las variables como el flujo del líquido y la presión que ejerce el fluido en el conducto.

¿Cómo se puede identificar si el flujo de mi sistema es laminar o turbulento?

Flujo laminar. - Es aquel en el cual las partículas del fluido siguen trayectorias paralelas, formando junto de ellas capas o láminas. La velocidad de estas partículas es mayor cuando están más alejadas de las paredes del conducto, o sea que la velocidad de dichas partículas está en función de la distancia de las paredes del conducto.

Flujo turbulento. - Es aquel en el cual las partículas del fluido no siguen trayectorias paralelas, es decir que se mueven en forma desordenada en todas las direcciones. Es imposible conocer la trayectoria de una partícula individualmente.

¿Para qué nos sirve el software “Epanet”?

Su principal uso es determinar las pérdidas de presión debido al factor de rozamiento en la rugosidad del conducto, el software bajo sus condiciones permite realizar el análisis bajo tres actores, el principal y más usado es la fórmula de Hacen Williams, Darcy Weisbach y por último Manning.

4 CONCLUSIONES

- De acuerdo a la simulación mediante una herramienta computacional (Epanet) se concluye que la magnitud del caudal se divide en cada tramo y la sumatoria de todos los tramos da como resultado el caudal inicial del sistema. En la presión se analiza que dependiendo el diámetro del conducto se genera pérdidas, entonces la presión inicial va a ser mayor que la presión final. A este dato se agrega que la presión final si se le suma las pérdidas se obtiene un valor aproximado a la presión inicial.
- El margen de error que se obtiene entre los cálculos realizados por los dos sistemas se considera bueno debido a que la NFPA (contra incendios) menciona que este error no puede exceder del 15%. En el presente análisis de resultados evidencian que existen valores que sobrepasan lo plateado por la normativa, esto puede suceder por la apreciación de los sensores o parámetros que no se considera en el diseño del método experimental.
- La validación del proceso de cálculos en una red tipo malla por un método estadístico genera resultados eficientes con fácil nivel de interpretación entre los dos métodos, el cálculo de los errores permite visualizar el porcentaje de error que genera los mismos. Haciendo así un enfoque en los puntos donde el error tiene mayor magnitud para hacer un análisis de cuáles son los factores que producen esta alza. Ya que si no se corrigen los sistemas hidráulicos podrían no cumplir con sus necesidades.

5 ANEXOS



Y. A. Çengel, Mecánica de Fluidos, Madrid : McGraw-Hill, 2013.

SUHISSA, «AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL,» 2017. [En línea]. Available: <https://suhissa.com.mx/automatizacion-y-control/>. [Último acceso: 15 12 2021].

C. Guilcamaigua, «Repositorio UTC,» 2018. [En línea]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/5407/1/PI-000768.pdf>.



UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE
COTOPAXI

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA
INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA



Ingeniería
Electromecánica

Anexo III.

Manual de operación y mantenimiento del módulo didáctico.

Instrucciones importantes

Peligro: Desenchufe siempre el módulo de la toma de corriente inmediatamente después de su uso o en el caso de realizar algún tipo de conexión, y cuando vaya a ejecutar cualquier tipo de ajuste de mantenimiento.




Advertencia: Para reducir el riesgo de cortocircuitos o daños en los equipos electrónicos e hidráulicos tales como; sensores, actuadores, módulos, controladores, bomba, manómetros se recomienda:




- Desenchufe siempre el módulo del suministro de corriente antes de cualquier ajuste o conexión.
- Servar la bomba de agua.
- No exceder la presión por encima de los 80 psi.
- No manipular los componentes eléctricos, electrónicos en el caso de haber estado en contacto con el agua.
- Seguir el manual de operación

Medidas de seguridad

Asegurar de leer todo el documento en el cual se detallará todos los aspectos importantes para una correcta operación del módulo.

Mandos e indicadores del módulo

1. Apagado y encendido de la bomba	
2. Paro de emergencia	
3. Control automático de la bomba	

4. Voltímetro	
5. Pantalla HDMI	
6. Sentron Pac4200	

Información del módulo

Una vez haya leído las indicaciones los anteriores puede continuar con los siguientes pasos:

1. En la pantalla HDMI seleccionar Start

Posteriormente aparecerá una ventana la cual ofrece diferentes parámetros como son:

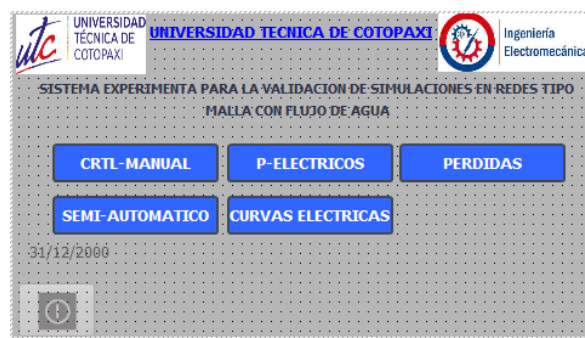


Figura. 1: Ventana principal de control

Figura. 1: En esta figura se evidencia la ventana principal para la visualización de parámetros como; caudal, presión, parámetros eléctricos, curvas.

- Control manual

En la ventana de control manual se muestra el caudal de los diferentes tramos, así como existe el botón “Presión” el cual direcciona hacia una nueva ventana en la que se muestra los valores de presión diferenciales, además se tiene el control de la bomba con la opción de apagar o encender y en el caso de emergencia presionar el botón de paro

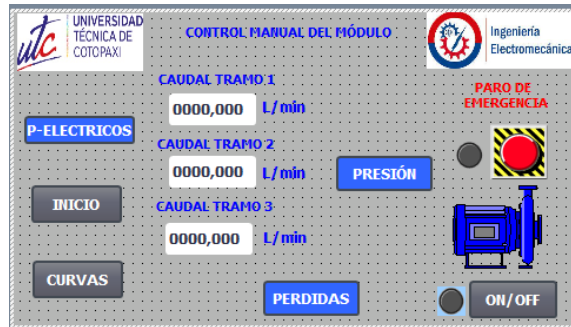


Figura. 2: Ventana de control manual del módulo

Figura. 2: En esta figura se evidencia los valores de caudal en los diferentes tramos y existen opciones para la visualización de presiones, perdidas, curvas.

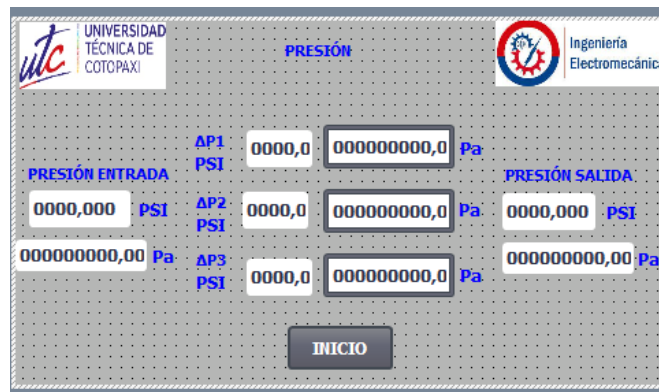


Figura. 3: Ventana de la magnitud presión

Figura. 3: En esta figura se evidencia la diferencia de presión en los tres tramos de la malla, así como la presión de entrada y salida.

- Parámetros eléctricos

En esta ventana se muestran los valores de voltaje, corriente, frecuencia, potencia aparente, potencia activa, potencia reactiva del módulo.



Figura. 4: Ventana de parámetros eléctricos.

Figura. 4: En esta figura se evidencia los distintos parámetros eléctricos del módulo.

- Perdidas

Al presionar en el apartado perdidas podrás observar las mismas en las tuberías como en accesorios del sistema y las diferentes curvas.



Figura. 5: Ventana de perdidas hidráulicas

Figura. 5: En esta figura se evidencia las perdidas hidráulicas en cada uno de los tramos y accesorios.

- Control automático

En esta ventana se visualizan un esquema del módulo y se muestra la diferencia de presión juntamente con los caudales de cada tramo, además se puede programar el tiempo de funcionamiento de la bomba.

