

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

**Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y
Mecatrónica**



“DISEÑO DE UN MÓDULO AUTOMATIZADO PARA EL ANÁLISIS DE CAÍDA DE PRESIÓN EN UN BANCO DE TUBERÍAS”

Tesis presentada por los Bachilleres:
Amaña Flores Kevin Gabriel
Chávez Martínez Gerardo Alejandro

para optar el Título Profesional de:
Ingeniero Mecánico Electricista

Asesor:
Dr. Fernández Barriga Camilo
Grimaldo

Arequipa – Perú

2023

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA MECANICA, MECANICA-ELECTRICA Y MECATRONICA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 31 de Mayo del 2023

Dictamen: 006881-C-EPIMMEM-2023

Visto el borrador del expediente 006881, presentado por:

2013200901 - CHAVEZ MARTINEZ GERARDO ALEJANDRO

2013800991 - AMAÑA FLORES KEVIN GABRIEL

Titulado:

**DISEÑO DE UN MÓDULO AUTOMATIZADO PARA EL ANÁLISIS DE CAÍDA DE PRESIÓN EN UN
BANCO DE TUBERÍAS**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

30857994 - GORDILLO ANDIA CARLOS ALBERTO
DICTAMINADOR



40386948 - VALDEZ LOAIZA JUAN CARLOS
DICTAMINADOR



29460348 - AREVALO DAZA JORGE LUIS
DICTAMINADOR



Dedicatoria

A Dios.

A la Virgen de Chapi.

A mis padres:

José Amaña y Naldy Flores, por su incondicional apoyo y por sus sabios consejos.

A mi hermano, por su valor de la perseverancia.

Bachiller: Kevin Gabriel Amaña Flores

A Dios.

A la Cruz de las Peñas.

A la Virgen de Chapi.

A la Virgen de Guadalupe.

A mis padres:

Javier Chávez y Giovanna Martínez, por su apoyo incondicional y por motivarme a ser mejor persona cada día.

A mis abuelos, por estar siempre a mi lado.

A mi hermana, mi gran soporte.

Bachiller: Gerardo Alejandro Chávez Martínez

Agradecimientos

Agradezco a mi asesor Dr. Camilo Grimaldo Fernández Barriga por el tiempo y conocimientos durante la investigación.

Agradezco al PhD. Juan Carlos Valdez Loaiza por el apoyo y paciencia prestados durante la realización de la tesis.

Y, agradezco a todas las personas que de una u otra manera se vieron involucradas con el desarrollo de la presente tesis.



Resumen

La caída de presión en un sistema de tuberías de cualquier fluido empleado se presenta continuamente en las grandes industrias, en consecuencia, de la fricción del fluido con la tubería, accesorios y dispositivos (válvulas, derivaciones, codos, cambios de dirección, etc.). Esto conlleva a clasificarlo en pérdidas primarias, pérdidas secundarias y la altura dinámica total la cual es la suma de altura estática a vencer y las pérdidas de carga del sistema.

Se diseñó y construyó el módulo de banco de tuberías con el propósito de resolver problemas prácticos sobre la caída de presión, el enfoque está direccionado en las propiedades del fluido (agua), tuberías, selección de bombas e instrumentos de medición (Transmisores de presión y Sensor de flujo). El diseño del módulo de banco de tuberías con bombas centrífugas tiene dos tipos de configuración; en serie y paralelo. Además se configuró cuatro distintas trayectorias diferenciándose el diámetro y material de las tuberías y accesorios.

Así mismo se realizó los cálculos teóricos de caída de presión en el software EES (Engineering Equation Solver), el cual presenta una interfaz donde al usuario le permite interactuar con las distintas configuraciones del sistema y conocer las pérdidas secundarias, primarias y las alturas dinámicas totales por trayectoria con la finalidad de conocer el punto de operación del sistema. Adicionalmente se corroboró los resultados teóricos con programa Excel.

Se elaboró la interfaz en el software LabVIEW la cual analiza y muestra el comportamiento de la caída de presión por cada trayectoria del módulo de banco de tuberías. La comunicación entre los transmisores de presión (señal analógica) y sensor de flujo (señal digital) con la interfaz es por intermedio del Arduino "MEGA".

Como resultado y comparación entre nuestros cálculos teóricos (EES) y datos experimentales (LabVIEW) se obtuvieron las alturas dinámicas totales de cada trayectoria en serie; TDH de la trayectoria 1 es 17.75 [m], TDH de la trayectoria 2 es 29.74 [m], TDH de la trayectoria 3 es 29.22 [m], TDH de la trayectoria 4 es 65.70 [m] y en paralelo; TDH de la trayectoria 1 es 20.17 [m], TDH de la trayectoria 2 es 32.20 [m], TDH de la trayectoria 3 es 31.68 [m], TDH de la trayectoria 4 es 68.16 [m].

Palabras Clave: Caída de presión, Pérdidas secundarias, Pérdidas primarias, Automatización, LabVIEW, EES.

Abstract

The pressure drop in a piping system of any fluid used is continuously present in large industries, due to the friction of the fluid with the pipe, accessories and devices (valves, derivations, elbows, changes of direction, etc.). This leads to classify it into primary losses, secondary losses and the total dynamic head which is the sum of static head to overcome and the system head losses.

The pipe bank module was designed and built with the purpose of solving practical problems on pressure drop, the focus is directed on the properties of the fluid (water), piping, selection of pumps and measuring instruments (pressure transmitters and flow sensors). The design of the pipe bank module with centrifugal pumps has two types of configuration; in series and parallel. In addition, four different trajectories were configured, differentiating the diameter and material of the pipes and accessories.

Theoretical calculations of pressure drop were also performed in the EES (Engineering Equation Solver) software, which presents an interface where the user can interact with the different configurations of the system and know the secondary and primary losses and the total dynamic heads per trajectory in order to know the operating point of the system. Additionally, the theoretical results were corroborated with Excel software.

The interface was developed in LabVIEW software, which analyzes and shows the behavior of the pressure drop for each trajectory of the pipe bank module. The communication between the pressure transmitters (analog signal) and flow sensor (digital signal) with the interface is through the Arduino "MEGA".

As a result, and comparison between our theoretical calculations (EES) and experimental data (LabVIEW) we obtained the total dynamic heights of each trajectory in series; TDH of trajectory 1 is 17.75 [m], TDH of trajectory 2 is 29.74 [m], TDH of trajectory 3 is 29.22 [m], TDH of trajectory 4 is 65.70 [m] and in parallel; TDH of trajectory 1 is 20.17 [m], TDH of trajectory 2 is 32.20 [m], TDH of trajectory 3 is 31.68 [m], TDH of trajectory 4 is 68.16 [m].

Keywords: Pressure drop, Secondary losses, Primary losses, Automation, LabVIEW, EES.

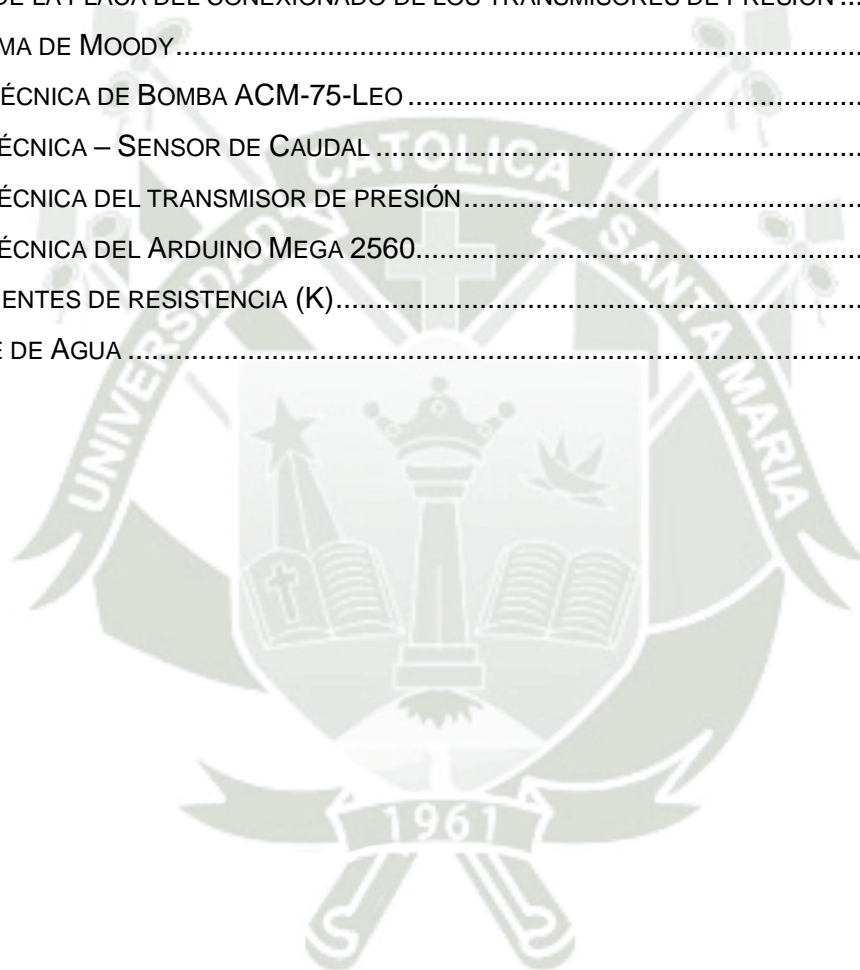
Índice

DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
RESUMEN.....	5
ABSTRACT.....	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	11
ÍNDICE DE FIGURAS.....	12
NOMENCLATURA.....	14
INTRODUCCIÓN.....	17
1. CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	18
1.1. ESTADO DEL ARTE.....	18
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
1.3. HIPÓTESIS.....	19
1.3.1. Hipótesis Específicas.....	19
1.4. OBJETIVO PRINCIPAL.....	20
1.5. OBJETIVOS SECUNDARIOS.....	20
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	21
2.1. TEORÍA DE ERRORES Y EXPERIMENTACIÓN EN MEDICIONES.....	21
2.2. FLUIDOS.....	22
2.3. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS FLUIDOS.....	22
2.3.1. Densidad.....	22
2.3.2. Peso específico.....	22
2.3.3. Densidad relativa.....	23
2.3.4. Viscosidad.....	23
2.4. CAUDAL.....	25
2.5. PRESIÓN.....	25
2.5.1. Presión atmosférica.....	25
2.5.2. Presión Absoluta.....	26
2.5.3. Presión Barométrica.....	26
2.5.4. Presión Manométrica.....	26
2.5.5. Presión en Vacío.....	26
2.6. LABVIEW.....	26
2.7. ARDUINO MEGA.....	27
2.8. EQUIPOS.....	28
2.8.1. Bombas.....	28
2.9. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.....	32

2.9.1. Transmisores.....	32
2.9.2. Caudalímetro.....	33
2.9.3. Sensor.....	33
2.10. CONTACTORES.....	34
2.11. VÁLVULAS.....	34
2.11.1. Válvula Compuerta.....	35
2.11.2. Válvula bola.....	35
2.11.3. Válvula mariposa.....	35
2.11.4. Válvula angular.....	36
2.12. TUBERÍAS.....	36
2.13. ACCESORIOS.....	37
2.13.1. Unión universal.....	37
2.13.2. Conexión en Tee.....	38
2.13.3. Codo.....	38
2.13.4. Reducciones.....	39
3. CAPÍTULO III: MODELO MATEMÁTICO.....	40
3.1. RÉGIMEN DE FLUJO.....	40
3.1.1. Flujo Laminar y flujo turbulento.....	40
3.1.2. Número de Reynolds.....	40
3.1.3. Caudal.....	43
3.1.4. Ecuación de Continuidad.....	43
3.1.5. Principio de Bernoulli.....	43
3.1.6. Ecuación General de energía.....	44
3.1.7. Pérdidas de carga.....	45
3.2. CONFIGURACIÓN EN PARALELO.....	48
3.3. CONFIGURACIÓN EN SERIE.....	49
4. CAPÍTULO IV: DISEÑO DE BANCO DE TUBERÍAS AUTOMATIZADO.....	51
4.1. CONDICIONES GENERALES:.....	51
4.2. PARÁMETROS DE DISEÑO.....	53
4.2.1. Parámetros constantes:.....	53
4.2.2. Parámetros variables.....	53
4.2.3. Selección de Materiales y Diámetros.....	53
4.3. TRAYECTORIAS.....	54
4.3.1. Trayectoria 1 – En serie.....	54
4.3.2. Trayectoria 2 – En Serie.....	58
4.3.3. Trayectoria 3 – En Serie.....	61
4.3.4. Trayectoria 4 – En serie.....	64
4.3.5. Trayectoria 1 – En Paralelo.....	66
4.3.6. Trayectoria 2 – En Paralelo.....	68
4.3.7. Trayectoria 3 – En Paralelo.....	71
4.3.8. Trayectoria 4 – En Paralelo.....	73
4.3.9. Resumen de las curvas de Operación del sistema en serie.....	76

4.3.10. Resumen de curvas de Operación del sistema en paralelo	77
4.4. SELECCIÓN DE LA BOMBA.....	78
4.4.1. Curva de operación de la bomba.....	80
4.4.2. Comparación – Curva de la bomba vs Curva del sistema (En serie)	80
4.4.3. Comparación – Curva de la bomba vs Curva del sistema (En paralelo)	85
4.5. SELECCIÓN DEL TRANSMISOR DE PRESIÓN	90
4.5.1. Configuración en serie:	91
4.5.2. Configuración en paralelo	92
4.6. SELECCIÓN DEL SENSOR DE CAUDAL	94
4.7. SELECCIÓN DE VÁLVULAS.....	95
4.7.1. Válvulas globo	95
4.7.2. Válvulas bolas	95
4.8. TANQUE DE ALMACENAMIENTO	95
4.9. OTROS ACCESORIOS.....	96
4.9.1. Reductores	96
5. CAPÍTULO V: MONTAJE Y AUTOMATIZACIÓN	97
5.1. PROCESO DE MONTAJE.....	97
5.1.1. Instalación de los transmisores de presión y sensor de caudal	99
5.2. PROCESO DE AUTOMATIZACIÓN	103
5.2.1. Diagrama de Flujo.....	103
5.2.2. Etapa de control	104
5.2.3. Panel de control	104
5.2.4. Señal digital y analógica de sensores	105
5.2.5. Transmisión de datos hacia PC.....	106
5.2.6. Obtención y procesamiento de datos en LabView	106
5.2.7. Interfaz de LabVIEW	108
6. CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE RESULTADOS	110
6.1. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	110
6.1.1. Pérdidas primarias y secundarias – Trayectoria 1 en serie	110
6.1.2. Pérdidas primarias y secundarias – Trayectoria 2 en serie	111
6.1.3. Pérdidas primarias y secundarias – Trayectoria 3 en serie	112
6.1.4. Pérdidas primarias y secundarias – Trayectoria 4 en serie	113
6.1.5. Pérdidas primarias y secundarias – Trayectoria 1 en paralelo	114
6.1.6. Pérdidas primarias y secundarias – Trayectoria 2 en paralelo	115
6.1.7. Pérdidas primarias y secundarias – Trayectoria 3 en paralelo	115
6.1.8. Pérdidas primarias y secundarias – Trayectoria 4 en paralelo	116
7. CAPÍTULO VII: PRESUPUESTO PARA EQUIPOS.....	118
7.1. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS.....	118
7.2. COMPARACIÓN ECONÓMICA CON OTROS MÓDULOS.....	119
8. CONCLUSIONES.....	120

RECOMENDACIONES	121
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122
ANEXO	125
A. GUÍAS DE PRÁCTICA.....	125
B. PLANO DEL BANCO DE TUBERÍAS	137
C. PLANO DE LA ESTRUCTURA	138
D. CÓDIGO DEL SOFTWARE EES.....	139
E. PLANO DE LA PLACA DEL CONEXIONADO DE LOS TRANSMISORES DE PRESIÓN	144
F. DIAGRAMA DE MOODY.....	144
G. FICHA TÉCNICA DE BOMBA ACM-75-LEO.....	145
H. FICHA TÉCNICA – SENSOR DE CAUDAL.....	148
I. FICHA TÉCNICA DEL TRANSMISOR DE PRESIÓN.....	149
J. FICHA TÉCNICA DEL ARDUINO MEGA 2560.....	153
K. COEFICIENTES DE RESISTENCIA (K).....	159
L. TANQUE DE AGUA.....	164



Índice de Tablas

Tabla 1. Clasificación de Bombas (VILLAREAL LOPEZ, 2008)	30
Tabla 2. Condiciones de flujo según número de Reynolds	41
Tabla 3. Rugosidades Absolutas (Mott, 2015)	48
Tabla 4. NTP 399.166:2008 (revisada el 2018) tubos de poli (cloruro de vinilo) no plastificado (PVC-U) para la conducción de fluidos a presión con unión tipo rosca.....	54
Tabla 5. Características de hierro fundido - Elaboración propia	54
Tabla 6. Pérdidas de carga por fricción en Trayectoria 1-En Serie (Elaboración propia)	56
Tabla 7. Pérdidas de carga por accesorios en la Trayectoria 1-En Serie (Elaboración propia)	57
Tabla 8. Cálculo de curva del sistema para trayectoria 1.	58
Tabla 9. Pérdidas de carga por fricción en Trayectoria 2-En Serie (Elaboración propia).....	59
Tabla 10. Pérdidas de carga por accesorios en la Trayectoria 2-En Serie (Elaboración propia).....	60
Tabla 11. Cálculo de curva del sistema para trayectoria 2.	60
Tabla 12. Pérdidas de carga por fricción en Trayectoria 3-En Serie (Elaboración propia).....	62
Tabla 13. Pérdidas de carga por accesorios en la Trayectoria 3-En Serie (Elaboración propia).....	62
Tabla 14. Cálculo de curva del sistema para trayectoria 3.	63
Tabla 15. Pérdidas de carga por fricción en Trayectoria 4-En Serie (Elaboración propia).....	64
Tabla 16. Pérdidas de carga por accesorios en la Trayectoria 4-En Serie (Elaboración propia).....	65
Tabla 17. Cálculo de curva del sistema para trayectoria 4.	65
Tabla 18. Pérdidas de carga por fricción en Trayectoria 1-En Paralelo (Elaboración propia)...	67
Tabla 19. Pérdidas de carga por accesorios en la Trayectoria 1-En Paralelo (Elaboración propia)	67
Tabla 20. Cálculo de curva del sistema para trayectoria 1.	68
Tabla 21. Pérdidas de carga por fricción en Trayectoria 2-En Paralelo (Elaboración propia)...	69
Tabla 22. Pérdidas de carga por fricción en Trayectoria 2-En Paralelo (Elaboración propia)...	70
Tabla 23. Cálculo de curva del sistema para trayectoria 2.	70
Tabla 24. Pérdidas de carga por fricción en Trayectoria 3-En Paralelo (Elaboración propia)...	72
Tabla 25. Pérdidas de carga por fricción en Trayectoria 3-En Paralelo (Elaboración propia)...	72
Tabla 26. Cálculo de curva del sistema para trayectoria 3.	73
Tabla 27. Pérdidas de carga por fricción en Trayectoria 4-En Paralelo (Elaboración propia)...	74
Tabla 28. Pérdidas de carga por fricción en Trayectoria 4-En Paralelo (Elaboración propia)...	75
Tabla 29. Cálculo de curva del sistema para trayectoria 4.	75
Tabla 30. Resumen de las alturas dinámicas en el sistema en serie.....	76
Tabla 31. Resumen de las alturas dinámicas en el sistema en paralelo.	77
Tabla 32. Características de la bomba centrífuga ACm 75 (LEO, 2022).	79
Tabla 33. Curva de operación de la bomba ACm75.....	80
Tabla 34. Análisis de resultados - Trayectoria 1 en serie (Fuente propia)	110
Tabla 35. Análisis de resultados - Trayectoria 2 en serie (Fuente propia)	111
Tabla 36. Análisis de resultados - Trayectoria 3 en serie (Fuente propia)	112
Tabla 37. Análisis de resultados - Trayectoria 4 en serie (Fuente propia)	113
Tabla 38. Análisis de resultados - Trayectoria 1 en paralelo (Fuente propia).....	114
Tabla 39. Análisis de resultados - Trayectoria 2 en paralelo (Fuente propia).....	115
Tabla 40. Análisis de resultados - Trayectoria 3 en paralelo (Fuente propia).....	115
Tabla 41. Análisis de resultados - Trayectoria 4 en paralelo (Fuente propia).....	116
Tabla 42. Análisis de precios unitarios (Elaboración Propia).	118

Índice de Figuras

Figura 1. Tipos de presiones (Lirio Fructuoso, 2019)	25
Figura 2 Tarjeta Arduino “MEGA”	28
Figura 3. Bomba Desplazamiento Positivo	29
Figura 4. Curva de una bomba Centrífuga	31
Figura 5. Transmisor de Presión.....	32
Figura 6. Caudalímetro.....	33
Figura 7. Sensor	33
Figura 8. Contactor.....	34
Figura 9. Válvula de compuerta (Crane et al., 2005).....	35
Figura 10. Válvula bola (Crane et al., 2005).....	35
Figura 11. Válvula bola.....	36
Figura 12. Válvula angular	36
Figura 13. Unión Universal PVC	38
Figura 14. Conexión en Tee PVC	38
Figura 15. Conexión en codo PVC	38
Figura 16. Reductor/Bushing PVC	39
Figura 17. Elemento de fluido utilizado en la ecuación de Bernoulli(Mott, 2015).....	44
Figura 18. Diagrama de Moody (Mott, 2015).....	47
Figura 19. Bombas en Paralelo (Shashi Menon & Shashi Menon, 2010).....	49
Figura 20. Configuración en serie (Shashi Menon & Shashi Menon, 2010)	49
Figura 21. Trayectorias del módulo del banco de tuberías - SolidWorks (Fuente propia).....	52
Figura 22. Trayectoria 1 - Configuración en serie.	54
Figura 23. Curva del sistema Trayectoria 1. (Elaboración propia).....	58
Figura 24. Trayectoria 2 - Configuración en serie.	59
Figura 25. Curva del sistema Trayectoria 2. (Elaboración propia).....	61
Figura 26. Trayectoria 3 - Configuración en serie.	61
Figura 27. Curva del sistema Trayectoria 3. (Elaboración propia).....	63
Figura 28. Trayectoria 4 - Configuración en serie.	64
Figura 29. Curva del sistema Trayectoria 4. (Elaboración propia).....	66
Figura 30. Trayectoria 1 configuración en paralelo.....	66
Figura 31. Curva del sistema Trayectoria 1. (Elaboración propia).....	68
Figura 32. Trayectoria 2 configuración en paralelo.....	69
Figura 33. Curva del sistema Trayectoria 2. (Elaboración propia).....	71
Figura 34. Trayectoria 3 configuración en paralelo.....	71
Figura 35. Curva del sistema Trayectoria 3. (Elaboración propia).....	73
Figura 36. Trayectoria 4 configuración en paralelo.....	74
Figura 37. Curva del sistema Trayectoria 4. (Elaboración propia).....	76
Figura 38. Curvas del sistema en serie. (Elaboración propia).....	77
Figura 39. Curvas del sistema en paralelo. (Elaboración propia)	78
Figura 40. Bomba centrífuga Leo ACm75 1HP (LEO, 2022).....	79
Figura 41. Curva de funcionamiento de la Bomba (Elaboración propia).....	80
Figura 42. Curva de la bomba vs Curva del sistema - trayectoria 1 (Elaboración propia).....	81
Figura 43. Curva de la bomba vs Curva del sistema - trayectoria 2 (Elaboración propia).....	82
Figura 44. Curva de la bomba vs Curva del sistema - trayectoria 3 (Elaboración propia).....	83
Figura 45. Curva de la bomba vs Curva del sistema - trayectoria 4 (Elaboración propia).....	84
Figura 46. Curva de la bomba vs Curva del sistema - trayectoria 1 (Elaboración propia).....	86
Figura 47. Curva de la bomba vs Curva del sistema - trayectoria 2 (Elaboración propia).....	87
Figura 48. Curva de la bomba vs Curva del sistema - trayectoria 3 (Elaboración propia).....	88
Figura 49. Curva de la bomba vs Curva del sistema - trayectoria 4 (Elaboración propia).....	89

Figura 50. Transmisor de presión	93
Figura 51. Sensor de Caudal	94
Figura 52. Válvula globo	95
Figura 53. Válvula bola.....	95
Figura 54. Tanque de almacenamiento.....	96
Figura 55. Reductor.....	96
Figura 56. Elaboración de la estructura del banco de tuberías.....	97
Figura 57. Estructura del banco de tuberías	97
Figura 58. Montaje de tablero y bombas	98
Figura 59. Armado de trayectorias	98
Figura 60. Montaje de trayectorias y válvulas	99
Figura 61. Instalación de transmisores de presión	99
Figura 62. Conexión del Transmisor de presión piezoeléctrico (fabricante).	100
Figura 63. Instalación del sensor de caudal	100
Figura 64. Pruebas de señal de transmisores de presión	101
Figura 65. Conexión entre sensores y Arduino Mega.....	101
Figura 66. Tablero del sistema interconectado.	102
Figura 67. Módulo de Banco de Tuberías.....	102
Figura 68. Circuito de conexión de los transmisores de presión al Arduino Mega (Fuente propia).	104
Figura 69. Procedimiento "Modulación por impulsos codificados (PCM)"	105
Figura 70. Polarización eléctrica	105
Figura 71. Conexión entre los sensores y el Arduino Mega.....	106
Figura 72. Adquisición de datos del transmisor de presión-LabVIEW (Fuente propia).....	107
Figura 73. Adquisición de datos del sensor de flujo-LabVIEW (Fuente propia).....	108
Figura 74. Datos provenientes de los transmisores de presión (Fuente propia)	108
Figura 75. Datos provenientes del sensor de flujo, velocidades por trayectoria (Fuente propia)	109
Figura 76. Pérdidas primarias, secundarias, Altura dinámica total y la curva del sistema. (Fuente propia)	109
Figura 77. Valor mínimo de Caudal-Software EES - Fuente Propia.	110
Figura 78. Valor máximo de Caudal-Software EES - Fuente Propia.....	110
Figura 79. Resultados de la Trayectoria 1 en serie, interfaz EES (Fuente propia).....	111
Figura 80. Resultados de la Trayectoria 2 en serie, interfaz EES (Fuente Propia)	112
Figura 81. Resultados de la Trayectoria 3 en serie, interfaz EES (Fuente propia).....	113
Figura 82. Resultados de la Trayectoria 4 en serie, interfaz EES (Fuente propia).....	114
Figura 83. Resultados de la Trayectoria 1 en paralelo, interfaz EES (Fuente propia)	114
Figura 84. Resultados de la Trayectoria 2 en paralelo, interfaz EES (Fuente propia)	115
Figura 85. Resultados de la Trayectoria 3 en paralelo, interfaz EES (Fuente propia)	116
Figura 86. Resultados de la Trayectoria 4 en paralelo, interfaz EES (Fuente propia)	117

Nomenclatura

Símbolo	Descripción	Unidad
P	Presión	Pa
m	Masa	kg
V	Volumen específico del Fluido	m^3
g	Aceleración de la Gravedad	$\frac{m}{s^2}$
T_c	Tensión de Cortadura	kg
ν	Viscosidad Cinemática del Fluido	$\frac{m^3}{s}$
T	Temperatura del Agua	$^{\circ}C$
Q	Caudal	$\frac{m^3}{s}$
A	Área de la sección transversal	m^2
v_m	Velocidad media de Succión	$\frac{m}{s}$
z	Alturas Geodésicas	m
H_B	Incrementos de altura proporcionadas por las bombas	m
H_T	Incrementos de altura absorbidas por turbinas Hidráulicas	m
H_P	Pérdidas Hidráulicas por el fluido	m
v	Velocidad de flujo	$\frac{m}{s}$
D	Diámetro interno de Tubería	m
$f_{laminar}$	Factor de Fricción Laminar	—
$f_{critico}$	Factor de Fricción Crítico	—

$f_{turbulento}$	Factor de Fricción Turbulento	—
HP_{1-2}	Altura de Pérdidas de cargas primarias	m
HS	Pérdidas Totales	m
L	Longitud de Tubería	m
L_{eq}	Longitud equivalente	m
h_a	Energía que se adiciona al fluido	m
h_R	Energía removida de fluido	m
h_L	Energía que se pierde del sistema	m
h_f	Pérdidas por fricción	m

Números Adimensionales

Símbolo	Descripción	Unidad
Re	Número de Reynolds	—
K	Coefficiente de Pérdidas	—
f	Factor de fricción	—

Símbolos Griegos

Símbolo	Descripción	Unidad
ρ	Densidad	$\frac{kg}{m^3}$
γ	Peso específico del Fluido	m^3
μ	Viscosidad Absoluta	$\frac{kg \cdot s}{m^2}$
ε	Rugosidad absoluta del material	—

Subíndices

Símbolo	Descripción
<i>m</i>	Media de Succión
<i>B</i>	Que se refiere a las Bombas
<i>T</i>	Turbinas
<i>P</i>	Pérdidas del fluido
<i>laminar</i>	laminar
<i>critico</i>	Critico
<i>turbulento</i>	Turbulento
<i>eq</i>	Equivalente
<i>a</i>	Adiciona
<i>R</i>	Removida
<i>L</i>	Pérdida del sistema
<i>f</i>	Fricción

Introducción

El presente estudio de investigación tuvo como propósito: Diseñar un módulo automatizado para el análisis de caída de presión de un banco de tuberías del Laboratorio de Termofluidos de la Universidad Católica de Santa María, cuyo propósito es mejorar el funcionamiento, interfaz de este y el estudio para las siguientes promociones de egresados de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica para aumentar las capacidades prácticas de los futuros egresados.

Con la trabajo de investigación presentado se busca atender las exigencias que tienen los estudiantes para complementar la parte teórica y poder identificar lo que sucede en un módulo de banco de Tuberías.

Los avances en el área de la automatización han alineado sus esfuerzos en optimizar procesos, por medio de la integración de los niveles de Instrumentación y control, con los sistemas tecnológicos, a través de los sistemas SCADA.

La automatización de un módulo de banco de tuberías será necesario para obtener los parámetros a medir de una forma más rápida y precisa, con la ayuda del software LabVIEW (Plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico).

Durante la presente investigación los obstáculos fueron, el proceso de automatización mediante sensores, uso del Arduino "MEGA" y programación. Sin embargo, nada de esto podría ser posible sin el adecuado conocimiento de los componentes a utilizar y del software LabVIEW y el sistema SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) para la monitorización del sistema.

Para el módulo de banco de tuberías empleado se utilizan distintos componentes como tuberías con una geometría circular, accesorios para conexión y dispositivos de medición entre otros, lo que genera una disminución de presión.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1. Estado del Arte

Dentro de la ingeniería de fluidos, el flujo en conductos es uno de los problemas más continuos ya que presenta muchas variables como la geometría de las tuberías, las propiedades del fluido, las diferentes velocidades y caudales, los accesorios que se encuentran en las trayectorias de las tuberías, con la finalidad de poder obtener la altura dinámica del sistema, la cual es la razón de la presente investigación.

En referencia al módulo automatizado en un banco de tuberías, existen estudios realizados a nivel nacional e internacional.

En su trabajo titulado “Automatización del banco de pérdidas del laboratorio de turbo maquinaria de la facultad de mecánica” cuyo objetivo es construir y automatizar la adquisición de datos en tiempo real del banco de pérdidas. Finalmente, se determinan las pérdidas del sistema de bombeo. Estas se denominan pérdidas primarias por la longitud de la tubería y pérdidas secundarias por los accesorios hidráulicos. Estos vienen determinados por el tipo de tubería por la que circula el fluido y sus características, así como por las características de la bomba instalada. Además, los sensores de presión se seleccionaron a partir de la presión máxima del sistema cabe recalcar que los sensores instalados actualmente existían en el laboratorio por lo tanto sobrepasan a la presión requerida en la red del banco de pérdidas. (Ordoñez Viñán & Quisnancela Salazar, 2013)

En su trabajo titulado “Diseño para Construcción de un Banco de Pruebas para Determinar las Pérdidas de Carga en un Sistema de Tuberías” tiene como objetivo es elaborar un diseño para construcción de un banco de pruebas para determinar las pérdidas de carga en un sistema de tuberías. Habiendo recibido el diseño para la ruta del circuito del banco de pruebas, tiene una variedad de materiales y accesorios que permiten a los estudiantes que estudian materias como mecánica de fluidos y similares visualizar cálculos de estrés o pérdida de energía a través de la ruta del fluido. en diferentes secciones de tubería de $\varnothing \frac{1}{2}$ ” y 1”, con diferentes accesorios como válvulas (globo, cortina, bola, retención), tee’s, uniones universales y codos, a través de las distintas configuraciones de cada uno de los circuitos. (Parra & Velasco, 2014)

En su trabajo titulado “Diseño y fabricación de un banco hidráulico en circuito cerrado para el estudio de las pérdidas de carga en redes de distribución hidráulica. Laboratorio de mecánica de fluidos y máquinas térmicas fime – UNAC”, teniendo como objetivo diseñar y fabricar un banco hidráulico en circuito cerrado para el estudio de las pérdidas de carga en redes de distribución hidráulica. Así, después de recibir los datos de prueba de la puesta en marcha del banco

hidráulico fabricado, se pudo realizar un estudio sobre cómo se comportan las pérdidas de carga con diferentes parámetros de caudal, materiales de tubería, diámetros cambiantes y accesorios. (Lirio Fructuoso, 2019)

1.2. Planteamiento del Problema

En toda industria existe la necesidad de mover un fluido desde un punto hasta otro a través de sistemas de conducción. Por este motivo esta operación es de continuo interés de aprendizaje (Caibe Yanzapanta, 2012), por lo cual es un área con mucha demanda laboral. El problema reside en la toma de datos en tiempo real ya que la lectura de manómetros y del rotámetro tienen un bajo grado de precisión lo cual alteraría los resultados de la caída de presión.

En la ciudad de Arequipa actualmente hay universidades que no poseen un módulo de banco de tuberías donde se pueda comprobar de manera práctica lo aprendido teóricamente. Por otra parte, hay universidades que cuentan con un módulo de banco de tuberías donde los instrumentos de medición no son los óptimos para tener un resultado certero.

En el caso específico de la Universidad Católica de Santa María se cuenta con un módulo para el análisis de la caída de presión mediante pérdidas primarias y secundarias sin embargo la falta de actualización de este no permite una lectura precisa de parámetros. ¿Será posible que, a través del mejoramiento y automatización del módulo de banco de tuberías para análisis de caída de presión mediante los softwares LabVIEW y EES e implementado adecuadamente, se mejore las deficiencias y ayude a la consolidación de datos y conocimientos previamente adquiridos?

1.3. Hipótesis

Con el mejoramiento y automatización del módulo didáctico del banco de tuberías, se pretende mejorar y precisar la recopilación de datos en tiempo real del sistema con asistencia de los softwares LabVIEW y EES para el análisis de la caída de presión mediante pérdidas primarias y secundarias. Así mismo se pretende aumentar los conocimientos prácticos de los estudiantes de la escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica de la Universidad Católica de Santa María y adquirir vivencias experimentales para que al término de la carrera los futuros egresados puedan satisfacer las exigencias propias del mercado.

1.3.1. Hipótesis Específicas

- Mediante el uso del Software LabVIEW, se realizará el proceso de automatización del módulo de banco de tuberías.

- Mediante el uso del software EES, se analizarán parámetros como: caudal, altura en el punto de operación, pérdidas primarias y secundarias del módulo de banco de tuberías.
- La viabilidad de este proyecto mejorará el actual módulo que se tiene en el laboratorio de Termo fluidos.

1.4. Objetivo principal

Diseñar el módulo automatizado de banco de tuberías para el análisis de caída de presión para diferentes configuraciones del sistema.