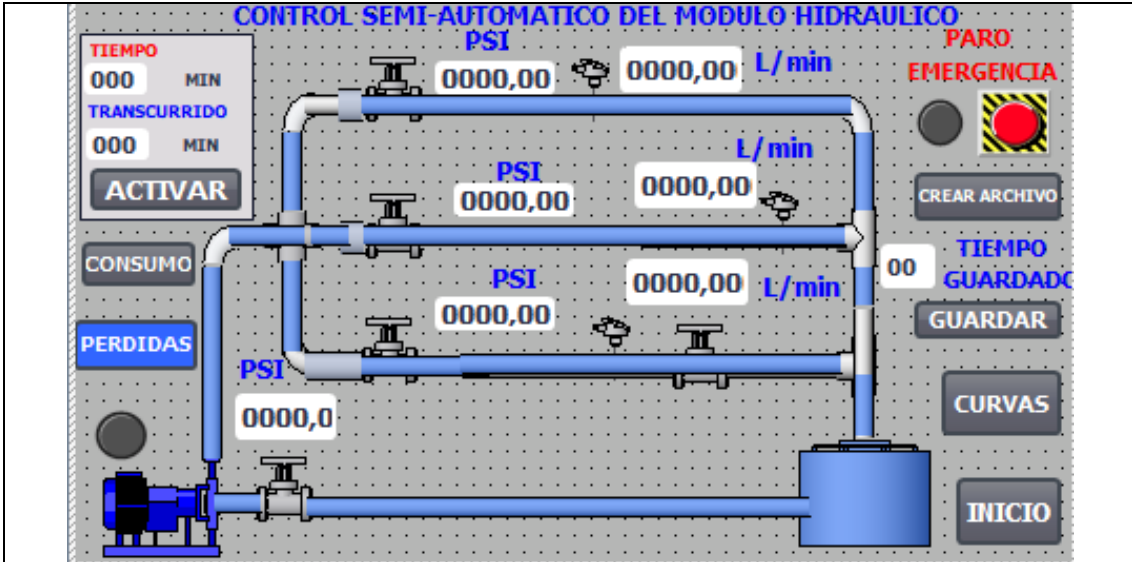


Figura. 6: Ventada de control automático

Figura. 6: En esta figura se evidencia la función de programar el tiempo de funcionamiento de la bomba, así como los valores de caudal y presión.

- Curvas eléctricas

En esta ventana se muestran las curvas de voltaje y corriente, así como la de potencias.

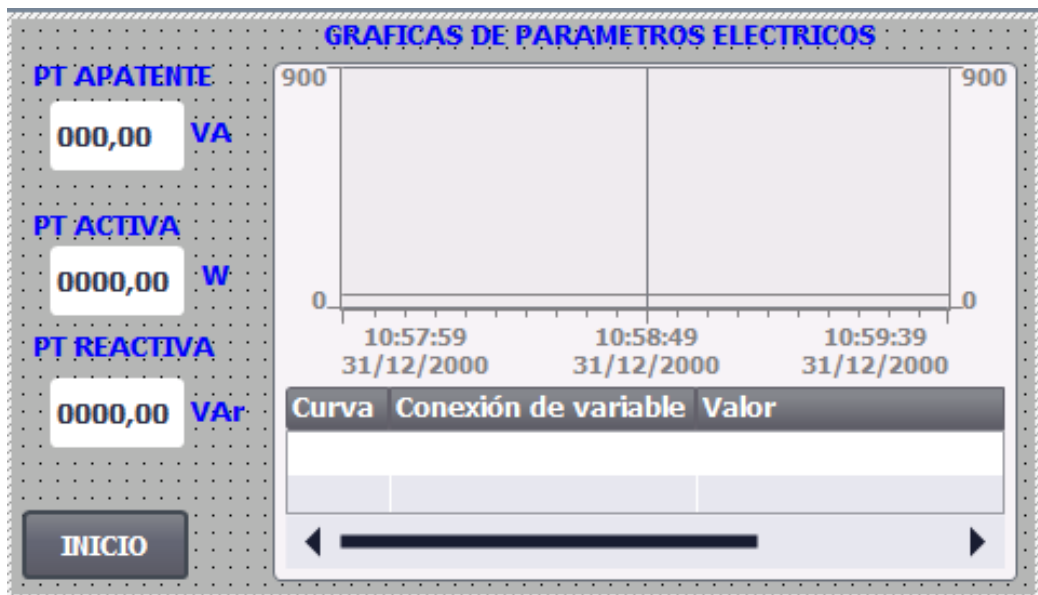


Figura. 7: Ventada graficas de parámetros eléctricos.

Figura. 7: En esta figura se evidencia el valor de los parámetros eléctricos y su correspondiente gráfica.

Energización del módulo

1. Conecte el enchufe al suministro de corriente (110V)



2. Abra el panel de control



3. Accione los disyuntores Q1 Y Q2



4. Cierre el panel de control



Operación y obtención de datos del módulo

Luego de haber realizado cada uno de los anteriores pasos de manera correcta se puede continuar con los casos planteados:

Caso 1:

- Realice la simulación en el software “Epanet” para poder analizar los resultados que se van a obtener en la práctica experimental con el módulo.

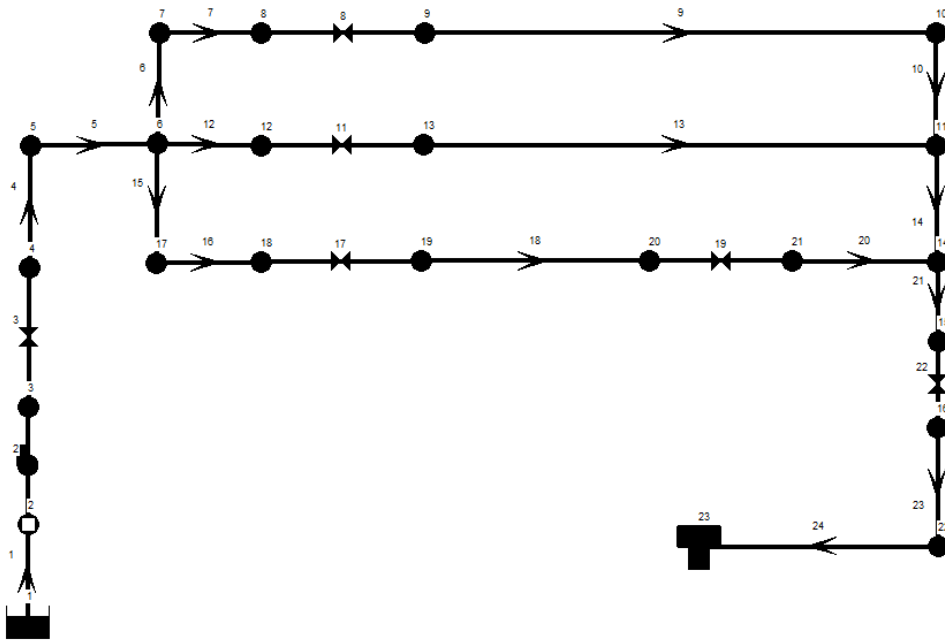


Figura. 8: Simulación en el software “Epanet”

Figura. 8: En esta figura se evidencia la simulación de la red tipo malla.

Datos obtenidos de presión en la simulación:

Tramo	ID Nudo	Altura m	Presión (m)	Presión (Psi)	Presión (Pa)	ΔP
P. Entrada	Conexión 5	13,72	12,46	17,71812	122162,185	122162,19
1	Conexión 7	12,62	10,8	15,3576	105886,966	3431,5221
	Conexión 10	12,27	10,45	14,8599	102455,444	
2	Conexión 6	12,63	11,16	15,86952	109416,532	3529,5655

	Conexión 11	12,27	10,8	15,3576	105886,966	
3	Conexión 17	12,38	11,26	16,01172	110396,967	1470,6523
	Conexión 14	12,23	11,11	15,79842	108926,314	
P. Salida	Conexión 22	11,34	10,96	15,58512	107455,662	107455,66

Nota: Los valores de presión se seleccionan solo de la conexión de referencia en la cual este situado el manómetro o el sensor de presión.

Datos obtenidos de caudal en la simulación:

N° de tubería	Caudal (LPM)
Tubería 9	7,17
Tubería 13	33,37
Tubería 18	37,27
Total	77,81

Nota: Los valores de caudal se seleccionan solo de la tubería de referencia en la cual este situado el flujómetro.

- Asegurarse que todas las válvulas estén completamente abiertas.
- Accione el selector para encender la bomba.
- En la ventada control manual visualice y tome nota de los valores de Caudal, posteriormente presione el botón “Presión” para poder visualizar y tomar nota de los valores de presión al inicio, final y de cada uno de los tramos del sistema.