1.5. Objetivos secundarios

- Analizar y comprender el comportamiento del módulo de flujo interno (banco de tuberías) para diferentes configuraciones del sistema.
- Identificar cada parte del sistema y analizar su funcionalidad.
- Obtener resultados teóricos de manera parametrizada por medio del software EES.
- Comunicar los sensores del módulo de banco de tuberías con la interfaz de LabVIEW mediante el Arduino “MEGA”.
- Confrontar los resultados obtenidos en el software LabVIEW con los del Software EES.
- Implementar un Sistema Interconectado mediante el software LabVIEW.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Teoría de Errores y Experimentación en Mediciones

Una magnitud física es un atributo susceptible de ser medido. Los experimentos requieren mediciones. Las magnitudes fundamentales son aquellas elegidas por convención, permitiendo expresar a través de ellas cualquier otra magnitud y son, por ejemplo, longitud, masa, potencia, velocidad, etc. (Guitton Lozano & Muñoz Noriega, 2003)

En ciencias e ingenierías, el concepto de error tiene un significado diferente del uso habitual de este término, más bien está asociado de incerteza en la determinación del resultado de una medición. En todo proceso de medición existen limitaciones debido a los instrumentos utilizados, el método de medición y/o el observador que realiza la medición. Estas limitaciones dan como resultado una diferencia entre el valor real o verdadero de una cantidad y el valor obtenido para ella después de la medición. (Cuyo, 2021)

Como resultado de diferentes tipos de error, se plantea hasta que punto los resultados obtenidos son fiables. Existen tres formas de clasificar o diferenciar al momento de informar sobre el error de medición: el error absoluto, el error relativo y el error relativo porcentual. (Guitton Lozano & Muñoz Noriega, 2003)

Se define Error Absoluto ΔE , como la diferencia entre el resultado de la medida M y el verdadero valor M_0 de la magnitud a medir.

$$\Delta E = M - M_0 \quad (2.1)$$

El Error Relativo ER es el cociente entre el error absoluto ΔE y el verdadero valor, que como dijimos se toma como el valor medio.

$$ER = \frac{\Delta M}{M_0} \quad (2.2)$$

El Error Relativo porcentual es el ER expresado en tanto por ciento, su expresión es:

$$ER(\%) = ER * 100\% \quad (2.3)$$

2.2. Fluidos

Una sustancia en la fase líquida o en la gaseosa se conoce como fluido. La diferencia entre un sólido y un fluido se hace con base en la capacidad de la sustancia para oponer resistencia a un esfuerzo cortante (o tangencial) aplicado que tiende a cambiar su forma. Un sólido puede oponer resistencia a un esfuerzo cortante aplicado por medio de la deformación, en tanto que un fluido se deforma de manera continua bajo la influencia del esfuerzo cortante, sin importar lo pequeño que sea. En los sólidos, la tensión es proporcional a la deformación, y en los líquidos, la tensión es proporcional a la velocidad de deformación. Cuando se aplica un esfuerzo cortante constante, llega un momento en que el sólido deja de deformarse en un cierto ángulo sólido, mientras que el líquido nunca deja de deformarse y tiende a una determinada velocidad de deformación. (Cengel & Cimbala, 2010)

2.3. Propiedades físicas de los fluidos

La ingeniería de mecánica de fluidos ha elaborado mediante el entendimiento de las propiedades de los fluidos, la realización de las leyes básicas de la mecánica y termodinámica.

2.3.1. Densidad

Un fluido se define: cantidad de masa por unidad de volumen.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.4)$$

Donde:

- ρ = Densidad del fluido [$\frac{kg}{m^3}$]
- m = Masa (kg)
- V = Volumen de la sustancia [m^3]

2.3.2. Peso específico

El peso específico de un fluido se define: peso por unidad de volumen. Éste cambia con la gravedad.

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (2.5)$$

Donde:

- γ = Pesos específico del fluido [m^3]
- ρ = Densidad de la sustancia [$\frac{kg}{m^3}$]
- g = Aceleración de la gravedad [$\frac{m}{s^2}$]

2.3.3. Densidad relativa

La densidad relativa de una sustancia es un número adimensional determinado por la relación entre su peso y el peso de un volumen igual de agua en condiciones normales. También se puede expresar como la relación entre su densidad o gravedad específica y la densidad del agua.

$$DR = \frac{\rho_{sustancia}}{\rho_{agua}} = \frac{\gamma_{sustancia}}{\gamma_{agua}} \quad (2.6)$$

Los parámetros del agua en condiciones típicas son: temperatura ($20^\circ C$), la densidad ($1000 \frac{kg}{m^3}$) y una presión absoluta ($760 mm de Hg$).

2.3.4. 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.

$$T = u \frac{du}{dy} \quad (2.7)$$

Donde, u tiene las dimensiones $FL^{-2}T$.

2.3.4.1. Viscosidad Absoluta o Dinámica

Esta es una propiedad de fluido que expresa la resistencia al corte de un fluido durante su movimiento. La viscosidad dinámica es directamente proporcional al esfuerzo cortante e inversamente proporcional a la velocidad angular.

$$\mu = \frac{T}{\frac{du}{dy}} \quad (2.8)$$

Donde:

- μ = Viscosidad absoluta $\left[\frac{N \cdot s}{m^2}\right]$ o $\left[\frac{kg \cdot s}{m^2}\right]$
- T = Tensión de cortadura $[N]$ o $[kg]$

2.3.4.2. 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 (m^2/s)

$$v = \frac{\mu}{\rho} \cdot v \quad (2.9)$$

Donde:

- v = Viscosidad cinemática del fluido $\left[\frac{m^2}{s}\right]$
- μ = Viscosidad dinámica o absoluta del fluido $\left[\frac{kg \cdot s}{m^2}\right]$
- ρ = Densidad del fluido $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

En el caso de los líquidos, por el contrario, la viscosidad disminuye a medida que aumenta la temperatura; en el caso de los gases, la viscosidad también aumenta a medida que aumenta la temperatura. La influencia de la presión sobre la viscosidad de los líquidos y gases ideales es tan pequeña que es de interés práctico para la mayoría de los problemas de flujo de líquidos. La viscosidad cinemática para el agua, en función de la temperatura esta dado por la siguiente ecuación:

$$v = \frac{0.000001771}{1 + 0.337T + 0.000221T^2} \quad (2.10)$$

Donde:

- v = Viscosidad cinemática $\left[\frac{m^2}{s}\right]$
- T = Temperatura del agua $[^{\circ}C]$

2.4. Caudal

Es el volumen de fluido por unidad de tiempo que fluye una sección transversal de un conducto. El caudal (Q) se relaciona con la velocidad (v) a través de la sección transversal del flujo (A).

$$Q = A \cdot v \quad (2.11)$$

Donde:

- $Q = \text{Caudal} \left[\frac{m^3}{s} \right]$
- $A = \text{Área de la sección de la tubería} [m^2]$
- $v = \text{Velocidad media de la sección} \left[\frac{m}{s} \right]$
- Las unidades frecuentes del caudal: $\frac{m^3}{s}$, $\frac{Lt}{s}$, GPM .

2.5. Presión

Esta es la fuerza por unidad de área a la que se somete una partícula líquida. La presión sobre una partícula líquida es la misma en todas las direcciones. La diferencia de presión entre dos puntos de la tubería (tubería, conducto) es la causa del movimiento (caudal) del líquido. En la figura 1, podemos observar la relación que existe entre los tipos de presiones.

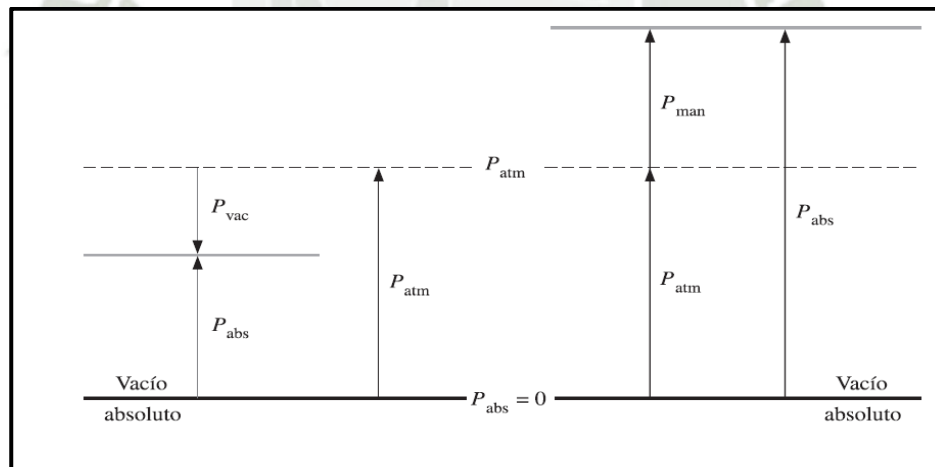


Figura 1. Tipos de presiones (Lirio Fructuoso, 2019)

2.5.1. Presión atmosférica

Se debe al peso del aire en un lugar determinado de la superficie terrestre y, por lo tanto, depende de la ubicación, la altitud y la latitud de ese lugar.

2.5.2. Presión Absoluta

Esta es la presión medida en relación con la presión cero absoluto cuando no hay aire presente, o cuando no hay aire presente es igual a la suma de la presión manométrica y la presión atmosférica.

2.5.3. Presión Barométrica

Esta es la presión de la atmósfera de la Tierra medida por un barómetro al nivel del mar. Esta presión está cerca de 14,7 psi.

2.5.4. Presión Manométrica

Se determina con cualquier instrumento que mida la diferencia entre una presión absoluta por encima de la presión atmosférica y la presión atmosférica en el punto de medición.

2.5.5. Presión en Vacío

El vacío es la diferencia de presiones entre la presión atmosférica existente y la presión absoluta. Las unidades de presión son: en el sistema inglés $PSI = \frac{\text{Libras}}{\text{pulg}^2}$ y en el Sistema Internacional $\frac{\text{kg}}{\text{s}^2}$. (YAMBOMBO GUANUTAXI, 2012)

2.6. LabView

LabVIEW es un programa de ingeniería desarrollado por NI (National Instruments) que brinda acceso rápido a datos y hardware para evaluar, medir y controlar aplicaciones. Con este entorno y plataforma de desarrollo puedes crear sistemas, utilizando un lenguaje de programación de gráficos visuales como el lenguaje G (G simboliza que es lenguaje gráfico), destinado a sistemas hardware y programas de pruebas, control y diseño. (Sánchez & Niño, 2018)

Este software permite visualizar resultados mediante interfaces de usuario de “clic-y-arrastre” y visualizadores de datos integrados. Este software garantiza la compatibilidad con otras herramientas ya que puede interactuar o reutilizar bibliotecas de otro software y lenguajes de fuente abierta como Arduino. (Sánchez & Niño, 2018)

Es una herramienta de programación gráfica, esto quiere decir, que el programa está dibujado, no escrito para facilitar su comprensión. Crear un proyecto es fácil para el usuario cuando se prefabrican varios bloques. En lugar de perder tiempo en la programación de dispositivos/bloques, puede dedicar más tiempo y atención a la interfaz gráfica de usuario y la interacción con el usuario. (Cáceres Pinto, 2021)

A diferencia de los lenguajes ampliamente utilizados, LabVIEW ofrece a los usuarios muchas soluciones intuitivas y poderosas a través de una amplia gama de herramientas para desarrollar aplicaciones de medición, control y automatización que se pueden programar sin escribir una sola línea de texto o código. (Cáceres Pinto, 2021)

2.7. Arduino Mega

Arduino® Mega 2560 es una placa de desarrollo ejemplar dedicada a la creación de aplicaciones extensas en comparación con otras placas de Arduino. La placa aloja el microcontrolador ATmega2560, que opera a una frecuencia de 16 MHz. La placa contiene 54 pines de entrada/salida digital, 16 entradas analógicas, 4 UART (puertos seriales de hardware), una conexión USB, un conector de alimentación, un cabezal ICSP y un botón de reinicio. (Appiani, 2022)

Arduino es una plataforma de hardware de código abierto, basada en una sencilla placa de circuito impreso que contiene un microcontrolador de la marca “ATMEL” que cuenta con entradas y salidas, analógicas y digitales, en un entorno de desarrollo que está basado en el lenguaje de programación processing. El dispositivo conecta el mundo físico con el mundo virtual, o el mundo analógico con el digital controlando, sensores, alarmas, sistemas de luces, motores, sistemas comunicaciones y actuadores físicos. (Tapia Ayala & Manzano Yupa, 2013)

El entorno de programación Arduino es fácil de usar para los usuarios. Arduino se basa en el entorno de programación de procesamiento, a través del cual el usuario aprende a programar y se familiariza con el espacio de desarrollo de Arduino.

El arduino está basado en los microcontroladores ATMEGA168, ATMEGA328 y ATMEGA1280. Los planos de los módulos están publicados bajo licencia creative commons, por lo que los diseñadores de circuitos pueden hacer su propia versión del módulo, ampliándolo u optimizándolo facilitando el ahorro. (Tapia Ayala & Manzano Yupa, 2013)

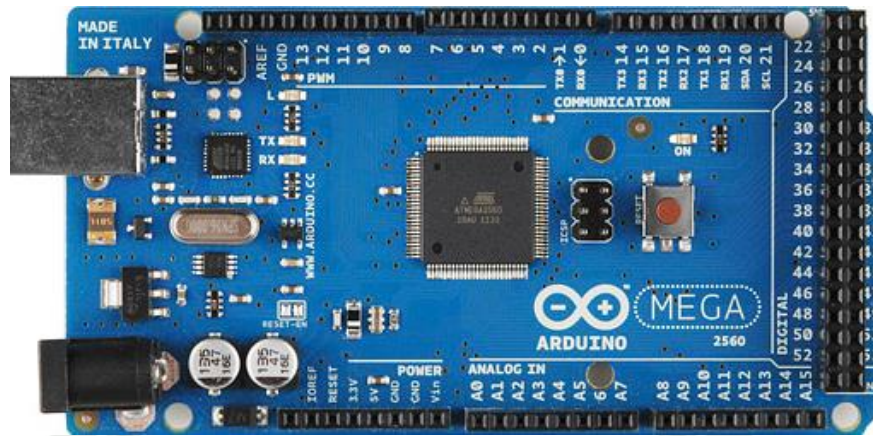


Figura 2 Tarjeta Arduino "MEGA"

2.8. Equipos

2.8.1. Bombas

La bomba es un transformador de energía, es una máquina que absorbe energía mecánica, que puede provenir de un motor eléctrico, térmico y la transforma en energía que la transfiere a un fluido de un lugar a otro a un mismo nivel y/o a diferentes niveles. (Guitton Lozano & Muñoz Noriega, 2003)

La relevancia que tienen las bombas como convertidoras de energía mecánica (procedente del motor que las arrastra) en energía hidráulica (básicamente en forma de energía cinética y de presión) es tal que podemos afirmar que después de los motores eléctricos, son las bombas los elementos que con mayor frecuencia encontramos en la industria. (Guitton Lozano & Muñoz Noriega, 2003)

2.8.1.1. Clasificación de bombas

La clasificación más común de las bombas se relaciona con su principio de funcionamiento. Esto da como resultado dos grandes grupos de bombas:

a. Bombas Cinéticas:

Son aquellos en los que el aumento de energía absorbida por el fluido se debe al cambio del momento cinético que experimenta el mismo al pasar por los conductos de un órgano que se mueve con movimiento de rotación denominado rodete.

El movimiento rotativo y dinámico de la corriente juega un papel esencial en la transmisión de energía. Su funcionamiento se basa en la ecuación de Euler, y su

órgano transmisor de energía se llama rodete. Generalmente llamadas bombas centrífugas. (Guitton Lozano & Muñoz Noriega, 2003)

b. Bombas de Desplazamiento Positivo

En él, se aplica cierta fuerza (o torque si giran) a una serie de cámaras de trabajo que se llenan y vacían periódicamente, transfiriendo así una cantidad discreta de líquido de succión a descarga. El aumento de la energía del fluido se efectúa directamente en energía de presión. Son de un extraordinario interés en circuitos oleo hidráulicos para transmisión de potencia. (Guitton Lozano & Muñoz Noriega, 2003)

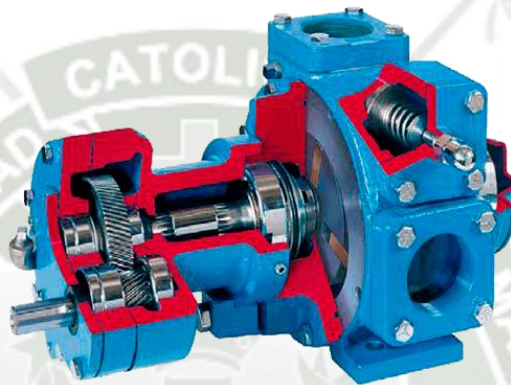
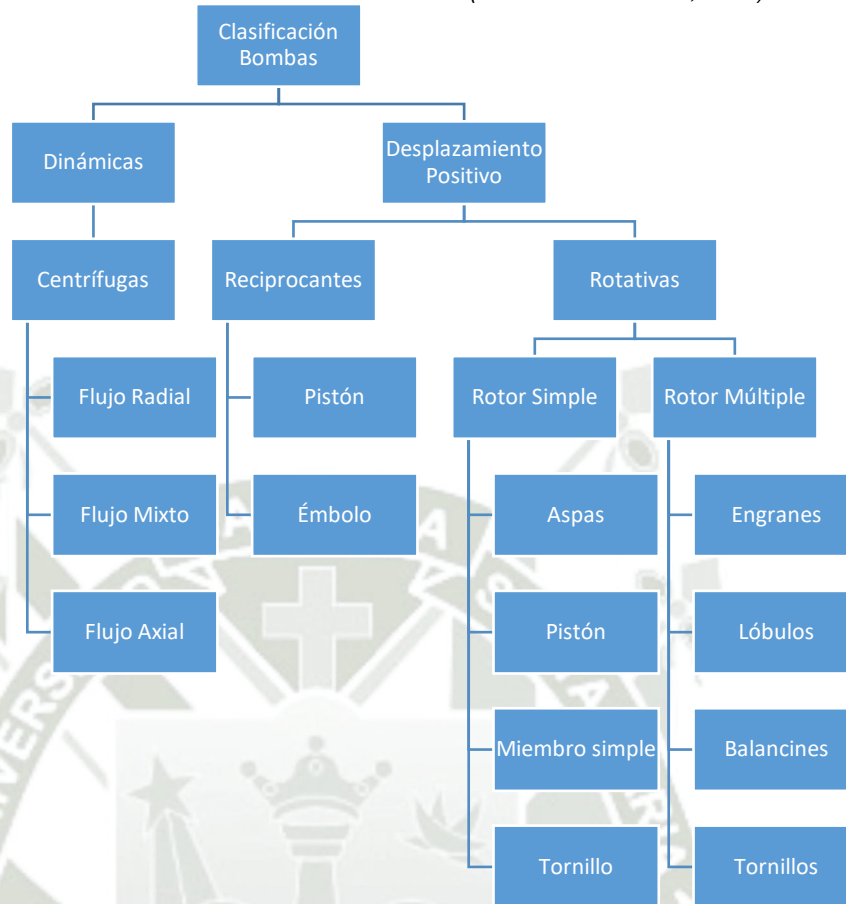


Figura 3. Bomba Desplazamiento Positivo

Tabla 1. Clasificación de Bombas (VILLAREAL LOPEZ, 2008)



c. Bomba Centrífuga

La bomba centrífuga es un tipo de máquina que consta de un conjunto de impulsores giratorios alojados en una caja o carcasa, o tapa o carcasa. Se llaman así porque el grado de presión que crean se debe en gran parte a la acción centrífuga. Las hélices transfieren energía al fluido por la fuerza de la propia acción. (Guitton Lozano & Muñoz Noriega, 2003) Así, quitando todo el refinamiento, una bomba centrífuga tiene dos partes principales:

- Un elemento giratorio, incluyendo un impulsor y una flecha.
- Un elemento estacionario, compuesto por una cubierta, estoperas y chumaceras.