Datos obtenidos de presión en la práctica experimental:



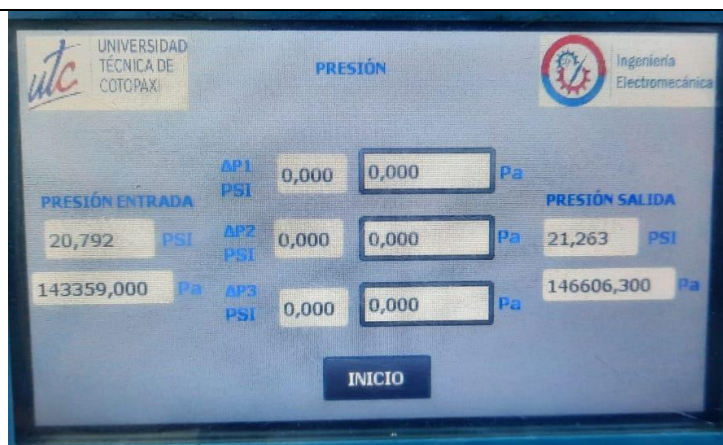


Figura. 9: Datos del módulo experimental

Figura. 9: En esta figura se evidencia los datos de presión para el caso

	Experimental
P.Entrada (Pa)	143359
ΔP1 (Pa)	0
ΔP1 (Pa)	0
ΔP1 (Pa)	0
P. Salida (Pa)	146606,3

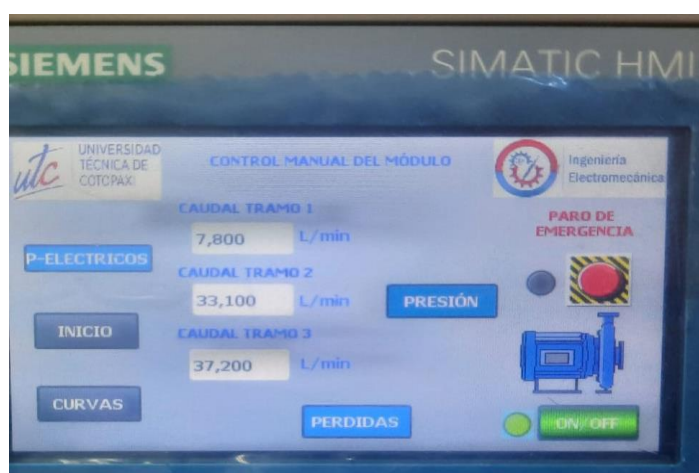


Figura. 10: Datos del módulo experimental

Figura. 10: En esta figura se evidencia los datos del caudal para el caso 1

	Caudal (LPM)
Tramo 1	7,8
Tramo 2	33,1
Tramo 3	37,2

Análisis de error:

	Simulación	Experimental	Error absoluto	Error relavito	Error %
P.Entrada (Pa)	122162,19	143359	21196,81	0,147858244	14,7858244
$\Delta P1$ (Pa)	3431,5221	0	-3431,5221	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!
$\Delta P1$ (Pa)	3529,5655	0	-3529,5655	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!
$\Delta P1$ (Pa)	1470,6523	0	-1470,6523	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!
P. Salida (Pa)	107455,66	146606,3	39150,64	0,267046096	26,70460956

Caudal (LPM)	Simulación	Experimental	Error absoluto	Error relavito	Error %
Tramo 1	7,17	7,8	0,63	0,080769231	8,07692308
Tramo 2	33,37	33,1	-0,27	-0,0081571	0,81570997
Tramo 3	37,27	37,2	-0,07	-0,00188172	0,18817204

Caso 2:

- Realice la simulación en el software “Epanet” para poder analizar los resultados que se van a obtener en la práctica experimental con el módulo.
- Cierre la válvula del tramo 1 en la simulación y en el módulo.

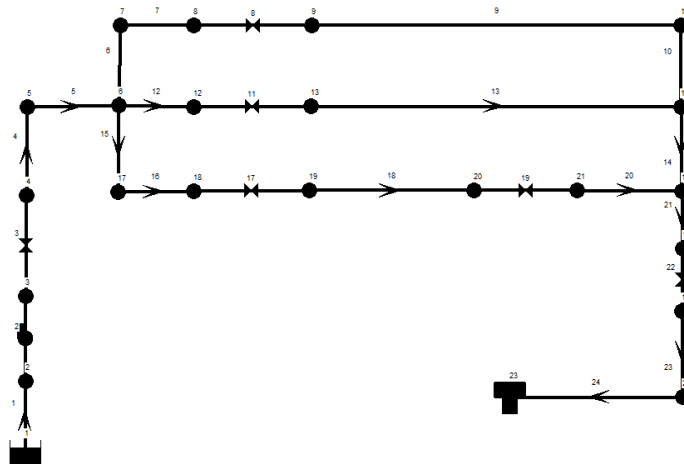


Figura. 11: Simulación en el software “Epanet”

Figura. 11: En esta figura se evidencia el cierre de la válvula ubicada en el primer tramo.

Datos obtenidos de presión en la simulación:

Tramo	ID Nudo	Altura m	Presion (m)	Presion (Psi)	Presion (Pa)	ΔP
P. Entrada	Conexión 5	13,79	12,53	17,81766	122848,489	122848,49
1	Conexión 7	12,7	10,88	15,47136	106671,314	4313,9134
	Conexión 10	12,26	10,44	14,84568	102357,401	
2	Conexión 6	12,7	11,23	15,96906	110102,836	4313,9134
	Conexión 11	12,26	10,79	15,34338	105788,923	
3	Conexión 17	12,5	11,28	16,04016	110593,054	1666,7393
	Conexión 14	12,23	11,11	15,79842	108926,314	
P. Salida	Conexión 22	11,33	10,95	15,5709	107357,618	107357,62

Nota: Los valores de presión se seleccionan solo de la conexión de referencia en la cual este situado el manómetro o el sensor de presión.

Datos obtenidos de caudal en la simulación:

N° de tubería	Caudal (LPM)
Tubería 9	0
Tubería 13	37,06
Tubería 18	40,69
Total	77,75

Nota: Los valores de caudal se seleccionan solo de la tubería de referencia en la cual este situado el flujómetro.

- Accione el selector para encender la bomba.
- En la ventada control manual visualice y tome nota de los valores de Caudal, posteriormente presione el botón “Presión” para poder visualizar y tomar nota de los valores de presión al inicio, final y de cada uno de los tramos del sistema.

Datos obtenidos de presión en la práctica experimental:

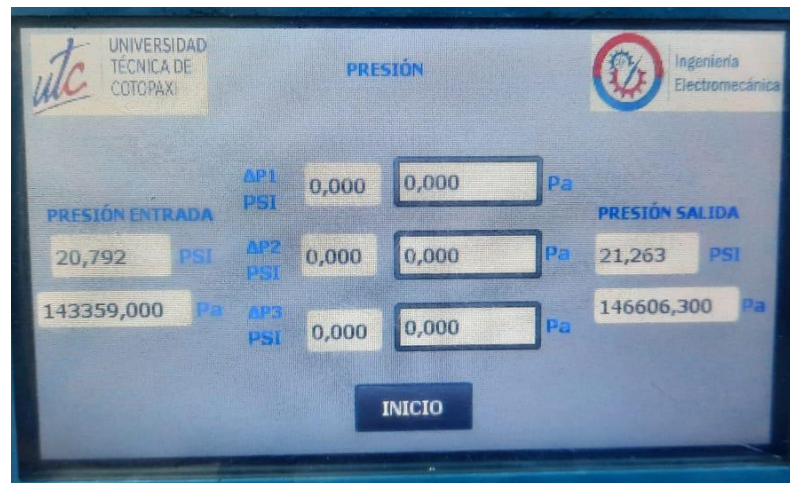


Figura. 12: Datos del módulo experimental

Figura. 12: En esta figura se evidencia los datos de presión para el caso

	Experimental
P.Entrada (Pa)	143359
$\Delta P1$ (Pa)	0
$\Delta P1$ (Pa)	0
$\Delta P1$ (Pa)	0
P. Salida (Pa)	146606,3

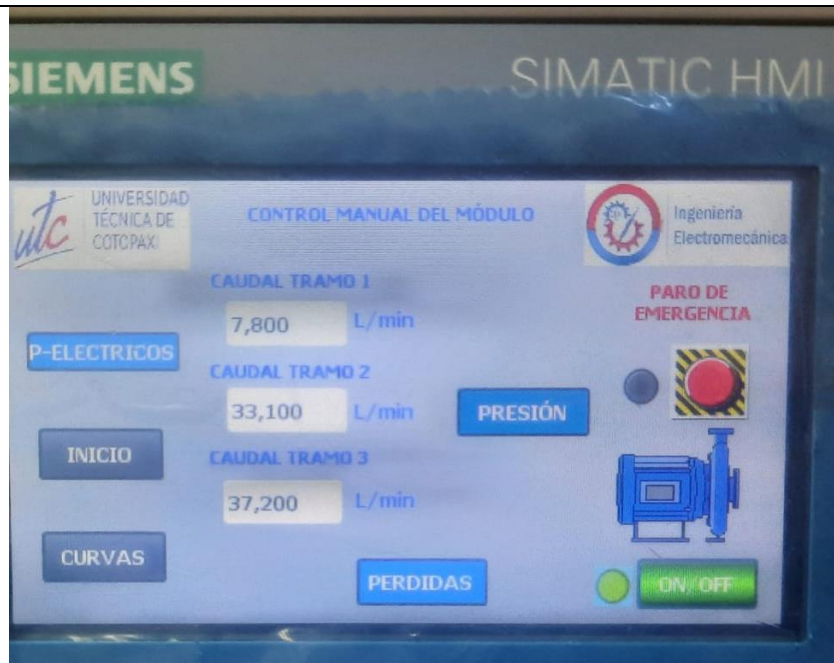


Figura. 13: Datos del módulo experimental

Figura. 13: En esta figura se evidencia los datos del caudal para el caso 1

	Caudal (LPM)
Tramo 1	7,8
Tramo 2	33,1
Tramo 3	37,2

Análisis de error:

	Simulación	Experimental	Error absoluto	Error relavito	Error %
P. Entrada (Pa)	122848,49	143359	20510,51	0,143070962	14,30709617
ΔP_1 (Pa)	4313,9134	0	-4313,9134	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!
ΔP_1 (Pa)	4313,9134	0	-4313,9134	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!
ΔP_1 (Pa)	1666,7393	0	-1666,7393	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!
P. Salida (Pa)	107357,62	146606,3	39248,68	0,267714825	26,77148254

Caudal (LPM)	Simulación	Experimental	Error absoluto	Error relavito	Error %
Tramo 1	0	7,8	7,8	1	100
Tramo 2	37,06	33,1	-3,96	0,119637462	11,9637462
Tramo 3	40,69	37,2	-3,49	0,093817204	9,38172043

Caso 3:

- Realice la simulación en el software “Epanet” para poder analizar los resultados que se van a obtener en la práctica experimental con el módulo.
- Abra la válvula del tramo 1 en la simulación y en el módulo.
- Cierre la válvula del tramo 2 en la simulación y en el módulo.

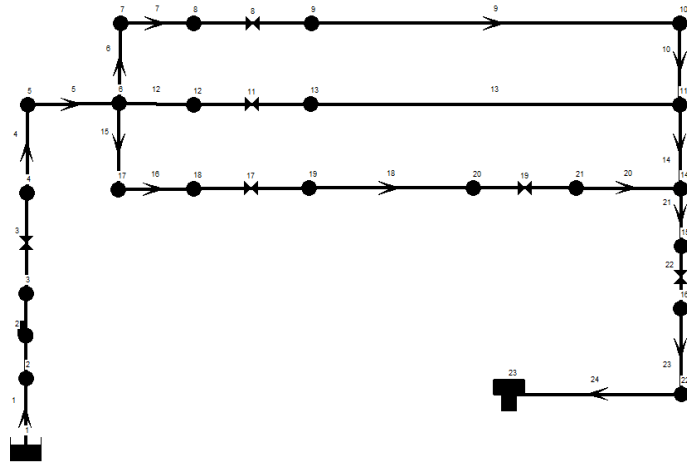


Figura. 14: Simulación en el software “Epanet”

Figura. 14: En esta figura se evidencia el cierre de la válvula ubicada en el segundo tramo.

Datos obtenidos de presión en la simulación:

Tramo	ID Nudo	Altura m	Presion (m)	Presion (Psi)	Presion (Pa)	ΔP
P. Entrada	Conexión 5	14,44	13,18	18,74196	129221,316	129221,32
1	Conexión 7	13,33	11,51	16,36722	112848,054	10980,871
	Conexión 10	12,21	10,39	14,77458	101867,183	
2	Conexión 6	13,36	11,89	16,90758	116573,706	11275,001
	Conexión 11	12,21	10,74	15,27228	105298,705	
3	Conexión 17	12,63	11,51	16,36722	112848,054	4215,8699
	Conexión 14	12,2	11,08	15,75576	108632,184	
P. Salida	Conexión 22	11,32	10,94	15,55668	107259,575	107259,575

Nota: Los valores de presión se seleccionan solo de la conexión de referencia en la cual este situado el manómetro o el sensor de presión.

Datos obtenidos de caudal en la simulación:

N° de tubería	Caudal (LPM)
Tubería 9	13,16
Tubería 13	0
Tubería 18	63,99
Total	77,15

Nota: Los valores de caudal se seleccionan solo de la tubería de referencia en la cual este situado el flujómetro.

- Accione el selector para encender la bomba.
- En la ventana control manual visualice y tome nota de los valores de Caudal, posteriormente presione el botón “Presión” para poder visualizar y tomar nota de los valores de presión al inicio, final y de cada uno de los tramos del sistema.

Datos obtenidos de presión en la práctica experimental:

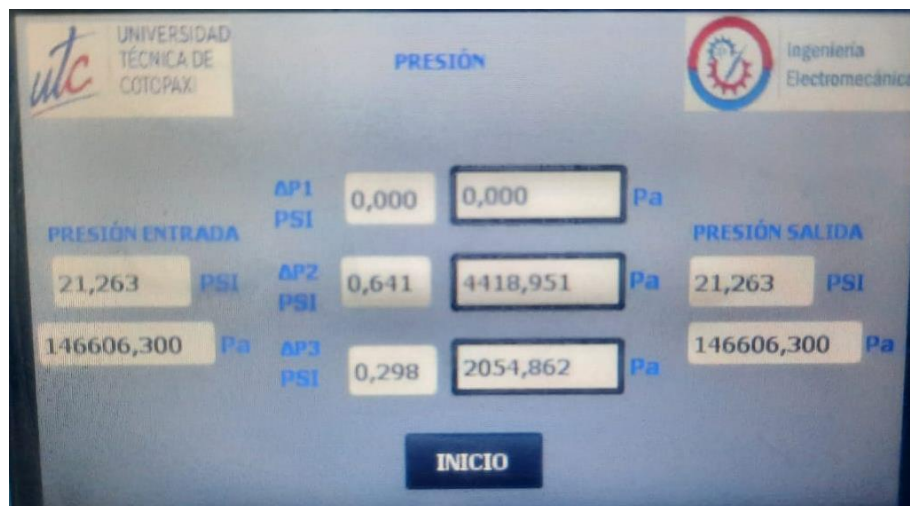


Figura. 15: Datos del módulo experimental

Figura. 15: En esta figura se evidencia los datos de presión para el caso

	Experimental
P.Entrada (Pa)	146606,300
$\Delta P1$ (Pa)	0
$\Delta P1$ (Pa)	4418,951
$\Delta P1$ (Pa)	2054,862
P. Salida (Pa)	146606,300

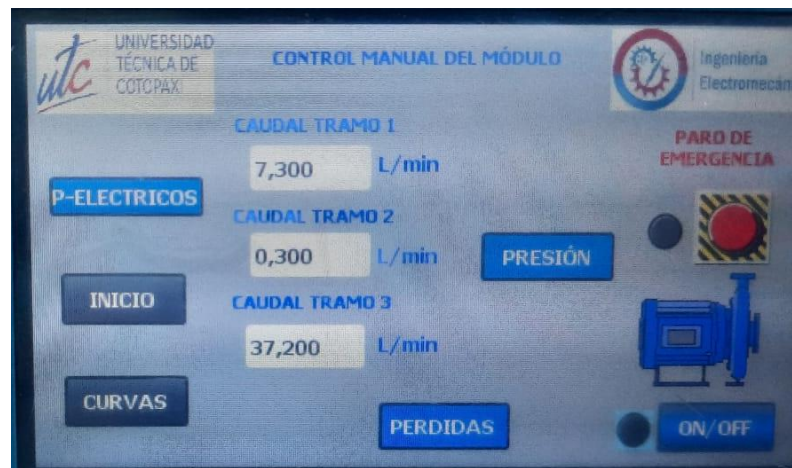


Figura. 16: Datos del módulo experimental

Figura. 16: En esta figura se evidencia los datos del caudal para el caso 1

	Caudal (LPM)
Tramo 1	7,3
Tramo 2	0
Tramo 3	37,2

Análisis de error:

	Simulación	Experimental	Error absoluto	Error relavito	Error %
P.Entrada (Pa)	129221,32	146606,3	17384,98	0,118582762	11,85827621
$\Delta P1$ (Pa)	10980,871	0	-10980,871	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!
$\Delta P1$ (Pa)	11275,001	4418,951	-6856,05	1,551510754	155,1510754
$\Delta P1$ (Pa)	4215,8699	2054,862	-2161,0079	1,051655975	105,1655975
P. Salida (Pa)	107259,575	146606,3	39346,725	0,268383589	26,83835892

Caudal (LPM)	Simulación	Experimental	Error absoluto	Error relativo	Error %
Tramo 1	13,16	7,3	-5,86	0,802739726	80,2739726
Tramo 2	0	0	0	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!
Tramo 3	63,99	37,2	-26,79	-0,72016129	-72,016129

Caso 4:

- Realice la simulación en el software “Epanet” para poder analizar los resultados que se van a obtener en la práctica experimental con el módulo.
- Abra la válvula del tramo 2 en la simulación y en el módulo.
- Cierre la válvula del tramo 3 en la simulación y en el módulo.

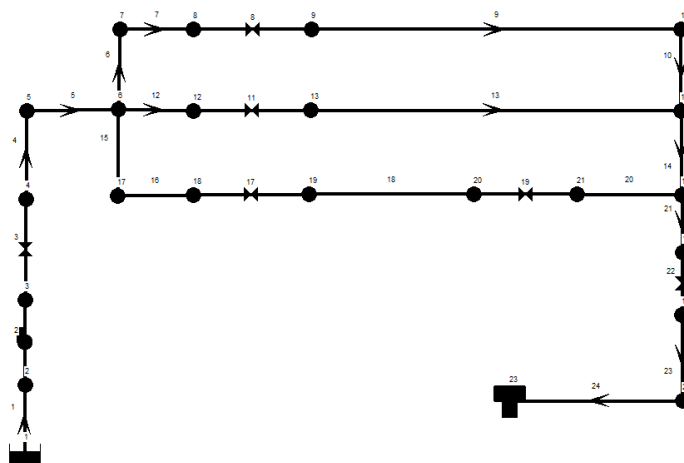


Figura. 17: Simulación en el software “Epanet”

Figura. 17: En esta figura se evidencia el cierre de la válvula ubicada en el segundo tramo.