En el funcionamiento en una bomba centrífuga, denominadas también rotativas, tienen un rotor de paletas giratorio sumergido en el líquido. El líquido entra en la bomba cerca del eje rotor, y las paletas lo arrastran hacia sus extremos a alta presión. El rotor también proporciona al líquido una velocidad relativamente alta que puede transformarse en presión en una parte estacionaria de la bomba, conocida

como difusor. En las bombas de alta presión, se pueden usar múltiples impulsores en serie y el difusor detrás de cada impulsor puede contener paletas guía para reducir gradualmente la velocidad del fluido. (Lizarraga Flores, 2017)

Este tipo de bombas tienen mucha ventaja, por lo cual son de gran utilidad, mencionando algunas como el bajo costo, fácil diseño, operación y mantenimiento, esto hace que sean las más indicadas según su empleabilidad.

2.8.1.2. Curva característica de una bomba Centrífuga

La curva característica de funcionamiento de la bomba (fig.4) es una gráfica que muestra la energía total desarrollada por la bomba en función del caudal entregado por la misma, a una velocidad de giro constante.

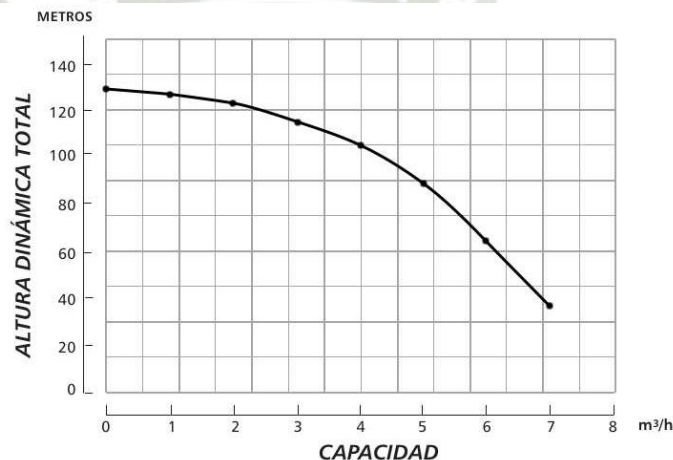


Figura 4. Curva de una bomba Centrífuga

El comportamiento teórico de la bomba se deduce de las curvas de rendimiento reales de la bomba obtenidas por el fabricante al probar la bomba en un banco de pruebas. A su vez, desde un punto de vista conceptual, estas curvas características se pueden obtener a partir del comportamiento teórico de la bomba.

Las curvas que más interés presentan en una bomba, desde el punto de vista de su utilización, son:

Altura en función del caudal: $H = H(Q)$

Potencia en función del caudal: $P = P(Q)$

Rendimiento en función del caudal: $\eta = \eta(Q)$

2.9. Instrumentos de medición

Los instrumentos de medición son equipos diseñados para medir ciertas magnitudes físicas que demanda un proceso, con el cual podemos obtener una información muy valiosa para compararla con datos estadísticos o mejorar y vigilar un proceso. Para este tipo de elementos se basan en estándares internacionales para su desarrollo, estos instrumentos de medición dan una información importante y existe gran variedad de ellos se encuentran de dos tipos análogos o digitales. (Alvarado Rojas & Espinosa Mora, 2020)

Para el presente proyecto se tienen diferentes tipos de elementos que se diferencian según su costo, precisión, sensibilidad y lugar de ubicación, el cual ayudará a obtener resultados con mayor precisión.

2.9.1. Transmisores

El transmisor es la interfase entre la operación y el sistema de control. El trabajo de este es convertir la señal del sensor (milivoltios, movimiento mecánico, presión diferencial, etc.) en una señal de control (por ejemplo 4 a 20 mA).



Figura 5. Transmisor de Presión

2.9.2. Caudalímetro

Designado como un instrumento de medición para obtener el valor volumétrico de un fluido.



Figura 6. Caudalímetro

2.9.3. Sensor

Dispositivo que detecta el cambio en el entorno y responde a alguna salida en el otro sistema. Este bloque permite medir o conocer los valores de las variables medidas del sistema. Por lo tanto, mediante el sensor se conocerán los valores necesarios para interpretar en tiempo real los parámetros requeridos. (Cáceres Pinto, 2021)



Figura 7. Sensor

2.9.3.1. Sensor de Presión

Los sensores de presión o transductores de presión, son muy habituales en cualquier proceso industrial. Su objetivo es transformar una magnitud física en una eléctrica, en este caso transforman una fuerza por unidad de superficie en un voltaje equivalente a esa presión ejercida. (Cáceres Pinto, 2021)

2.9.3.2. Sensor de Caudal

Los sensores de flujo miden la velocidad del flujo de aire o líquido. Los sensores de flujo utilizan diferentes principios de medición. Los sensores de flujo de líquido, por ejemplo, funcionan sobre la base de ultrasonidos. Esta medición sin contacto tiene la ventaja de que los sensores no se ven afectados por golpes de ariete y medios sólidos. (Cáceres Pinto, 2021)

2.10. Contactores

El contactor es un dispositivo de conmutación eléctrico que puede cerrar o abrir circuitos en carga o en vacío. Los contactores pueden manejar niveles de corriente. El contactor funciona energizando la bobina. Esto crea un campo magnético que mueve los contactos a la posición cerrada, completando el circuito. Tan pronto como desaparece el voltaje en la bobina, los contactos se abren nuevamente e interrumpen el circuito. (García Díaz et al., 2009)



Figura 8. Contactor

2.11. Válvulas

La variedad en diseños de válvulas dificulta una clasificación completa. Si las válvulas se clasificaran según su resistencia que ofrecen al flujo, las que presentan un paso directo del flujo, como las válvulas de compuerta, bola, macho y de mariposa pertenecen al grupo de baja resistencia; las que tienen un cambio en la dirección del flujo, como las válvulas de globo y angulares, están en el grupo de alta resistencia. (Crane et al., 2005)

2.11.1. Válvula Compuerta

Las válvulas de compuerta para procesos suelen tener compuertas de cuña con un ángulo incluso de 10° entre los asientos. El cierre se realiza moviendo una cuña cónica o un par de discos entre los asientos. (Caibe Yanzapanta, 2012)

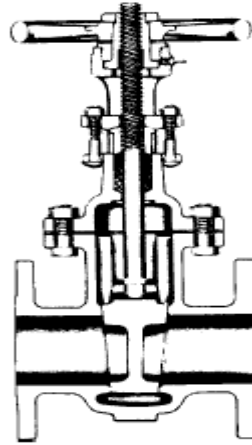


Figura 9. Válvula de compuerta (Crane et al., 2005)

2.11.2. Válvula bola

Las válvulas de bola son de 1/4 de vuelta, pues la bola taladrada gira entre asientos elásticos, lo cual permite la circulación directa en la posición abierta y corta el paso cuando se gira la bola 90° y cierra el conducto. (Herrera & Castro, 2020)

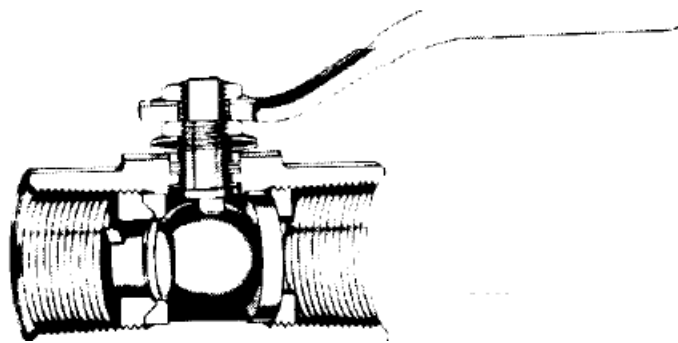


Figura 10. Válvula bola (Crane et al., 2005)

2.11.3. Válvula mariposa

Una válvula de mariposa es un dispositivo que utiliza una placa llamada "mariposa" que gira alrededor de un eje para aumentar o disminuir el área de paso, bloqueando o ajustando el

flujo de fluido en un conducto. Las válvulas de mariposa aumentan la caída de presión local dentro de la válvula y reducen el caudal al contraer el sector del paso. (Mott, 2015)



Figura 11. Válvula bola

2.11.4. Válvula angular

La llave angular o llave es un instrumento que tiene la función de abrir y detener el flujo de líquido a través de una tubería. Se colocan en la línea de suministro principal. Su principio de funcionamiento radica en un seguro que interrumpe o deja libre el flujo de agua entre la salida de la conexión y la entrada, según sea el caso donde se esté utilizando. (Ordoñez Viñán & Quisnancela Salazar, 2013)



Figura 12. Válvula angular

2.12. Tuberías

Existe una gran cantidad de tipos de tuberías, diferenciándose de los distintos materiales, diámetros, espesores y características técnicas propias de cada marca. Para escoger la tubería adecuada para transportar fluidos tenemos que tener en cuenta que tipo de fluido se va a utilizar. Dentro de todos los tipos de tuberías tenemos:

1. Tubo galvanizado:

El galvanizado es un recubrimiento de zinc, que se obtiene por inmersión en caliente, hecho con la finalidad de proporcionar una protección a la oxidación y en cierto porcentaje a la corrosión. (Alvarado Rojas & Espinosa Mora, 2020)

2. Tubo de PVC (policloruro de vinilo):

El PVC, conocido como policloruro de vinilo, es un material creado mediante la combinación química de carbono, hidrógeno y cloro. Por sus propiedades, es un material adecuado y económico. Presenta resistencia a la corrosión, resistencia al envejecimiento, alta resistencia química, peso ligero, fácil instalación y varios diámetros. (Alvarado Rojas & Espinosa Mora, 2020)

3. Tubo de acero inoxidable:

La Tubería de Acero Inoxidable se caracteriza por contener altos niveles de Níquel y Molibdeno, para aumentar la durabilidad y la resistencia a la corrosión. (Alvarado Rojas & Espinosa Mora, 2020)

4. Tubo de fierro fundido:

El hierro fundido es una aleación de hierro y carbono que contiene entre 2% y 4% de carbono y, de forma similar al hierro, también contiene pequeñas cantidades de manganeso, sulfuro y fósforo, pero es más alto en contenido de silicón. Su contenido de carbono hace que el metal sea muy frágil, así que no puede ser enrollado o forjado. (Alvarado Rojas & Espinosa Mora, 2020)

2.13. Accesorios

Los acoples o accesorios de conexión se dividen en: derivaciones, reducciones, extensiones y ramales. Los accesorios como tes, cruces, codos, etc. se pueden agrupar como accesorios de derivación. Los accesorios reductores o expansivos son aquellos que modifican la superficie de paso del fluido. En esta clase hay cortes y mangas. Deflectores, codos, codos, codos, etc. cambian la dirección del flujo. (Crane et al., 2005)

2.13.1. Unión universal

Es una conexión fabricada en PVC, parecida a los adaptadores, pero sus dos extremos son lisos y llevan una rosca en la parte media del accesorio. Esta pieza se puede roscar y desenroscar, lo que permite que se pueda retirar una de las partes del sistema que se han unido por esta conexión. Se utilizan en sistemas en los que queremos desmontar la bomba, el filtro u

otros componentes de la tubería en la que están instalados. Su diseño es moderno y compacto que lo hace una pieza fácil de manejar en su instalación.



Figura 13. Unión Universal PVC

2.13.2. Conexión en Tee

Está diseñada para unir tres diferentes tramos de tubería de en un ángulo de 90° para redireccionar y permitir la conducción de agua.



Figura 14. Conexión en Tee PVC

2.13.3. Codo

Cambia la dirección del flujo original, con un ángulo específico ya se 180°.90°,45°, etc. Puede reducirlo o mantener el tamaño original.



Figura 15. Conexión en codo PVC

2.13.4. Reducciones

La reducción PVC de presión es un accesorio de PVC que tiene como función la unión con tubería de PVC para las diferentes derivaciones en un sistema. Los accesorios PVC de presión, como el reductor de PVC, nos permiten adecuar las características de nuestra instalación mediante presión según nos sea necesario.



Figura 16. Reductor/Bushing PVC

CAPÍTULO III: MODELO MATEMÁTICO

En este capítulo se desarrollarán los cálculos del banco de tuberías, con el fin de conocer la caída de Presión en los diferentes ramales del banco de tuberías. Teniendo en cuenta las pérdidas primarias (tuberías) y secundarias (accesorios) del módulo y el caudal que arroja la bomba del banco de pruebas. Además, se tendrá en consideración los dispositivos que intervendrán en la automatización para dicho cálculo.

Para representar la continuidad que existe en el sistema considerando los cambios de presión utilizamos la ecuación de Bernoulli.

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + \sum H_B - \sum H_T - \sum H_{P_{1-2}} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \quad (3.1)$$

Donde:

- $\frac{P_1}{\gamma}$: Alturas de presiones estáticas [m]
- z : Alturas geodésicas [m]
- $\frac{v_1^2}{2g}$: Alturas de presiones de velocidad [m]
- $\sum H_B$: Sumatoria de incrementos de alturas proporcionadas por las bombas [m]
- $\sum H_T$: Sumatoria de incrementos de alturas absorbidas por las turbinas hidráulicas [m]
- $\sum H_P$: Sumatoria de pérdidas hidráulicas por el fluido [m]

3.1. Régimen de flujo

3.1.1. Flujo Laminar y flujo turbulento

Bajo ciertas condiciones, el líquido fluye suave y uniformemente en capas. Este fenómeno se puede observar cuando se abre lentamente un grifo hasta que el flujo sea uniforme y estable. Este tipo de flujo se llama flujo laminar. A medida que se abre más el grifo y aumenta el flujo, se llega a un punto en el que el flujo ya no es constante ni constante. El agua del chorro parecerá que se mueve de una manera bastante caótica, Al flujo entonces se le conoce como flujo turbulento. (Lirio Fructuoso, 2019)

3.1.2. Número de Reynolds

La investigación de Osborne Reynolds mostró 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 (Re). (Ordoñez Viñán & Quisnancela Salazar, 2013)

Se puede considerar como la relación entre las fuerzas dinámicas de la masa líquida y las fuerzas deformantes provocadas por la viscosidad. (Ordoñez Viñán & Quisnancela Salazar, 2013)

$$Re = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu} = \frac{C \cdot D}{v} \quad (3.2)$$

Donde:

- Re = Número de Reynolds. [Adimensional]
- v = Velocidad del flujo [$\frac{m}{s}$]
- D = Diámetro interno de la tubería [m]
- μ = Viscosidad dinámica del fluido [$\frac{N \cdot s}{m^2}$]
- ρ = Densidad del fluido [$\frac{kg}{m^3}$]
- ν = viscosidad cinemática del flujo [$\frac{m^2}{s}$]

Para las condiciones de Flujo tenemos según número de Reynolds tenemos que:

Tabla 2. Condiciones de flujo según número de Reynolds

Tipo de Flujo	Re
Flujo Laminar	$Re \leq 2100$
Flujo Crítico	$2100 < Re \leq 4000$
Flujo Turbulento	$Re > 4000$

El número de Reynolds es un número adimensional que se relaciona con el régimen de un fluido que puede ser flujo laminar, crítico o turbulento como se puede observar en la tabla 2.

Para flujo laminar ($Re < 2000$)

$$f_{laminar} = \frac{64}{Re} \quad (3.3)$$

Para flujo crítico ($2100 < Re \leq 4000$)

$$f_{crítico} = 0.3164 \cdot Re^{-0.25}$$

Para flujo turbulento ($Re > 4000$)

$$f_{turbulento} = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (3.4)$$

Donde:

- $f_{laminar}$: Factor de fricción laminar [adimensional]
- $f_{crítico}$: Factor de fricción crítico [adimensional]
- $f_{turbulento}$: Factor de fricción turbulento [adimensional]
- Re : Número de Reynolds [adimensional]
- ε : Rugosidad absoluta del material [mm]
- D : Diámetro interno [m]

Pérdida de cargas primarias, fórmula de Darcy.

$$HP_{1-2} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^4 \cdot g} \quad (3.5)$$

Pérdidas secundarias, método de la tubería equivalente.

$$HS = f \cdot K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = f \cdot K \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^4 \cdot g} = f \cdot \frac{\Sigma L_{eq}}{D} \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^4 \cdot g} \quad (3.6)$$

Donde:

- HP_{1-2} : Altura de pérdidas de cargas primarias [m]
- HS: Pérdidas totales [m]
- f : Factor de fricción [adimensional]
- L: Longitud de la tubería [m]
- D : Diámetro interior de la tubería [m]
- K : Coeficiente de pérdidas [adimensional]
- v : Velocidad del fluido [m/s]
- g : Aceleración de la gravedad [m/s²]
- Q : Caudal [m³/s]
- ΣL_{eq} : Longitud [m]

3.1.3. Caudal

La medida principal del movimiento de un fluido es el caudal. Se define como la relación entre el volumen de líquido movido por unidad de tiempo y el volumen de líquido que fluye a través de una sección horizontal (tubería, canal) a través de la cual fluye la corriente.

Esto viene dado por la siguiente fórmula:

$$Q = v \cdot A \quad (3.7)$$

Donde:

- Q : Caudal del sistema [m^3/s]
- v : Velocidad media del flujo [m/s]
- A : Área de la sección [m^2]

3.1.4. Ecuación de Continuidad

Esta ecuación es un caso especial de la ley de conservación de la masa. En otras palabras, la materia entrante es la misma que la materia saliente. Esto se basa en que el caudal de fluido (Q) es constante en los diferentes puntos de la instalación por donde pasa el fluido. (Ordoñez Viñán & Quisnancela Salazar, 2013)

El caudal es el producto de la superficie de una sección de ducto y la velocidad a través de la cual fluye el fluido, por lo que en dos puntos en la misma tubería deben cumplir las siguientes condiciones:

$$Q_1 = Q_2 = A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (3.8)$$

Donde:

- Q_1, Q_2 : Caudal en el punto 1 y 2 [m^3/s]
- A_1, A_2 : Superficie de las secciones transversales [m^2]
- v_1, v_2 : Velocidad del flujo en el punto 1 y 2 [m/s]

3.1.5. Principio de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli es una relación aproximada entre presión, velocidad y altitud, y se aplica en regímenes de flujo constante e incompresible donde las fuerzas de fricción resultantes son despreciables. A pesar de su simplicidad, la ecuación de Bernoulli ha demostrado ser una herramienta muy poderosa en mecánica de fluidos. (Cengel & Cimbala, 2010) Este es el balance de energía entre las dos secciones de flujo en la tubería, teniendo en cuenta la conservación de energía en los puntos 1 y 2, como se muestra en la siguiente figura.

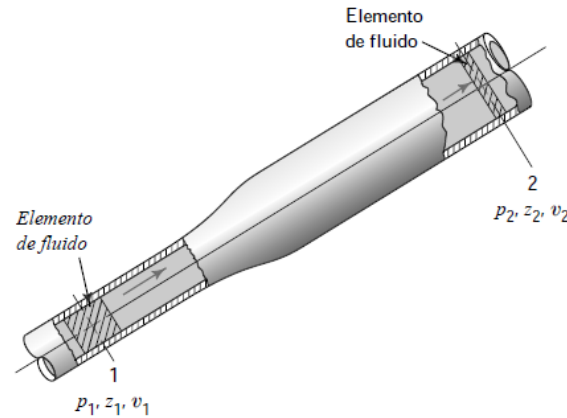


Figura 17. Elemento de fluido utilizado en la ecuación de Bernoulli (Mott, 2015)

La ecuación de Bernoulli asume energía constante. Es decir, la energía es constante ya que se considera un proceso sin pérdidas. La cantidad total de energía que tiene el fluido es la suma de sus tres formas de energía, dada por la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{2}mv^2 + mgh + PV = cte \quad (3.9)$$

Donde:

- $\frac{1}{2}mv^2$: Energía cinética debido a la velocidad del flujo.
- mgh : Energía potencial gravitatoria debida a la altitud del fluido.
- PV : Energía de flujo debida a la presión a la que está sometido el fluido.

Al evaluar la ecuación entre dos puntos y considerando conservación de energía, se obtiene lo siguiente:

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 + P_1V = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2 + P_2V \quad (3.10)$$

3.1.6. Ecuación General de energía

Esta ecuación se basa en la ecuación de Bernoulli, que además tiene en cuenta las pérdidas y adiciones de energía que se producen en dispositivos mecánicos como bombas y una serie de dispositivos que generan pérdidas por fricción. La ecuación general de la energía es: (Ordoñez Viñán & Quisnancela Salazar, 2013)

$$E_1 + h_A - h_R - h_L = E_2 \quad (3.11)$$

Donde:

- h_A : Energía impartida a un fluido por un dispositivo mecánico como una bomba.
- h_R : Energía removida del fluido por medio de dispositivos mecánicos
- h_L : Energía que se pierde del sistema por fricción en la tubería o accesorios

Finalmente, aplicando la ecuación de Bernoulli a los puntos 1 (inicio) y 2 (final), obtenemos:

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 + P_1V + h_A - h_R - h_L = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2 + P_2V \quad (3.12)$$

3.1.7. Pérdidas de carga

Las pérdidas de presión debidas a la fricción en los flujos de las tuberías se dividen en las pérdidas en las secciones de flujo completamente desarrolladas de la red de tuberías, que se denominan pérdidas más grandes, más las pérdidas de presión en otras secciones de flujo de la red, que se denominan pequeñas pérdidas. Las áreas de baja pérdida incluyen entradas, uniones de tuberías, codos, válvulas, etc. No es raro que las pérdidas menores sean mayores que las pérdidas mayores. Si se considera sólo pérdidas de energía por fricción, la ecuación general de energía queda: (Díaz, 2018)

$$E_1 = E_2 + \sum \text{perdidas} \quad (3.13)$$

Donde:

- E_1 : Energía total disponible en el punto inicial.
- E_2 : Energía total disponible en el punto final.
- $\sum \text{perdidas}$: Sumatoria de las pérdidas de energía o de carga en el sistema.

Las pérdidas de carga se dan en dos clases, las cuales se describen a continuación:

- **Pérdidas lineales:** También conocidas simplemente como pérdidas por fricción, ocurren en la superficie interna de la tubería. Estos ocurren entre el líquido y la tubería y dependen del factor de rugosidad del material.
- **Pérdidas singulares:** Estos son los que se encuentran en transiciones, codos, válvulas, filtros, tees y otros accesorios en la tubería.

3.1.7.1. Ecuación de Darcy-Weisbach (Mott, 2015)

Parte de la pérdida de energía se debe a la fricción en el fluido. Para flujos en tuberías y tubos, la fricción es proporcional al nivel de velocidad del flujo y la relación entre

la longitud del flujo y el diámetro del flujo. Matemáticamente, esto se expresa mediante la ecuación de Darcy.

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (3.14)$$

Donde:

- h_f : Pérdidas por fricción [m]
- f : Coeficiente de fricción [adimensional]
- L : Longitud de la tubería [m]
- D : Diámetro interno de la tubería [m]
- V : Velocidad del fluido (m/s).
- g : Aceleración de gravedad ($\frac{m}{s^2}$)

3.1.7.2. Coeficiente de fricción f

El coeficiente de fricción f es variable y depende de la geometría de la tubería y de dos cantidades adimensionales: el número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería. Dependiendo del tipo de flujo, se puede derivar matemáticamente en el caso de un régimen laminar, y en el caso de un flujo turbulento, se dispone de un método gráfico y ecuaciones. A continuación, se establecen ecuaciones para determinar el coeficiente de fricción. (Díaz, 2018)

a. Para flujo laminar: $Re < 2100$

Usando la ecuación de Hagen-Poiseuille en combinación con la ecuación de Darcy-Weisbach, el coeficiente de fricción para condiciones de flujo laminar se determinó como función únicamente del número de Reynolds, ya que no depende de la rugosidad relativa. (Díaz, 2018)

$$f = \frac{64}{Re} \quad (3.15)$$

b. Para flujo turbulento: $Re > 4000$

El coeficiente de fricción no solo depende del número de Reynolds, sino también de la rugosidad relativa de las paredes de la tubería. El método más utilizado para calcular este factor es el diagrama de Moody. De manera similar, tenemos las ecuaciones que se detallan a continuación. (Díaz, 2018)

Ecuación de Colebrook-White: El campo de aplicación de esta fórmula se encuentra en la zona de transición de flujo laminar a flujo turbulento y flujo turbulento. Esta es la ecuación más precisa y universal, pero el problema radica en su complejidad ya que el coeficiente de fricción se encuentra implícitamente y requiere métodos iterativos.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{\frac{\epsilon}{D}}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (3.16)$$

Diagrama de Moody: Es un método gráfico usado para determinar el factor de fricción, que muestra la gráfica del factor de fricción versus el número de Reynolds (Re) con una serie de curvas paramétricas relacionadas con la rugosidad relativa $\frac{\epsilon}{D}$.

El diagrama de Moody muestra tres zonas, la zona laminar, la zona de transición y la zona de turbulencia.

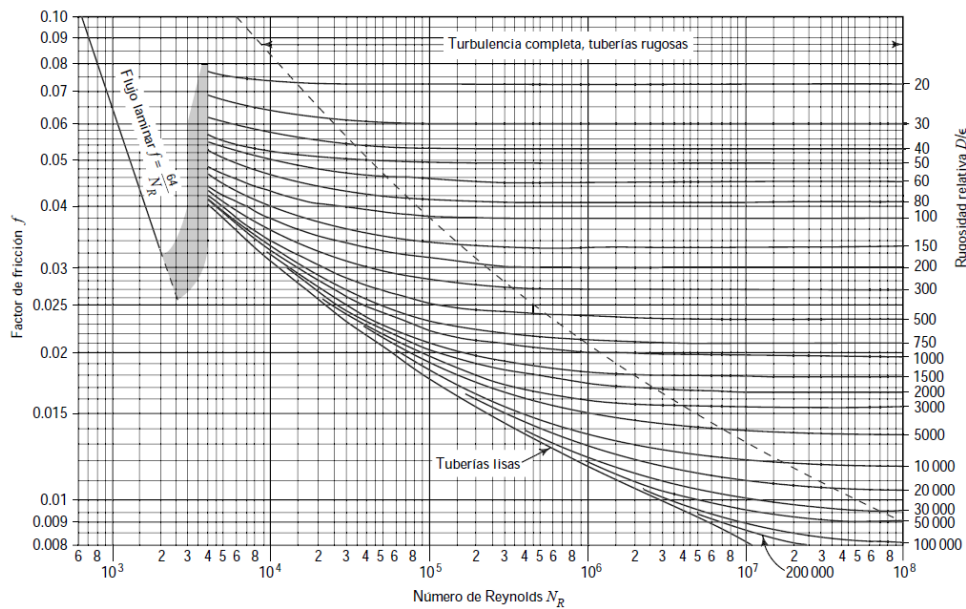


Figura 18. Diagrama de Moody (Mott, 2015)

Ecuación de Swamee y Jain: El cálculo realizado es directo, sin iteraciones, solamente se reemplazan los valores del Reynolds y de la Rugosidad relativa y se calcula el coeficiente de fricción. Se puede catalogar como una ecuación explícita para el cálculo del factor de fricción.

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (3.17)$$

3.1.7.3. Rugosidad Relativa

La relación entre la rugosidad absoluta específica del material (ε) y el diámetro interior de la tubería (D_i). La rugosidad en sí es bastante irregular y después de que la tubería haya estado en uso durante algún tiempo, mostrará algunos cambios debido a la corrosión y la formación de depósitos en las paredes. Por ello, tomamos el valor medio de las tuberías existentes en el mercado, teniendo en cuenta las tuberías nuevas y limpias, especificadas a continuación.

Tabla 3. Rugosidades Absolutas (Mott, 2015)

Material	Rugosidad absoluta (mm)
Vidrio	Liso
Plástico (PVC)	0.0015
Cobre	0.0015
Acero Galvanizado	0.15
Fierro fundido	0.014

3.2. Configuración en paralelo

De la suma de las dos ecuaciones de caudales de cada bomba se obtiene la ecuación de altura del sistema, considerando que la suma se hace a alturas constantes.

$$\begin{aligned} Q_p &= Q_A + Q_B \\ H_p &= H_A = H_B \end{aligned} \quad (3.18)$$

Donde:

- Q_p : Caudal del sistema [m^3/s]
- H_p : Altura del sistema en paralelo [mca]
- Q_A : Caudal de la bomba A [m^3/s]
- Q_B : Caudal de la bomba B [m^3/s]
- H_A : Altura de bomba A [mca]

- H_B : Altura de bomba B [mca]

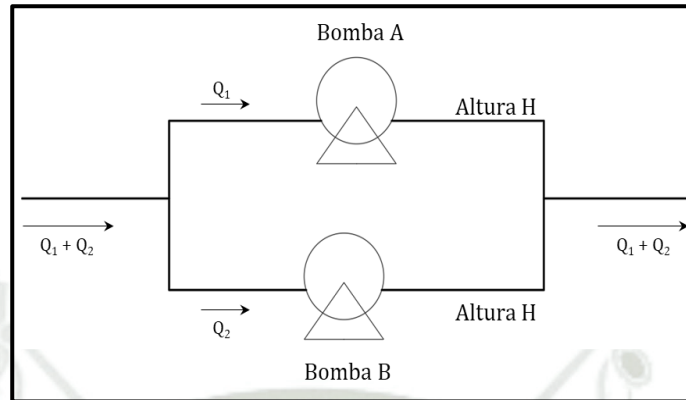


Figura 19. Bombas en Paralelo (Shashi Menon & Shashi Menon, 2010)

3.3. Configuración en serie

De la suma de las dos ecuaciones de caudales de cada bomba se obtiene la ecuación de altura del sistema, considerando que la suma se hace a caudales constantes.

$$\begin{aligned} Q_s &= Q_A = Q_B \\ H_s &= H_A + H_B \end{aligned} \quad (3.19)$$

Donde:

- Q_s : Caudal del sistema [m^3/s]
- H_s : Altura del sistema en serie [mca]
- Q_A : Caudal de la bomba A [m^3/s]
- Q_B : Caudal de la bomba B [m^3/s]
- H_A : Altura de bomba A [mca]
- H_B : Altura de bomba B [mca]

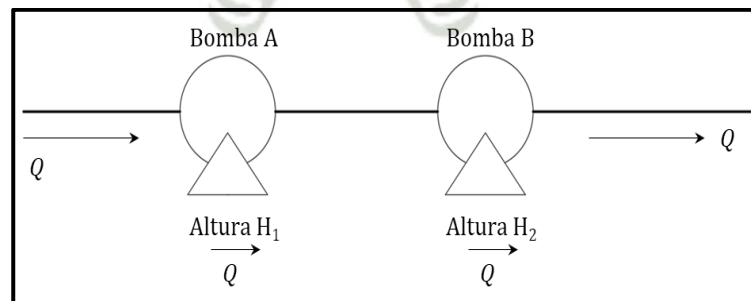


Figura 20. Configuración en serie (Shashi Menon & Shashi Menon, 2010)

En relación al módulo de banco de tuberías, está conformado por dos etapas, una de succión y una de descarga. En las cuales cada una de las etapas se realizarán los respectivos cálculos para determinar las pérdidas primarias y secundarias del sistema.



CAPÍTULO IV: DISEÑO DE BANCO DE TUBERÍAS AUTOMATIZADO

4.1. Condiciones generales:

El presente proyecto que fue desarrollado para el banco de tuberías permite el estudio o análisis y el cálculo de la suma de la altura estática o geométrica a vencer y las pérdidas de carga que se tiene en el banco de tuberías. Las dimensiones y materiales utilizados en el diseño de banco de tuberías han sido escogidas de acuerdo al diseño.

Para el ensamblaje del banco de tuberías se construirá un tablero de melamina de 3 x 1.8 m, con un espesor de 18 mm, en el cual se instalarán las diferentes trayectorias que serán analizadas de acuerdo a la configuración de encendido de las bombas (serie-paralelo). La cual estará montado en una estructura de acero de 50.8x50.8 mm x 2 mm, y esta provista de ruedas para un traslado fácil del banco de tuberías.

En referencia a las trayectorias de tuberías que se desean analizar tendrán una configuración en paralelo, la cual la diferencias serán, los diámetros y materiales de las tuberías y accesorios. El fluido circulará por cada una de las trayectorias de forma independiente de acuerdo a la apertura y cierre de válvulas instaladas en el módulo. Esto originará diferentes parámetros (caudal-presión) los cuales serán analizados para la obtención de las pérdidas de carga que se obtienen en el banco de tuberías.

De esta forma, se obtienen las siguientes distribuciones del sistema:

- **Trayectoria 1:** Sistema conformado por tubería de PVC y accesorios de 1".
- **Trayectoria 2:** Sistema conformado por tubería de PVC y accesorio de $\frac{3}{4}$ ".
- **Trayectoria 3:** Sistema conformado por tubería fierro fundido y accesorios de $\frac{3}{4}$ ".
- **Trayectoria 4:** Sistema conformado por tubería de PVC y accesorio de $\frac{1}{2}$ ".

Cabe precisar que las tuberías que cumplen la función de la vía principal del sistema y que se unen a las distintas trayectorias serán de PVC con un diámetro nominal de 1".

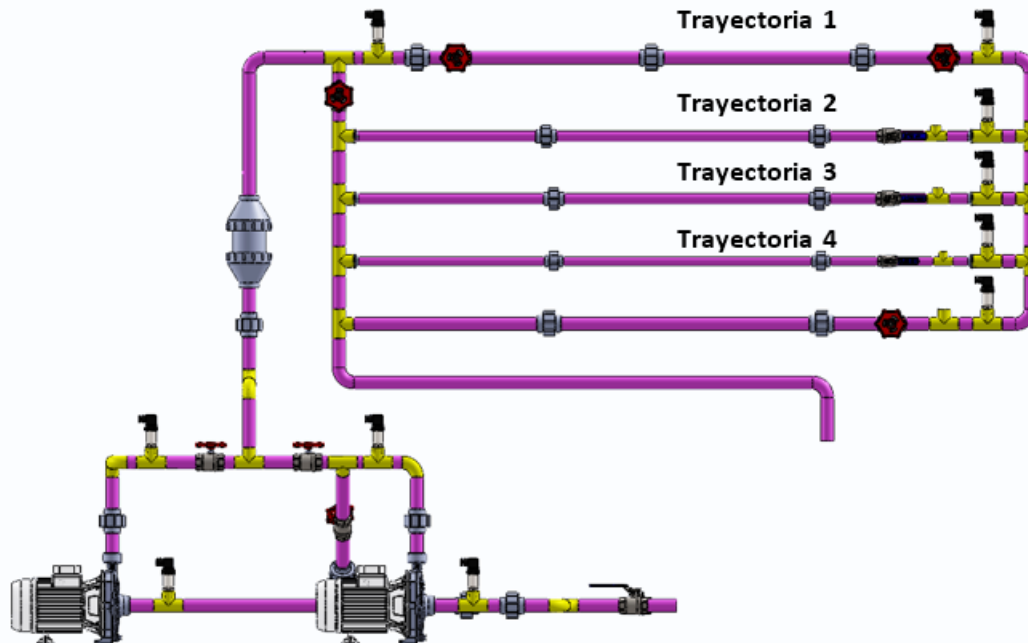


Figura 21. Trayectorias del módulo del banco de tuberías - SolidWorks (Fuente propia)

El diseño posee diferentes puntos de toma de presión y una toma de caudal los cuales serán obtenidos por los transmisores de presión y sensor de caudal para luego visualizarlo en la interfaz de Lab-View en tiempo real. Los transmisores de presión estarán instalados a la entrada y salida de ambas bombas y también estarán ubicadas en cada trayectoria. Por otra parte, el sensor de caudal estará instalado antes de la alimentación de las trayectorias.