Datos obtenidos de presión en la simulación:

Tramo	ID Nudo	Altura m	Presion (m)	Presion (Psi)	Presion (Pa)	ΔP
P. Entrada	Conexión 5	14,66	13,4	19,0548	131378,273	131378,27
1	Conexión 7	13,55	11,73	16,68006	115005,01	11961,305
	Conexión 10	12,33	10,51	14,94522	103043,705	
2	Conexión 6	13,59	12,12	17,23464	118828,706	12353,479
	Conexión 11	12,33	10,86	15,44292	106475,227	

3	Conexión 17	13,59	12,47	17,73234	122260,229	0
	Conexión 14	13,59	12,47	17,73234	122260,229	
P. Salida	Conexión 22	11,32	10,94	15,55668	107259,575	107259,57

Nota: Los valores de presión se seleccionan solo de la conexión de referencia en la cual este situado el manómetro o el sensor de presión.

Datos obtenidos de caudal en la simulación:

N° de tubería	Caudal (LPM)
Tubería 9	13,75
Tubería 13	63,2
Tubería 18	0
Total	76,95

Nota: Los valores de caudal se seleccionan solo de la tubería de referencia en la cual este situado el flujómetro.

- Accione el selector para encender la bomba.
- En la ventada control manual visualice y tome nota de los valores de Caudal, posteriormente presione el botón “Presión” para poder visualizar y tomar nota de los valores de presión al inicio, final y de cada uno de los tramos del sistema.

Datos obtenidos de presión en la práctica experimental:



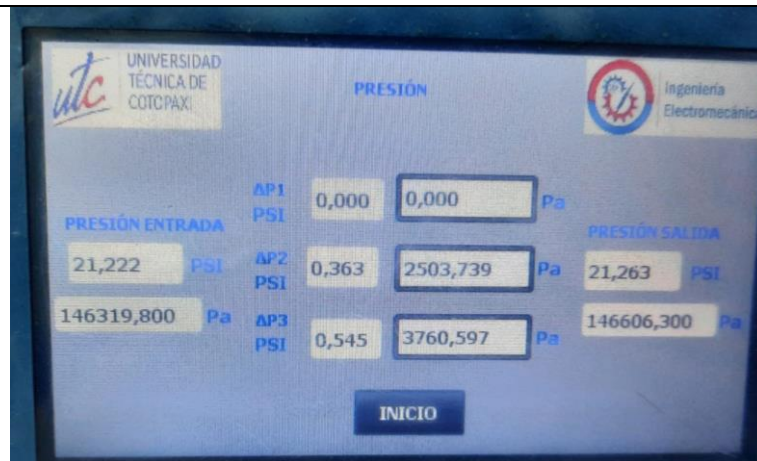


Figura. 18: Datos del módulo experimental

Figura. 18: En esta figura se evidencia los datos de presión para el caso 1

	Experimental
P. Entrada (Pa)	146319,800
$\Delta P1$ (Pa)	0
$\Delta P2$ (Pa)	2503,739
$\Delta P3$ (Pa)	3760,596
P. Salida (Pa)	146606,300

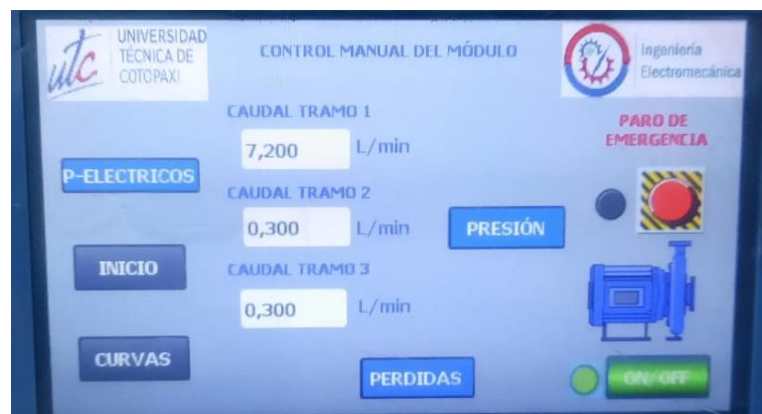


Figura. 19: Datos del módulo experimental

Figura. 19: En esta figura se evidencia los datos del caudal para el caso 1

	Caudal (LPM)
Tramo 1	7,2
Tramo 2	0,3
Tramo 3	0,3

Análisis de error:

	Simulación	Experimental	Error absoluto	Error relavito	Error %
P.Entrada (Pa)	131378,27	146319,8	14941,53	0,102115572	10,21155715
$\Delta P1$ (Pa)	11961,305	0	-11961,305	#DIV/0!	#DIV/0!
$\Delta P1$ (Pa)	12353,479	2503,739	-9849,74	3,934012291	393,4012291
$\Delta P1$ (Pa)	0	3760,596	3760,596	1	100
P. Salida (Pa)	107259,57	146606,3	39346,73	0,268383623	26,83836234

Caudal (LPM)	Simulación	Experimental	Error absoluto	Error relavito	Error %
Tramo 1	13,75	7,2	-6,55	0,909722222	90,9722222
Tramo 2	63,2	0,3	-62,9	209,6666667	20966,6667
Tramo 3	0	0,3	0,3	1	100

Apagado del módulo

1. Abra el panel de control



2. Accione los disyuntores Q1 Y Q2





Tutorial de manejo del software “Epanet”

Para la simulación de redes tipo malla en el software Epanet se debe conocer las unidades que emplea el software en los diferentes parámetros de medida o cálculos, además de seguir una serie de pasos, lo primero es crear un archivo nuevo en el cual se definirá las unidades en la pestaña proyecto-valores por defecto-opciones hidráulicas.

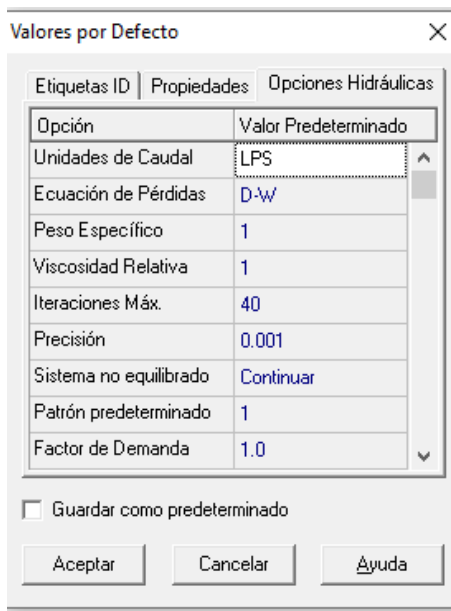


Figura 20: Unidades y opciones hidráulicas

Figura. 20: En esta figura se evidencia los distintos parámetros a seleccionar que nos proporciona el software.

En este apartado se puede definir o utilizar los valores predeterminados que nos ofrece el software en opciones como; unidades de caudal, los diferentes métodos de cálculo para la determinación de perdidas, peso relativo, la precisión, entre otros según demande el sistema que se quiera realizar.

Posteriormente se configura las opciones del plano en la pestaña ver-opciones y los parámetros a configurar son; el tamaño de nodos y líneas, rótulos, en etiquetas es importante que se muestre el identificador tanto de nodos como de líneas, los símbolos, flechas y fondos.

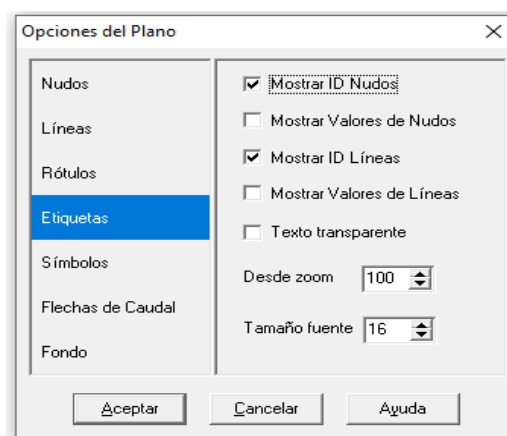


Figura. 21: Opciones de plano

Figura. 21: En esta figura se evidencia las distintas opciones de plano como puede ser tamaño de la conexión o línea, flechas del caudal, color de fondo, etiquetas.

Componentes y accesorios del sistema:

Embalse o reservorio; es el encargado de suministrar el flujo constante de agua a la red a lo largo de la simulación, para acceder a las propiedades del elemento se debe realizar doble clic sobre el mismo.