La suministración de agua al sistema se dará desde un tanque con una capacidad de 1.96 m³, los cuales serán suficientes para alimentar las diferentes trayectorias del sistema y evitar la cavitación de las bombas. Para la alimentación de las trayectorias se tiene dos configuraciones de alimentación, la primera configuración bombas en serie y paralelo (Véase figura 21). Para la selección de bombas se analizará las pérdidas de carga de cada trayectoria del sistema, siendo la más crítica la utilizada para selección de bomba con la potencia necesaria para suministrar el fluido a todo el sistema.

4.2. Parámetros de Diseño

4.2.1. Parámetros constantes:

- **Longitud de tuberías:** Esto está determinado en gran medida por las dimensiones aproximadas proporcionadas para el banco hidráulico. Por otro lado, los criterios de diseño de longitud son los mismos en pista, pero cambian el material.
- **Diámetro:** La selección del diámetro se realiza teniendo en cuenta el pequeño diámetro de la tubería. Esto se debe a que observamos mayores velocidades en estos casos y mayores diferencias de caída de presión.
- **Rugosidad:** Este factor depende totalmente del tipo de material, por lo que viene definido en la tabla del fabricante para cada material y accesorio que se utilizarán.
- **Gravedad:** Este parámetro está definido al sitio geográfico en el que se instalará el banco de tuberías, en nuestro caso será en la ciudad de Arequipa, con un valor de $9,81 \text{ m/s}^2$.
- **Viscosidad Cinemática:** Este factor está sujeto a la temperatura ambiente por lo tanto será iguala la temperatura del fluido, el valor de la viscosidad cinemática será $\nu = 1.003 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ (Cengel & Cimbala, 2010)
- **Densidad:** La densidad del agua se tomará de acuerdo a la temperatura ambiente. Por lo tanto, el factor tomará un valor de $\rho = 998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ (Cengel & Cimbala, 2010)

4.2.2. Parámetros variables

- **Caudal:** Se controla mediante válvulas de cierre, como válvulas de globo, válvulas de bola y válvulas de compuerta. De esta forma, se ajustan diferentes valores de flujo para explorar la variación de pérdidas en diferentes trayectorias de conducción.
- **Presión:** Esta es la variable que queremos conocer y medir, y se registra mediante un transmisor de presión.

4.2.3. Selección de Materiales y Diámetros

Para la selección de los materiales y diámetros de las tuberías de las distintas trayectorias se tuvo en consideración la factibilidad de poder conseguirlos. El cual se decidió optar por dos tipos de materiales PVC y hierro fundido, donde se podrá estudiar el distinto comportamiento al haber variaciones de diámetro, el material y factor de rugosidad.

Estos materiales y diámetros están fácilmente disponibles en el mercado, lo que permite crear diferentes configuraciones y observar el comportamiento de pérdida de carga a través de diferentes longitudes de tubería y accesorios. (véase tabla 4 y 5).

Tabla 4. NTP 399.166:2008 (revisada el 2018) tubos de poli (cloruro de vinilo) no plastificado (PVC-U) para la conducción de fluidos a presión con unión tipo rosca.

Material	Diámetro nominal (pulg)	Diámetro exterior -Real (mm)	Espesor de la pared (mm)	Diámetro interior (mm)	Rugosidad
PVC	1"	33	3.4	26.2	0.0015
PVC	3/4"	26.5	2.9	20.7	0.0015
PVC	1/2"	21	2.9	15.2	0.0015

Tabla 5. Características de fierro fundido - Elaboración propia

Material	Diámetro nominal (pulg)	Diámetro externo -Real (mm)	Espesor de la pared (mm)	Diámetro interior (mm)	Rugosidad
Fierro fundido	3/4"	25	4	21	0.014

4.3. Trayectorias

4.3.1. Trayectoria 1 – En serie

Para la trayectoria 1, el material que se utilizó es PVC, donde las tuberías tienen un diámetro de 1" y accesorios a lo largo de esta.

Para el cálculo las unidades, el caudal, tendrá las siguientes unidades ($\frac{m^3}{s}$), pudiendo trabajar de una manera más cómoda con las unidades.

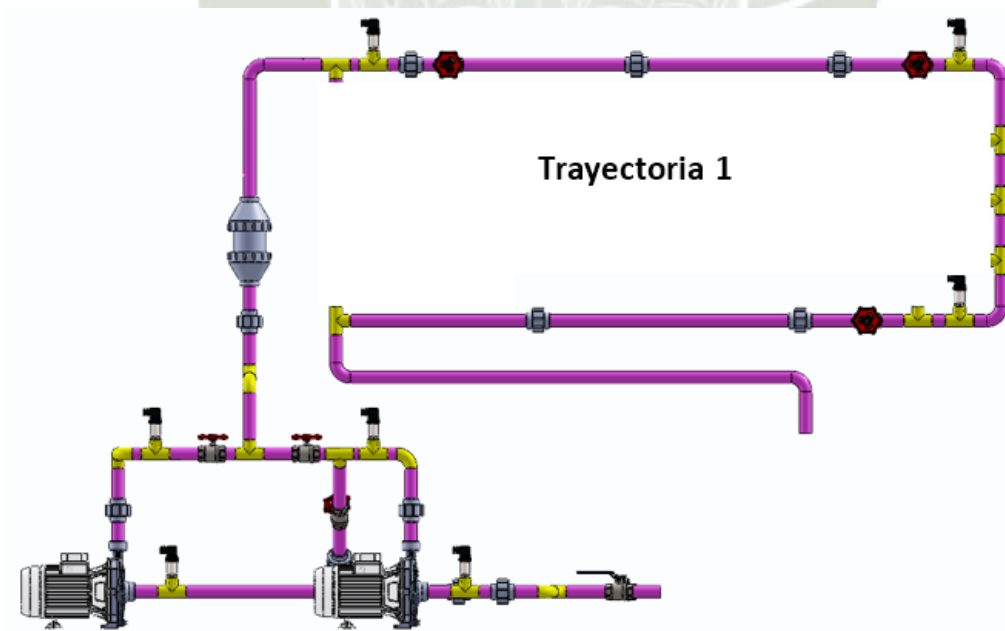


Figura 22. Trayectoria 1 - Configuración en serie.

Pérdida de carga por fricción de tubería (h_f):

1. Lo primero en realizar, es el tipo de material, el diámetro y la trayectoria a evaluar. Si existe más de un material o diámetro en la trayectoria, se deberá de analizar por tramos independientes.
2. Determinar el diámetro interno exacto de cada tubería de acuerdo con el material (según tabla 4)
3. Calcular la velocidad del fluido en cada tramo a medida que aumente el caudal.
4. Calcular Reynolds, a pati del diámetro de tubería, de la velocidad calculada en el punto anterior y la viscosidad cinemática.
5. Obtener la rugosidad relativa ε/D_i . Esta la podremos obtener mediante la rugosidad absoluta ε (véase tabla 3).
6. Obtenidos los datos de los puntos anteriores, procederemos a calcular el coeficiente de fricción f . El flujo a considerar va a depender del número de Reynolds (laminar o turbulento) para ello se utilizarán las siguientes fórmulas para determinar dicho flujo.
 - a. Flujo Laminar (Yunus A. Cengel)

$$f = \frac{64}{Re}$$

- b. Flujo Turbulento (Yunus A. Cengel)

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon}{D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

7. Por último, las pérdidas por fricción de cada tramo se efectuará con la ecuación de Darcy-Weisbach.

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

Entonces se concluye que para obtener la pérdida de carga por fricción de las trayectorias se realizará la suma de estas por cada tramo (véase tabla 6).

Tabla 6. Pérdidas de carga por fricción en Trayectoria 1-En Serie (Elaboración propia)

Pérdidas de Energía por fricción	
Caudal (m ³ /s)	hf(m)
0.0001	0.0239
0.0002	0.0783
0.0003	0.1581
0.0004	0.2614
0.0005	0.3867
0.0006	0.5333
0.0008	0.8875
0.001	1.3200
0.0012	1.8278
0.00155	2.8916

Pérdida de energía por accesorios (h_s):

1. Para empezar, se analiza el material y el diámetro de tubería de la trayectoria. Si en la trayectoria definida existe más de un tipo de material o diámetro, se analizarán como tramos independientes.
2. Identificar los accesorios y determinar la cantidad que se obtenga de estos en cada tramo.
3. Establecer el diámetro interno de cada tubería. (véase tabla)
4. Calcular la velocidad del fluido en cada tramo, esto con la ecuación de continuidad.
5. Determinar el coeficiente de proporcionalidad "K" (Tabla), este coeficiente dependerá del tipo de accesorio.
6. Por último, calcular las pérdidas por accesorios para cada tramo con la siguiente ecuación

$$h_s = K \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Estas pérdidas se muestran a continuación de manera resumida (véase tabla 7).

Tabla 7. Pérdidas de carga por accesorios en la Trayectoria 1-En Serie (Elaboración propia)

Pérdidas de Energía por accesorios	
Caudal (m ³ /s)	hs(m)
0.0001	0.0578
0.0002	0.2312
0.0003	0.5202
0.0004	0.9247
0.0005	1.4449
0.0006	2.0807
0.0008	3.6990
0.001	5.7797
0.0012	8.3227
0.00155	13.8857

Calcular y determinar la curva de operación del sistema

Para determinar la curva de operación de cada trayectoria, se debe calcular la altura dinámica total de bombeo (h_A) de cada una de estas.

Para esto, se debe calcular las pérdidas de energía con la ecuación general de energía siguiente:

$$h_A = (Z_2 - Z_1) + \frac{v_2^2}{2g} + \sum (h_f + h_s)$$

Se tiene que el valor de la altura estática ($Z_2 - Z_1$) ya se calculó previamente, y se resume simplemente como:

$$H_0 = Z_2 - Z_1 = 40\text{cm} = 0.4\text{m}$$

A continuación, se muestra una tabla resumen de la altura dinámica total (TDH) obtenida a partir de las iteraciones de caudal y su respectiva velocidad de salida del fluido, en referencia a la trayectoria 1 (véase tabla 8).

Tabla 8. Cálculo de curva del sistema para trayectoria 1.

Diámetro (m)	Caudal (m ³ /s)	Ho	V(m/s)	v ² /2g	hf (m)	hs(m)	TDH (m)
0.0262	0	0.55					0.55
	0.0001		0.1855	0.0018	0.0239	0.0578	0.6335
	0.0002		0.3710	0.0070	0.0783	0.2312	0.8665
	0.0003		0.5565	0.0158	0.1581	0.5202	1.2441
	0.0004		0.7419	0.0281	0.2614	0.9247	1.7642
	0.0005		0.9274	0.0438	0.3867	1.4449	2.4255
	0.0006		1.1129	0.0631	0.5333	2.0807	3.2271
	0.0008		1.4839	0.1122	0.8875	3.6990	5.2488
	0.001		1.8548	0.1754	1.3200	5.7797	7.8250
	0.0012		2.2258	0.2525	1.8278	8.3227	10.9531
	0.00155		2.8750	0.4213	2.8916	13.8857	17.7486

Finalmente, con los datos de la tabla anterior se elabora una curva graficando los valores de Caudal vs Altura dinámica y así se logra obtener la curva del sistema para la trayectoria 1.

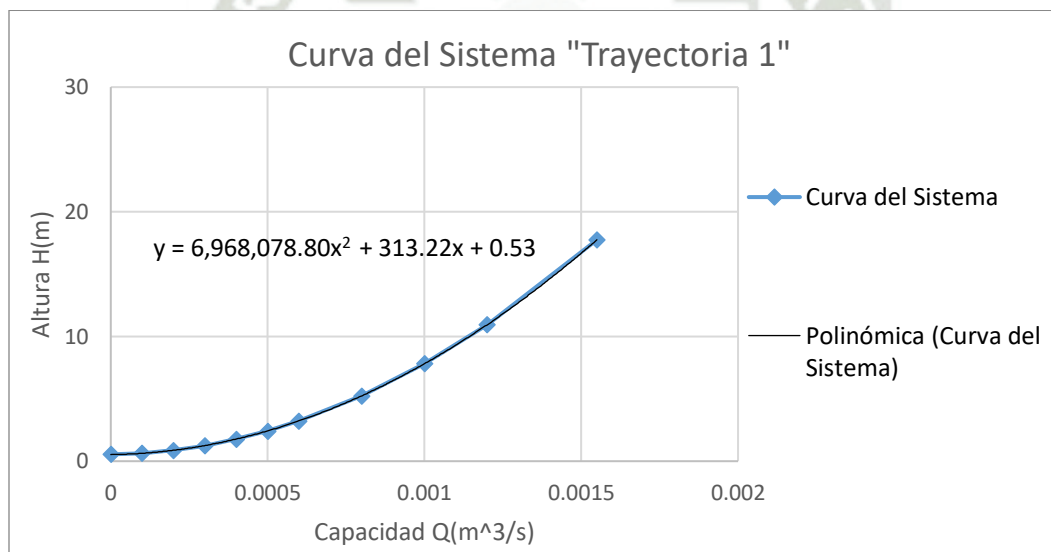


Figura 23. Curva del sistema Trayectoria 1. (Elaboración propia)

4.3.2. Trayectoria 2 – En Serie

Para la trayectoria 2, el material que se utilizó es PVC, donde las tuberías tienen un diámetro de 3/4" y accesorios a lo largo de esta.

Para el cálculo las unidades, el caudal, tendrá las siguientes unidades ($\frac{m^3}{s}$), pudiendo trabajar de una manera más cómoda con las unidades.

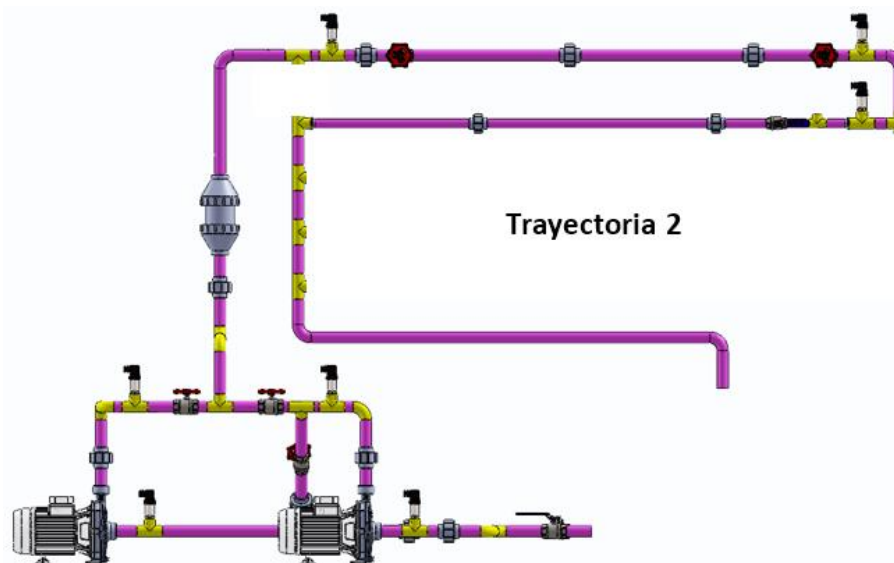


Figura 24. Trayectoria 2 - Configuración en serie.

Pérdida de carga por fricción de tubería (h_f):

A continuación, se muestra una tabla resumen de los resultados obtenidos, utilizados para los cálculos de pérdidas de energía por fricción para la trayectoria 2 (véase tabla 9).

Tabla 9. Pérdidas de carga por fricción en Trayectoria 2-En Serie (Elaboración propia)

Pérdidas de Energía por fricción	
Caudal (m ³ /s)	hf (m)
0.0001	0.0318
0.0002	0.1045
0.0003	0.2114
0.0004	0.3498
0.0005	0.5180
0.0006	0.7148
0.0008	1.1908
0.001	1.7725
0.0012	2.4563
0.00155	3.8900

Pérdida de energía por accesorios (h_s):

Las pérdidas por singularidades en la trayectoria 2 se muestran a continuación de manera resumida (véase tabla 10).

Tabla 10. Pérdidas de carga por accesorios en la Trayectoria 2-En Serie (Elaboración propia)

Pérdidas de Energía por accesorios	
Caudal (m ³ /s)	hs(m)
0.0001	0.1036
0.0002	0.4142
0.0003	0.9321
0.0004	1.6570
0.0005	2.5890
0.0006	3.7282
0.0008	6.6279
0.001	10.3562
0.0012	14.9129
0.00155	24.8807

Calcular y determinar la curva de operación del sistema

Seguidamente, se muestra una tabla resumen de la altura dinámica total (TDH) obtenida a partir de las iteraciones de caudal y su respectiva velocidad de salida del fluido, en referencia a la trayectoria 2 (véase tabla 11).

Tabla 11. Cálculo de curva del sistema para trayectoria 2.