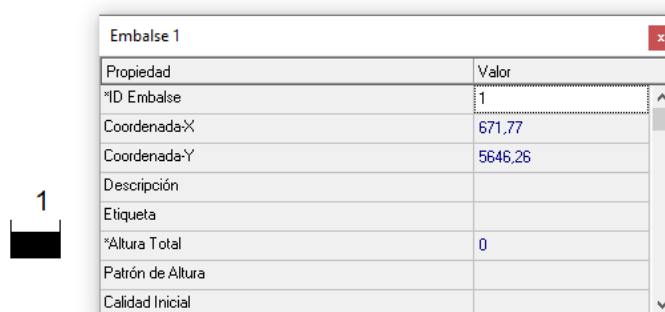


Figura. 22: Reservorio en Epanet

Figura. 22: En esta figura se evidencia las propiedades a configurar en el componente embalse.

Bombas; son elementos físicos para suministrar energía al fluido con el fin de desplazar desde un punto hacia otro, con lo cual se vencen las pérdidas de energía presentes en el circuito.

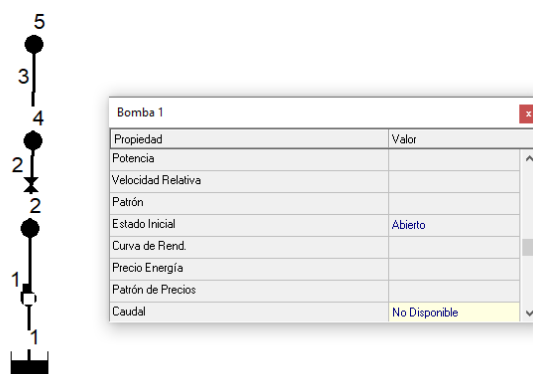


Figura. 23: Características de la bomba de agua en Epanet.

Figura. 23: En esta figura se evidencia las propiedades a configurar en la componente bomba.

Válvulas; son componentes que controlan el caudal o flujo dentro de un tramo de tubería, todas las válvulas que existen en epanet realizan algún tipo de control, ya sea con relación al caudal o la presión que circula sobre la misma.

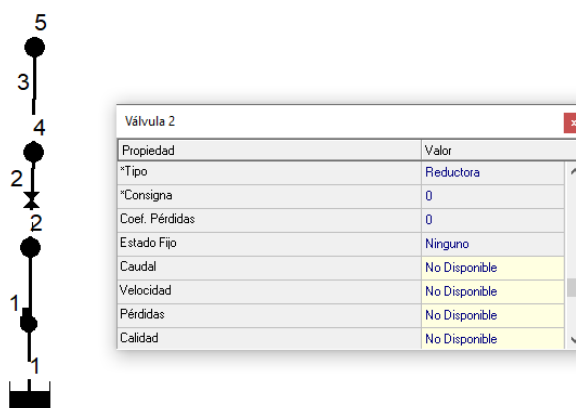


Figura. 24: Características de las válvulas en Epanet

Figura. 24: En esta figura se evidencia las propiedades a configurar en el componente válvulas.

Conexiones o nudo; por medio de este elemento se realizan conexiones de dos o más tuberías, también funciona para describir extracciones o inyección de agua en la red, si el nudo es utilizado como accesorio para la conexión de varias tuberías la demanda base es igual a cero.

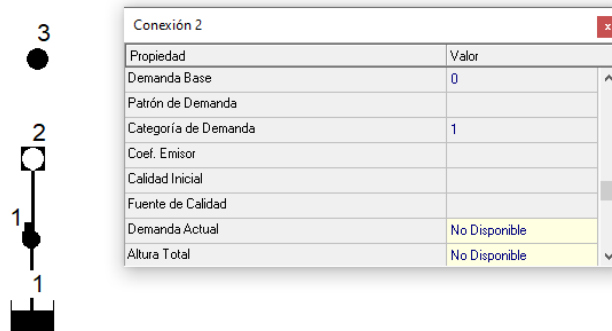


Figura 25: Reservorio en Epanet

Figura. 25: En esta figura se evidencia las propiedades a configurar en el componente reservorio.

Tuberías; es un elemento importante en una red hidráulica ya que es el encargado de trasportar el fluido por todo el sistema de distribución de agua, la dirección del fluido se rige por el principio de gradiente hidráulico de mayor a menor energía.

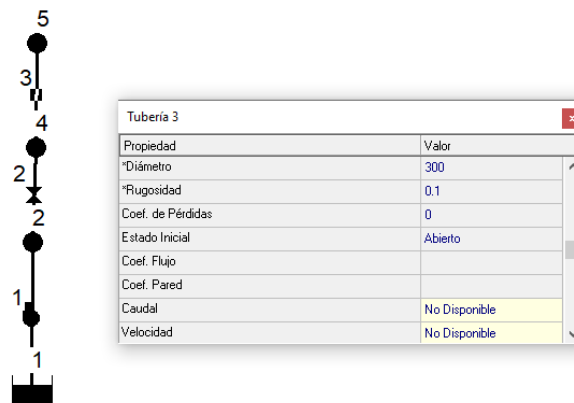


Figura. 26: Propiedades de la tubería en Epanet

Figura. 26: En esta figura se evidencia las propiedades a configurar en el componente tubería.

Deposito; son elementos que suministran el fluido a la red que se está estudiando, dependen de una fuente de suministro la cual puede ser un reservorio utilizando la gravedad o una bomba que utiliza la presión.

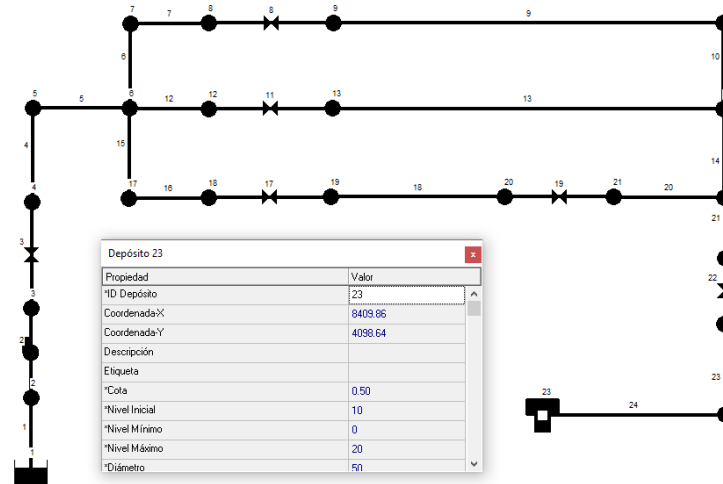


Figura. 27: Características del depósito en Epanet

Figura. 27: En esta figura se evidencia las propiedades a configurar en el componente depósito.

Operaciones de mantenimiento

Incorrecta operación del modulo

- No cerrar todas las válvulas al mismo tiempo.



Figura. 28: Cierre de válvulas

Figura. 28: En esta figura se evidencia el cierre de las válvulas en los diferentes tramos.

Se recomienda no cerrar todas las válvulas al mismo tiempo ya que podría ocasionar daños a la bomba de agua. En el caso que las válvulas estén cerradas la bomba posee un auto apagado cuando excede los 50 psi, pero a pesar de eso no se recomienda cerrar todas las válvulas.

- Cambio del fluido



Figura. 29: Flujo del sistema

Figura. 29: En esta figura se evidencia el flujo del sistema que transita por cada tramo.

Se recomienda cambiar el agua después de cada cinco prácticas ya que puede ocasionar la oxidación en los sensores.

- Averías en el cableado

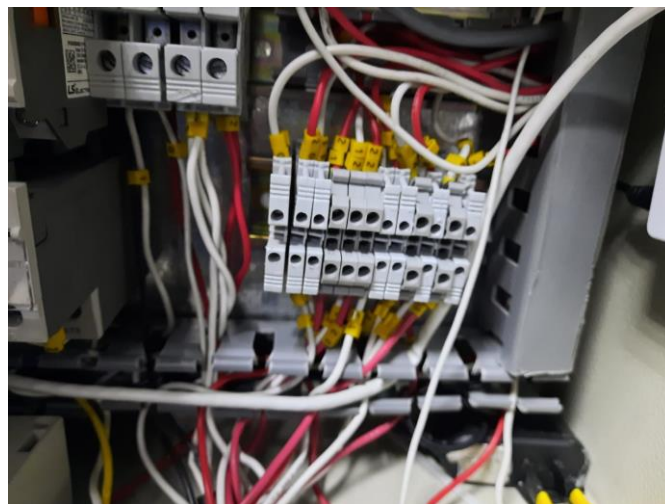


Figura. 30: Averías en el cableado

Figura. 30: En esta figura se evidencia el cableado del panel de control

Se recomienda realizar una inspección en el cableado del módulo para que exista un correcto funcionamiento de este, además de visualizar que en el controlador lógico programable no se prendan las luces de alerta en este caso roja o anaranjado, en el caso que un cable se suelte, se recomienda seguir el diagrama de conexión.

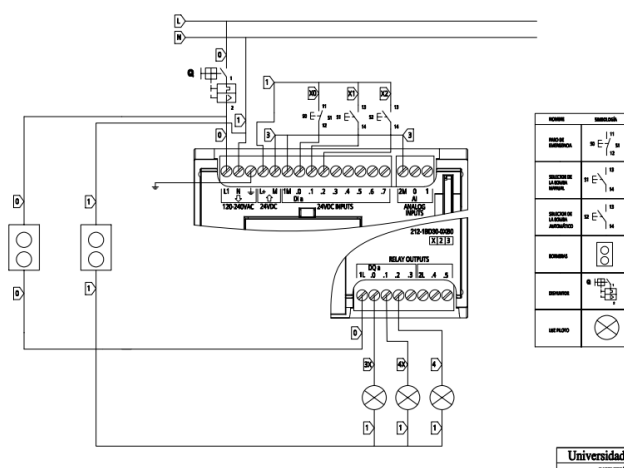


Figura. 18: Diagrama de conexión.

Figura. 18: En esta figura se evidencia el diagrama de conexión a seguir en el caso que exista alguna desconexión.

- Adquisición de datos errónea



Figura. 18: Adquisición de datos errónea

Figura. 18: En esta figura se evidencia una falla recepción de los valores de presión.

Se anexará la programación del módulo en el caso que haya errores en el control y recepción de datos, de esta manera se podrá volver a cargar el programa en el controlador lógico programable cuando su funcionamiento no sea el adecuado.

- Encendido de la bomba al desconectarse el disyuntor

Una vez la bomba se haya apagado automáticamente por el exceso de presión en el sistema, se recomienda apagar la bomba por medio del selector para posteriormente energizar el disyuntor y nuevamente encender la bomba en el caso que se quiera continuar con pruebas en el módulo



UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE
COTOPAXI

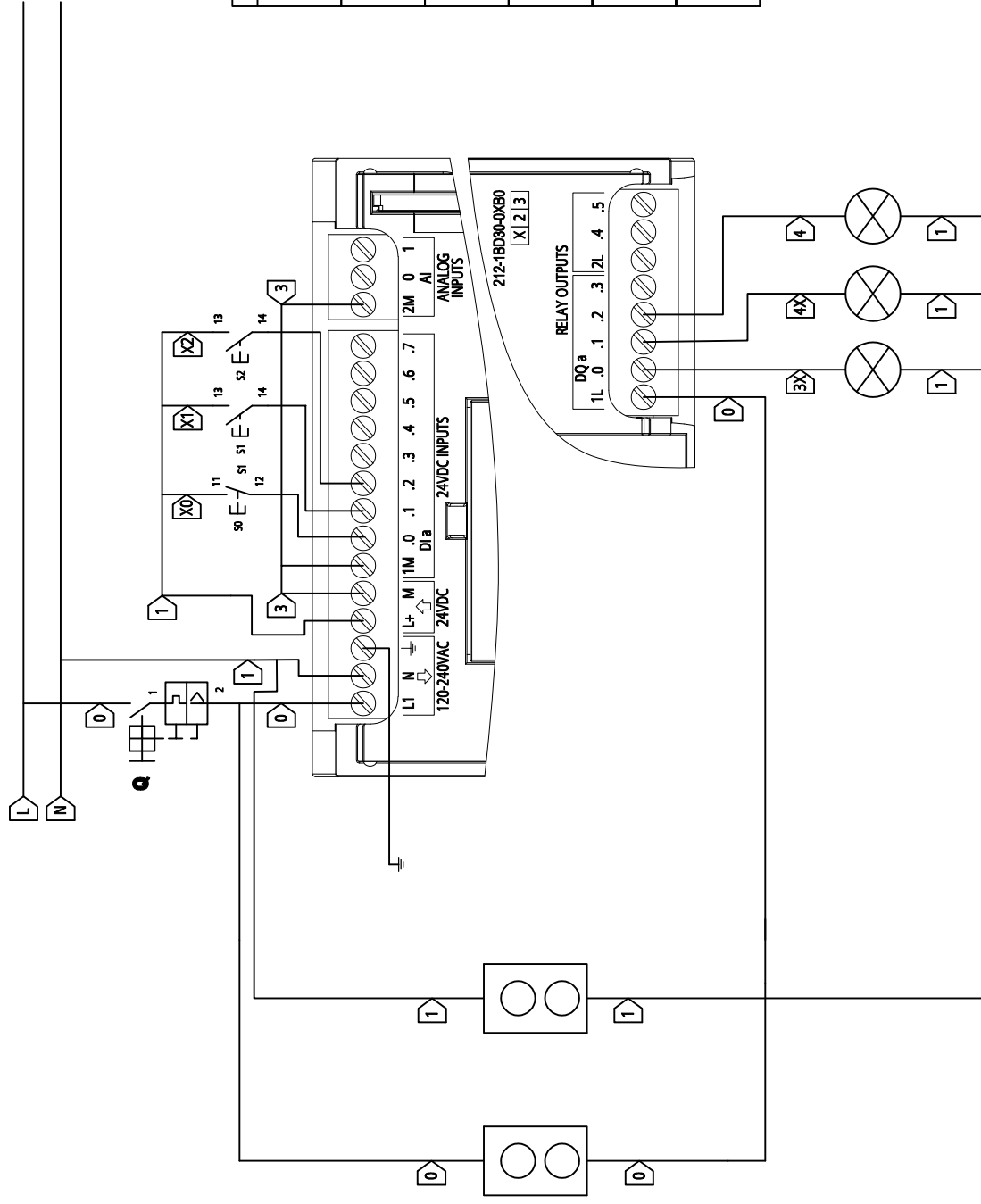
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA
INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