Diámetro (m)	Caudal (m ³ /s)	Ho	V(m/s)	v ² /2g	hf (m)	hs(m)	TDH (m)
0.0262	0	0.55					0.55
	0.0001		0.1855	0.0018	0.0318	0.1036	0.6871
	0.0002		0.3710	0.0070	0.1045	0.4142	1.0757
	0.0003		0.5565	0.0158	0.2114	0.9321	1.7092
	0.0004		0.7419	0.0281	0.3498	1.6570	2.5848
	0.0005		0.9274	0.0438	0.5180	2.5890	3.7008
	0.0006		1.1129	0.0631	0.7148	3.7282	5.0561
	0.0008		1.4839	0.1122	1.1908	6.6279	8.4810
	0.001		1.8548	0.1754	1.7725	10.3562	12.8540
	0.0012		2.2258	0.2525	2.4563	14.9129	18.1716
	0.00155		2.8750	0.4213	3.8900	24.8807	29.7420

Finalmente, con los datos de la tabla anterior se elabora una curva graficando los valores de Caudal vs altura dinámica total “h” y así se logra obtener la curva del sistema para la trayectoria 2.

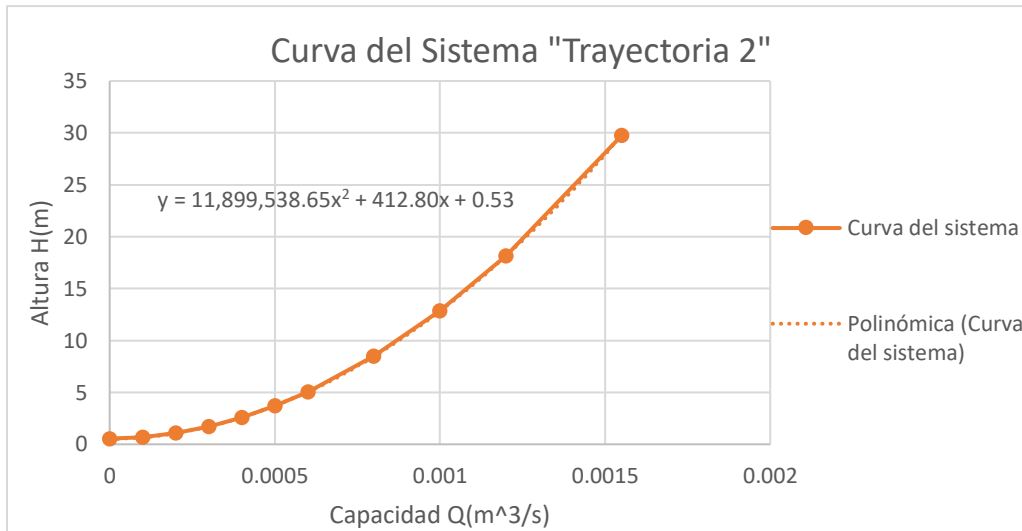


Figura 25. Curva del sistema Trayectoria 2. (Elaboración propia)

4.3.3. Trayectoria 3 – En Serie

Para la trayectoria 3, el material que se utilizó es fierro fundido, donde las tuberías tienen un diámetro de 3/4" y accesorios a lo largo de esta.

Para el cálculo las unidades, el caudal, tendrá las siguientes unidades ($\frac{m^3}{s}$), pudiendo trabajar de una manera más cómoda con las unidades.

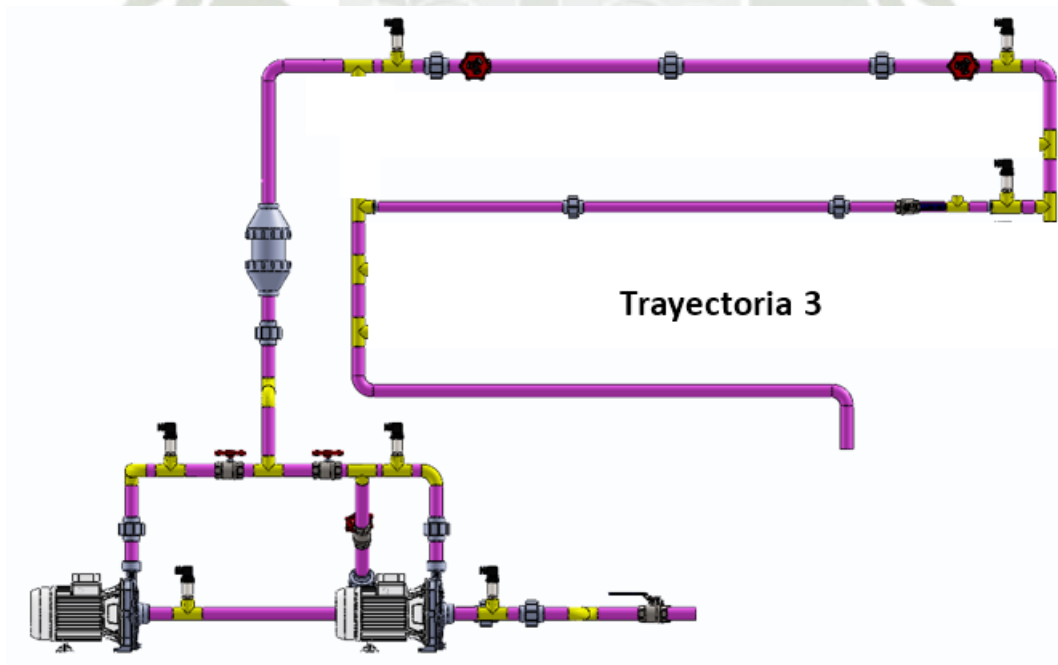


Figura 26. Trayectoria 3 - Configuración en serie.

Pérdida de carga por fricción de tubería (h_f):

A continuación, se muestra una tabla resumen de los resultados obtenidos, utilizados para los cálculos de pérdidas de energía por fricción para la trayectoria 3 (véase tabla 12).

Tabla 12. Pérdidas de carga por fricción en Trayectoria 3-En Serie (Elaboración propia)

Pérdidas de Energía por fricción	
Caudal (m³/s)	hf (m)
0.0001	0.0313
0.0002	0.1032
0.0003	0.2098
0.0004	0.3485
0.0005	0.5181
0.0006	0.7174
0.0008	1.2026
0.001	1.8000
0.0012	2.5066
0.00155	4.0000

Pérdida de energía por accesorios (h_s):

Las pérdidas por singularidades en la trayectoria 2 se muestran a continuación de manera resumida (véase tabla 13).

Tabla 13. Pérdidas de carga por accesorios en la Trayectoria 3-En Serie (Elaboración propia)

Pérdidas de Energía por accesorios	
Caudal (m³/s)	hs(m)
0.0001	0.1009
0.0002	0.4038
0.0003	0.9085
0.0004	1.6151
0.0005	2.5236
0.0006	3.6340
0.0008	6.4604
0.001	10.0944
0.0012	14.5359
0.00155	24.2518

Calcular y determinar la curva de operación del sistema

A continuación, se muestra una tabla resumen de la altura dinámica total (TDH) obtenida a partir de las iteraciones de caudal y su respectiva velocidad de salida del fluido, en referencia a la trayectoria 3 (véase tabla 14).

Tabla 14. Cálculo de curva del sistema para trayectoria 3.

Diámetro (m)	Caudal (m ³ /s)	Ho	V(m/s)	v ² /2g	hf (m)	hs(m)	TDH (m)
0.0262	0	0.55					0.55
	0.0001		0.1855	0.0018	0.0313	0.1009	0.6840
	0.0002		0.3710	0.0070	0.1032	0.4038	1.0640
	0.0003		0.5565	0.0158	0.2098	0.9085	1.6841
	0.0004		0.7419	0.0281	0.3485	1.6151	2.5417
	0.0005		0.9274	0.0438	0.5181	2.5236	3.6355
	0.0006		1.1129	0.0631	0.7174	3.6340	4.9645
	0.0008		1.4839	0.1122	1.2026	6.4604	8.3252
	0.001		1.8548	0.1754	1.8000	10.0944	12.6197
	0.0012		2.2258	0.2525	2.5066	14.5359	17.8450
	0.00155		2.8750	0.4213	4.0000	24.2518	29.2230

Finalmente, con los datos de la tabla anterior se elabora una curva graficando los valores de Caudal vs altura dinámica total "h" y así se logra obtener la curva del sistema para la trayectoria 3.

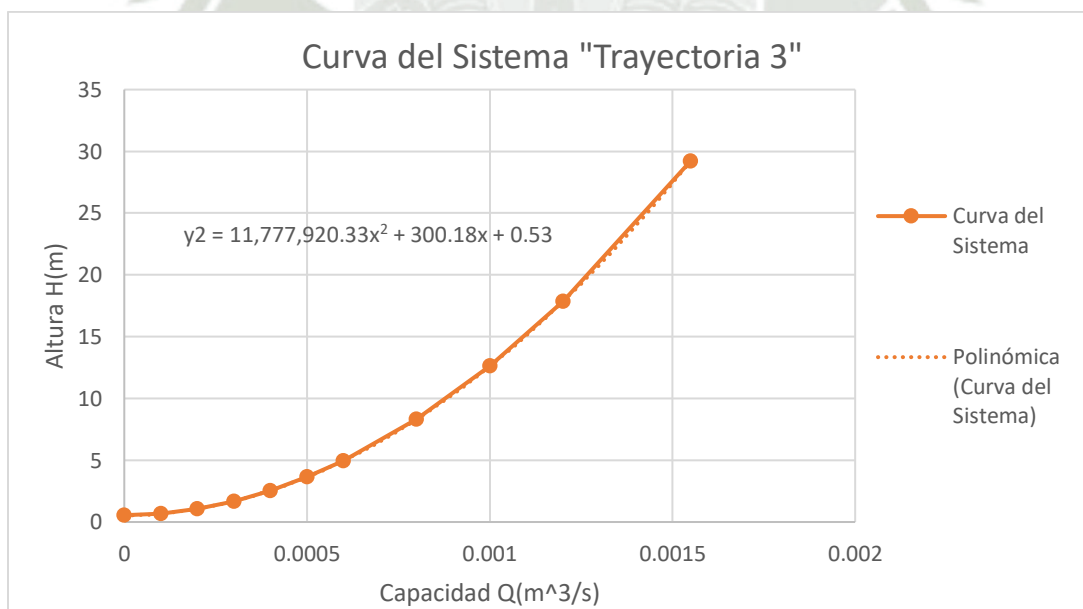


Figura 27. Curva del sistema Trayectoria 3. (Elaboración propia)

4.3.4. Trayectoria 4 – En serie

Para la trayectoria 4, el material que se utilizó es PVC, donde las tuberías tienen un diámetro de 1/2" y accesorios a lo largo de esta.

Para el cálculo las unidades, el caudal, tendrá las siguientes unidades ($\frac{m^3}{s}$), pudiendo trabajar de una manera más cómoda con las unidades.

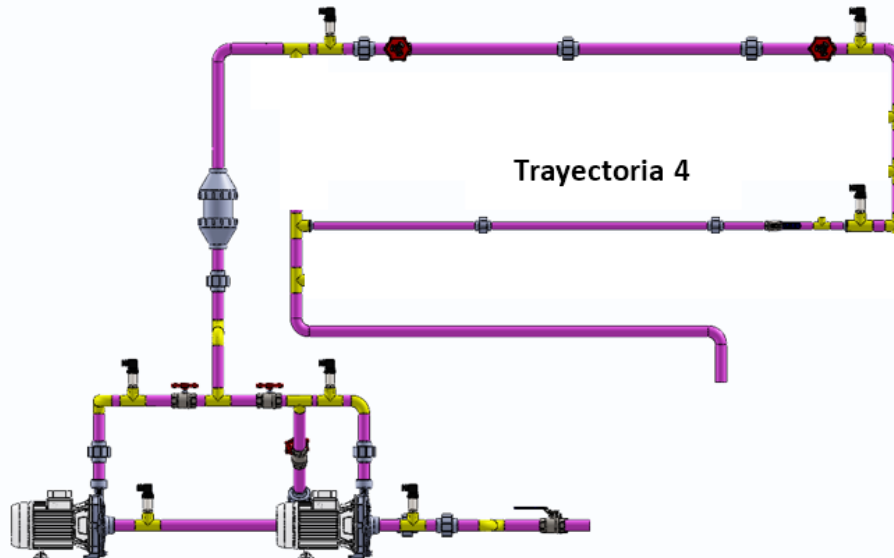


Figura 28. Trayectoria 4 - Configuración en serie.

Pérdida de carga por fricción de tubería (h_f):

A continuación, se muestra una tabla resumen de los resultados obtenidos, utilizados para los cálculos de pérdidas de energía por fricción para la trayectoria 4 (véase tabla 15).

Tabla 15. Pérdidas de carga por fricción en Trayectoria 4-En Serie (Elaboración propia)

Pérdidas de Energía por fricción	
Caudal (m^3/s)	h_f (m)
0.0001	0.0734
0.0002	0.2433
0.0003	0.4949
0.0004	0.8220
0.0005	1.2208
0.0006	1.6889
0.0008	2.8251
0.001	4.2191
0.0012	5.8631
0.00155	9.3248

Pérdida de energía por accesorios (h_s):

Las pérdidas por singularidades en la trayectoria 2 se muestran a continuación de manera resumida (véase tabla 16).

Tabla 16. Pérdidas de carga por accesorios en la Trayectoria 4-En Serie (Elaboración propia)

Pérdidas de Energía por accesorios	
Caudal (m^3/s)	$h_s(m)$
0.0001	0.2306
0.0002	0.9225
0.0003	2.0756
0.0004	3.6899
0.0005	5.7655
0.0006	8.3023
0.0008	14.7597
0.001	22.2262
0.0012	33.2093
0.00155	55.4065

Calcular y determinar la curva de operación del sistema

A continuación, se muestra una tabla resumen de la altura dinámica total (TDH) obtenida a partir de las iteraciones de caudal y su respectiva velocidad de salida del fluido, en referencia a la trayectoria 4 (véase tabla 17).

Tabla 17. Cálculo de curva del sistema para trayectoria 4.

Diámetro (m)	Caudal (m^3/s)	H_o	$V(m/s)$	$v^2/2g$	$h_f (m)$	$h_s(m)$	TDH (m)
0.0262	0	0.55					0.55
	0.0001		0.1855	0.0018	0.0734	0.2306	0.8558
	0.0002		0.3710	0.0070	0.2433	0.9225	1.7228
	0.0003		0.5565	0.0158	0.4949	2.0756	3.1362
	0.0004		0.7419	0.0281	0.8220	3.6899	5.0899
	0.0005		0.9274	0.0438	1.2208	5.7655	7.5802
	0.0006		1.1129	0.0631	1.6889	8.3023	10.6043
	0.0008		1.4839	0.1122	2.8251	14.7597	18.2470
	0.001		1.8548	0.1754	4.2191	22.2262	27.1706
	0.0012		2.2258	0.2525	5.8631	33.2093	39.8750
	0.00155		2.8750	0.4213	9.3248	55.4065	65.7026

Finalmente, con los datos de la tabla anterior se elabora una curva graficando los valores de Caudal vs altura dinámica total " h " y así se logra obtener la curva del sistema para la trayectoria 4.

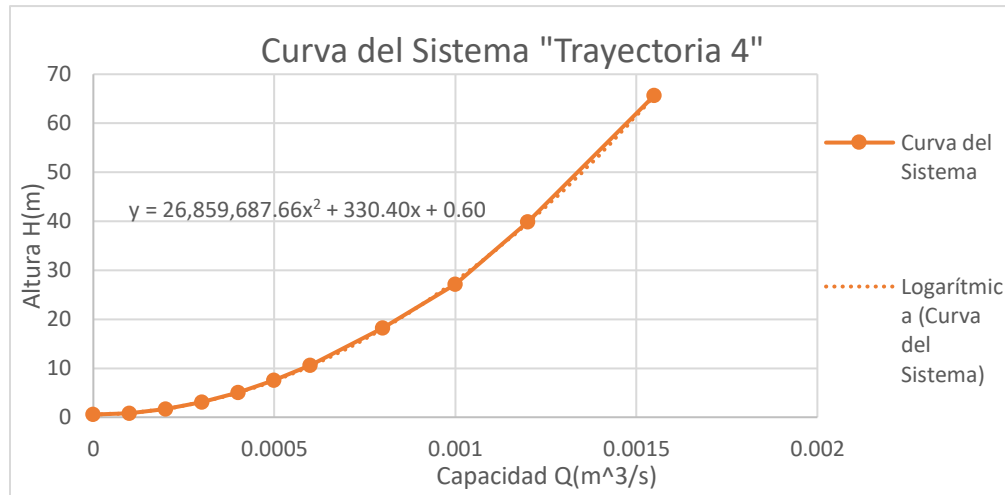


Figura 29. Curva del sistema Trayectoria 4. (Elaboración propia)

4.3.5. Trayectoria 1 – En Paralelo

Para la trayectoria 1, el material que se utilizó es PVC, donde las tuberías tienen un diámetro de 1" y accesorios a lo largo de esta.

Para el cálculo las unidades, el caudal, tendrá las siguientes unidades ($\frac{m^3}{s}$), pudiendo trabajar de una manera más cómoda con las unidades.