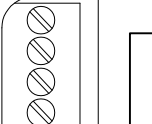







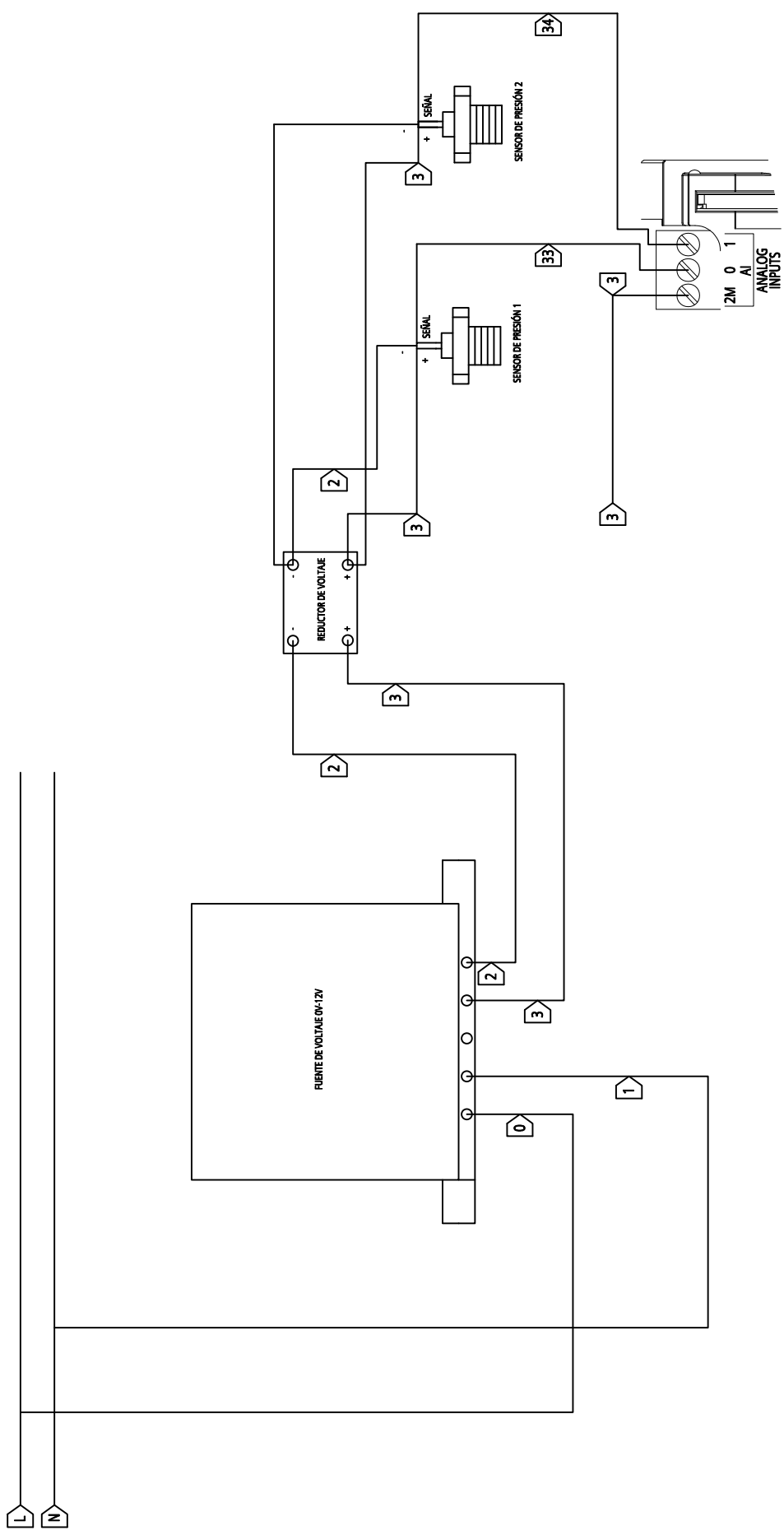
Ingeniería
Electromecánica

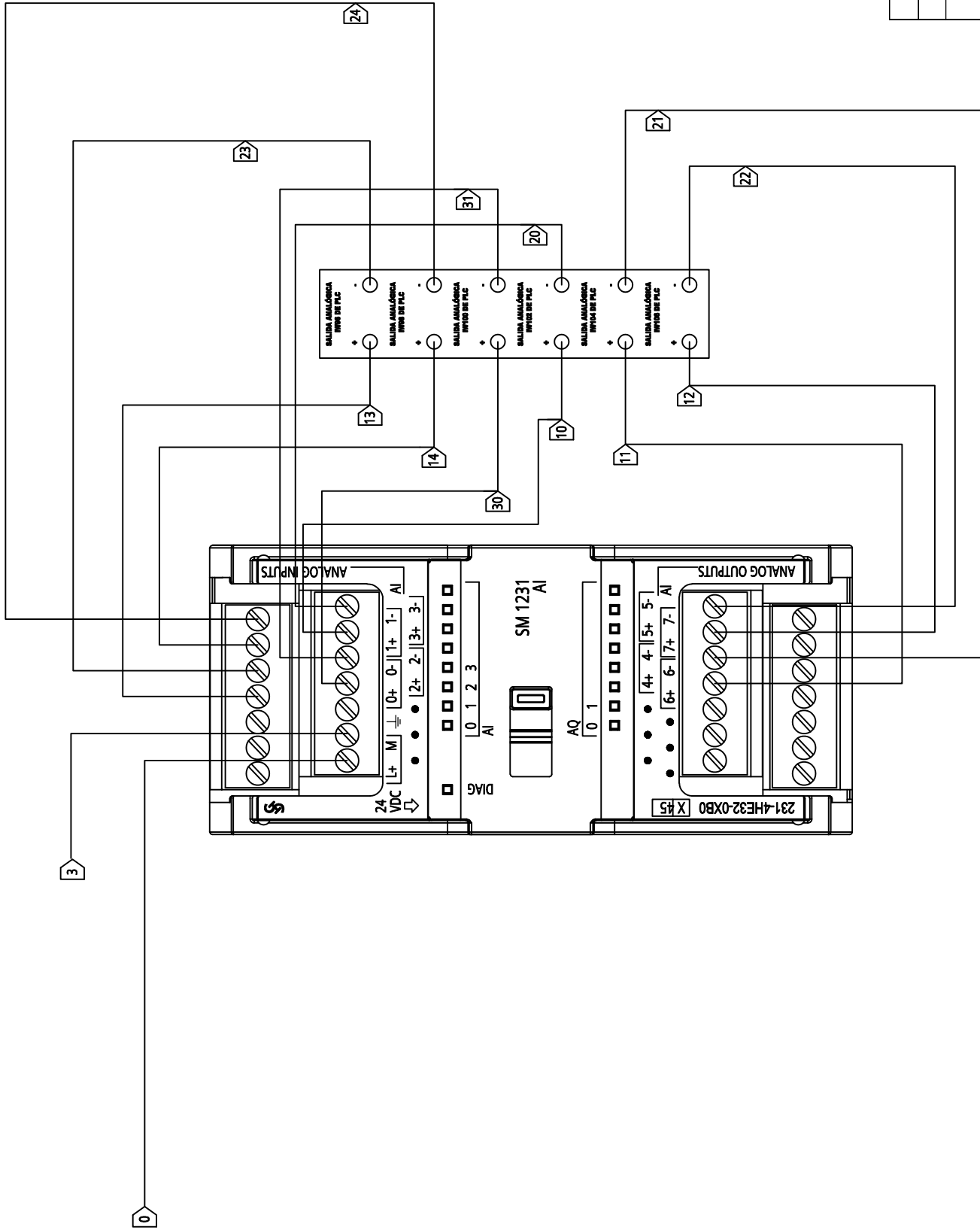
Anexo IV.

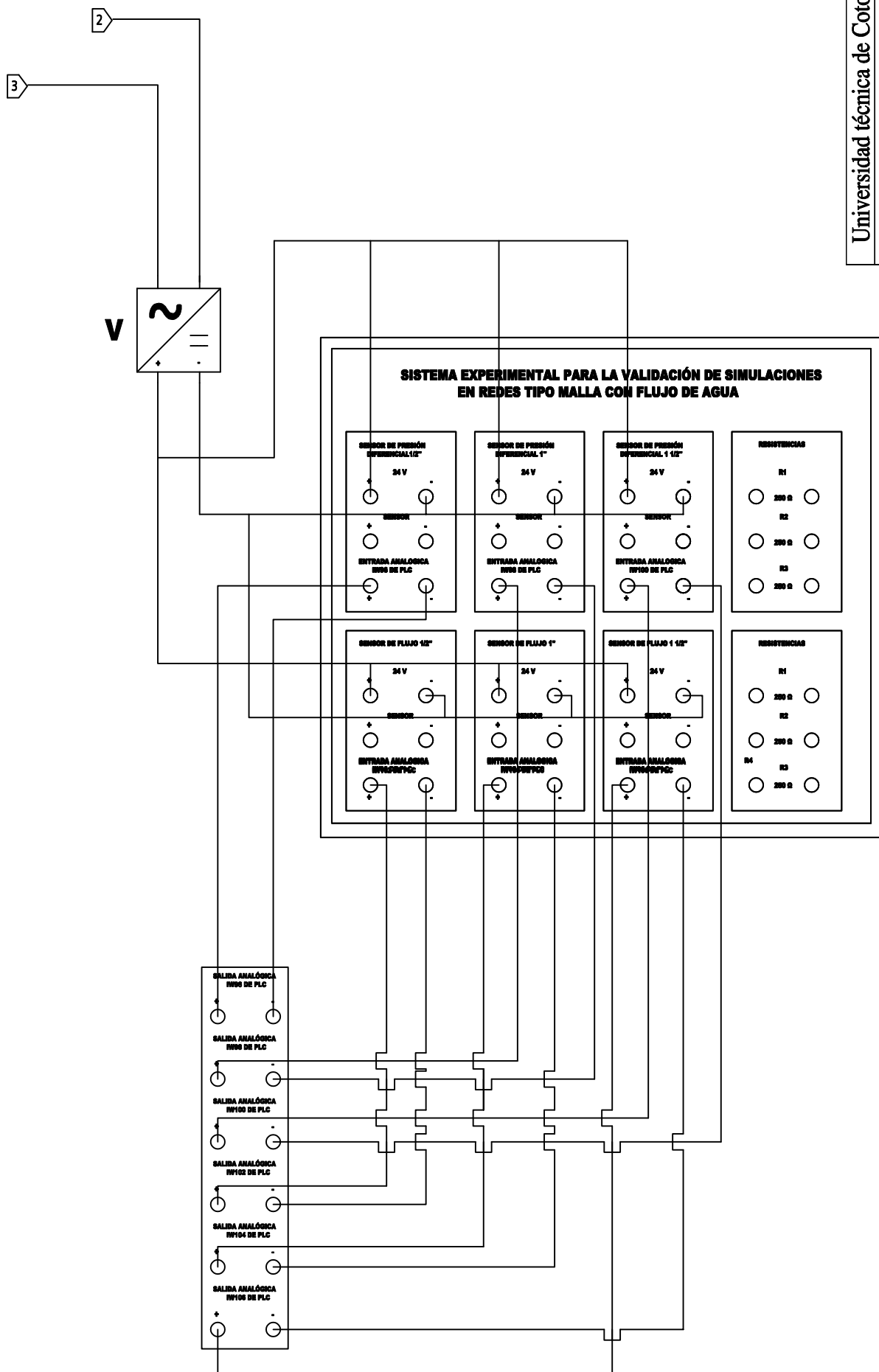
Plano de conexión del módulo didáctico y tablero de control.



NOMBRE	SIMBOLOGÍA
PANAL DE EMERGENCIA	
SELECTOR DE ALARMA MANUAL	
SELECTOR DE ALARMA AUTOMÁTICO	
BORNERAS	
DISYUNTOR	
LUZ PILOTO	









Universidad Técnica de Cotopaxi

INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

MANEJO DE COMANDO Y CONTROL

MEMORIA

PROYECTO:

PÁG. 10 DE 11

CONEXIÓN ELÉCTRICA DEL MÓDULO