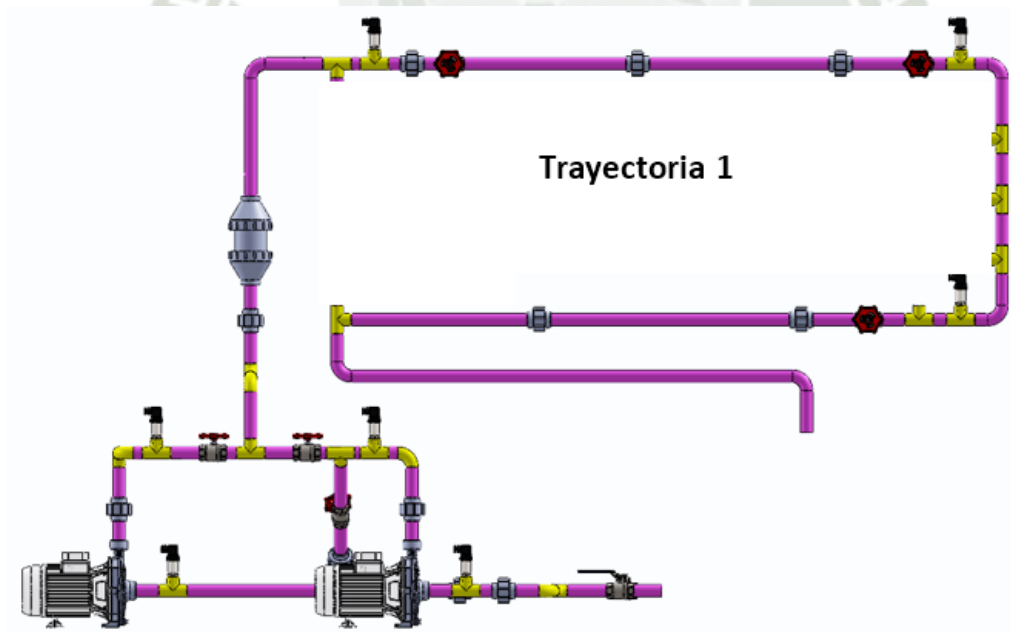


Figura 30. Trayectoria 1 configuración en paralelo

Pérdida de carga por fricción de tubería (h_f):

A continuación, se muestra una tabla resumen de los resultados obtenidos, utilizados para los cálculos de pérdidas de energía por fricción para la trayectoria 1 (véase tabla 18).

Tabla 18. Pérdidas de carga por fricción en Trayectoria 1-En Paralelo (Elaboración propia)

Pérdidas de Energía por fricción	
Caudal (m³/s)	hf (m)
0.0001	0.0252
0.0002	0.0826
0.0003	0.1669
0.0004	0.2759
0.0005	0.4083
0.0006	0.5630
0.0008	0.9370
0.001	1.3936
0.0012	1.9297
0.00155	3.0528

Pérdida de energía por accesorios (h_s):

Las pérdidas por singularidades en la trayectoria 2 se muestran a continuación de manera resumida (véase tabla 19).

Tabla 19. Pérdidas de carga por accesorios en la Trayectoria 1-En Paralelo (Elaboración propia)

Pérdidas de Energía por accesorios	
Caudal (m³/s)	hs(m)
0.0001	0.0672
0.0002	0.2689
0.0003	0.6049
0.0004	1.0754
0.0005	1.6803
0.0006	2.4197
0.0008	4.3016
0.001	6.7213
0.0012	9.6787
0.00155	16.1480

Calcular y determinar la curva de operación del sistema

A continuación, se muestra una tabla resumen de la altura dinámica total (TDH) obtenida a partir de las iteraciones de caudal y su respectiva velocidad de salida del fluido, en referencia a la trayectoria 1 (véase tabla 20).

Tabla 20. Cálculo de curva del sistema para trayectoria 1.

Diámetro (m)	Caudal (m ³ /s)	Ho	V(m/s)	v ² /2g	hf (m)	hs(m)	TDH (m)
0.0262	0	0.55					0.55
	0.0001		0.1855	0.0018	0.0252	0.0672	0.6442
	0.0002		0.3710	0.0070	0.0826	0.2689	0.9085
	0.0003		0.5565	0.0158	0.1669	0.6049	1.3376
	0.0004		0.7419	0.0281	0.2759	1.0754	1.9294
	0.0005		0.9274	0.0438	0.4083	1.6803	2.6825
	0.0006		1.1129	0.0631	0.5630	2.4197	3.5959
	0.0008		1.4839	0.1122	0.9370	4.3016	5.9009
	0.001		1.8548	0.1754	1.3936	6.7213	8.8402
	0.0012		2.2258	0.2525	1.9297	9.6787	12.4109
	0.00155		2.8750	0.4213	3.0528	16.1480	20.1721

Finalmente, con los datos de la tabla anterior se elabora una curva graficando los valores de Caudal vs altura dinámica total de bombeo “h” y así se logra obtener la curva del sistema para la trayectoria 1.

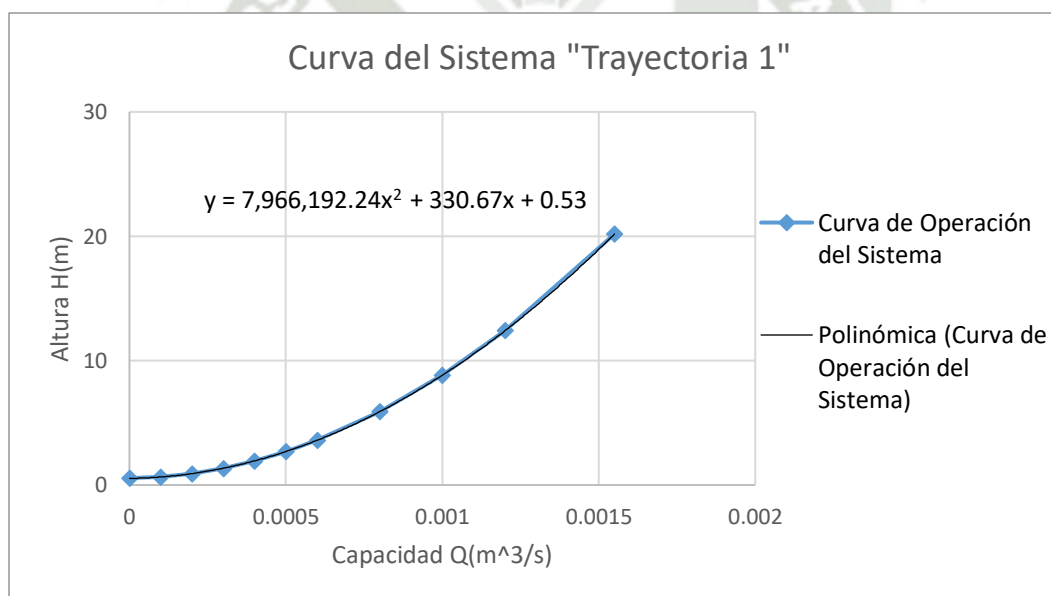


Figura 31. Curva del sistema Trayectoria 1. (Elaboración propia)

4.3.6. Trayectoria 2 – En Paralelo

Para la trayectoria 2, el material que se utilizó es PVC, donde las tuberías tienen un diámetro de 3/4” y accesorios a lo largo de esta.

Para el cálculo las unidades, el caudal, tendrá las siguientes unidades ($\frac{m^3}{s}$), pudiendo trabajar de una manera más cómoda con las unidades.

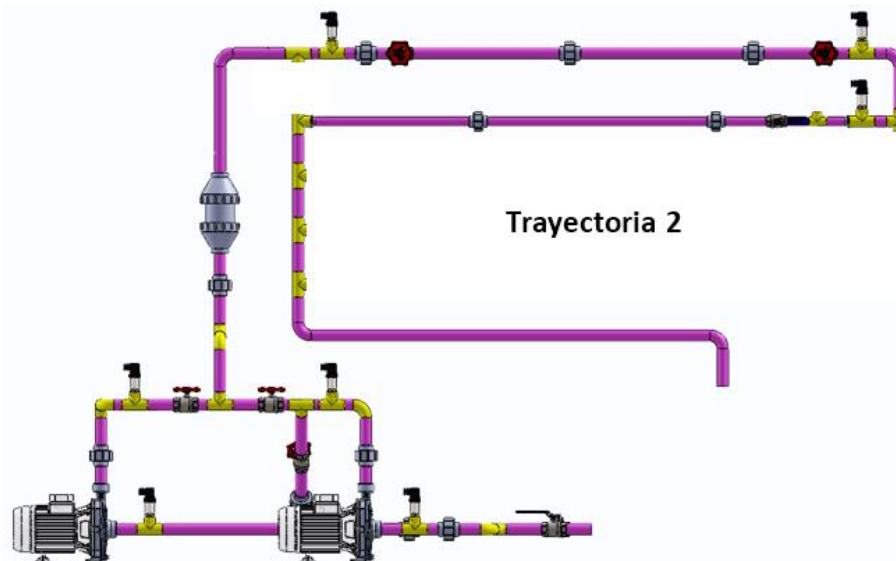


Figura 32. Trayectoria 2 configuración en paralelo

Pérdida de carga por fricción de tubería (h_f):

A continuación, se muestra una tabla resumen de los resultados obtenidos, utilizados para los cálculos de pérdidas de energía por fricción para la trayectoria 2 (véase tabla 21).

Tabla 21. Pérdidas de carga por fricción en Trayectoria 2-En Paralelo (Elaboración propia)

Pérdidas de Energía por fricción	
Caudal (m ³ /s)	hf (m)
0.0001	0.0335
0.0002	0.1099
0.0003	0.2224
0.0004	0.3680
0.0005	0.5449
0.0006	0.7519
0.0008	1.2526
0.001	1.8645
0.0012	2.5836
0.00155	4.0915

Pérdida de energía por accesorios (h_s):

Las pérdidas por singularidades en la trayectoria 2 se muestran a continuación de manera resumida (véase tabla 22).

Tabla 22. Pérdidas de carga por fricción en Trayectoria 2-En Paralelo (Elaboración propia)

Pérdidas de Energía por accesorios	
Caudal (m ³ /s)	hs(m)
0.0001	0.1130
0.0002	0.4519
0.0003	1.0168
0.0004	1.8076
0.0005	2.8245
0.0006	4.0672
0.0008	7.2306
0.001	11.2978
0.0012	16.2688
0.00155	27.1430

Calcular y determinar la curva de operación del sistema

A continuación, se muestra una tabla resumen de la altura dinámica total (TDH) obtenida a partir de las iteraciones de caudal y su respectiva velocidad de salida del fluido, en referencia a la trayectoria 2 (véase tabla 23).

Tabla 23. Cálculo de curva del sistema para trayectoria 2.

Diámetro (m)	Caudal (m ³ /s)	Ho	V(m/s)	v ² /2g	hf (m)	hs(m)	TDH (m)
0.0262	0	0.55					0.55
	0.0001		0.1855	0.0018	0.0335	0.1130	0.6982
	0.0002		0.3710	0.0070	0.1099	0.4519	1.1189
	0.0003		0.5565	0.0158	0.2224	1.0168	1.8050
	0.0004		0.7419	0.0281	0.3680	1.8076	2.7537
	0.0005		0.9274	0.0438	0.5449	2.8245	3.9632
	0.0006		1.1129	0.0631	0.7519	4.0672	5.4323
	0.0008		1.4839	0.1122	1.2526	7.2306	9.1454
	0.001		1.8548	0.1754	1.8645	11.2978	13.8877
	0.0012		2.2258	0.2525	2.5836	16.2688	19.6550
	0.00155		2.8750	0.4213	4.0915	27.1430	32.2058

Finalmente, con los datos de la tabla anterior se elabora una curva graficando los valores de Caudal vs altura dinámica total “h” y así se logra obtener la curva del sistema para la trayectoria 2.

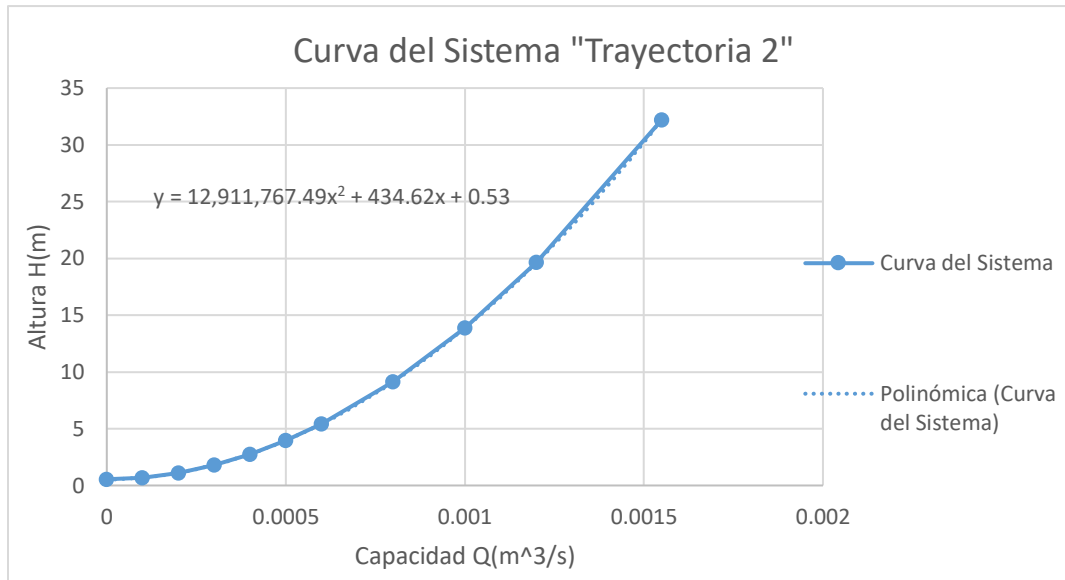


Figura 33. Curva del sistema Trayectoria 2. (Elaboración propia)

4.3.7. Trayectoria 3 – En Paralelo

Para la trayectoria 3, el material que se utilizó es fierro fundido, donde las tuberías tienen un diámetro de 3/4" y accesorios a lo largo de esta.

Para el cálculo las unidades, el caudal, tendrá las siguientes unidades ($\frac{m^3}{s}$), pudiendo trabajar de una manera más cómoda con las unidades.

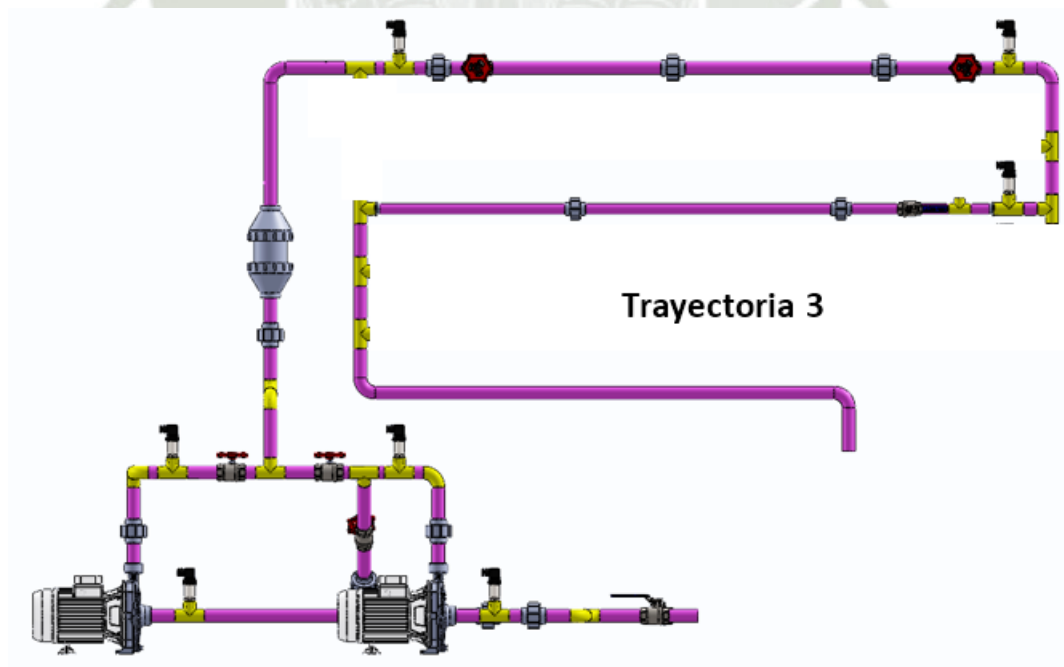


Figura 34. Trayectoria 3 configuración en paralelo

Pérdida de carga por fricción de tubería (h_f):

A continuación, se muestra una tabla resumen de los resultados obtenidos, utilizados para los cálculos de pérdidas de energía por fricción para la trayectoria 3 (véase tabla 24).

Tabla 24. Pérdidas de carga por fricción en Trayectoria 3-En Paralelo (Elaboración propia)

Pérdidas de Energía por fricción	
Caudal (m ³ /s)	hf (m)
0.0001	0.0329
0.0002	0.1087
0.0003	0.2208
0.0004	0.3668
0.0005	0.5450
0.0006	0.7546
0.0008	1.2644
0.001	1.8919
0.0012	2.6339
0.00155	4.2014

Pérdida de energía por accesorios (h_s):

Las pérdidas por singularidades en la trayectoria 3 se muestran a continuación de manera resumida (véase tabla 25).

Tabla 25. Pérdidas de carga por fricción en Trayectoria 3-En Paralelo (Elaboración propia)

Pérdidas de Energía por accesorios	
Caudal (m ³ /s)	hs(m)
0.0001	0.1104
0.0002	0.4414
0.0003	0.9932
0.0004	1.7658
0.0005	2.7590
0.0006	3.9730
0.0008	7.0631
0.001	11.0360
0.0012	15.8919
0.00155	26.5141

Calcular y determinar la curva de operación del sistema

A continuación, se muestra una tabla resumen de la altura dinámica total (TDH) obtenida a partir de las iteraciones de caudal y su respectiva velocidad de salida del fluido, en referencia a la trayectoria 3 (véase tabla 26).

Tabla 26. Cálculo de curva del sistema para trayectoria 3.

Diámetro (m)	Caudal (m ³ /s)	Ho	V(m/s)	v ² /2g	hf (m)	hs(m)	TDH (m)
0.0262	0	0.55					0.55
	0.0001		0.1855	0.0018	0.0329	0.1104	0.6950
	0.0002		0.3710	0.0070	0.1087	0.4414	1.1071
	0.0003		0.5565	0.0158	0.2208	0.9932	1.7798
	0.0004		0.7419	0.0281	0.3668	1.7658	2.7106
	0.0005		0.9274	0.0438	0.5450	2.7590	3.8979
	0.0006		1.1129	0.0631	0.7546	3.9730	5.3407
	0.0008		1.4839	0.1122	1.2644	7.0631	8.9897
	0.001		1.8548	0.1754	1.8919	11.0360	13.6533
	0.0012		2.2258	0.2525	2.6339	15.8919	19.3283
	0.00155		2.8750	0.4213	4.2014	26.5141	31.6868

Finalmente, con los datos de la tabla anterior se elabora una curva graficando los valores de Caudal vs altura dinámica total “h” y así se logra obtener la curva del sistema para la trayectoria 3.

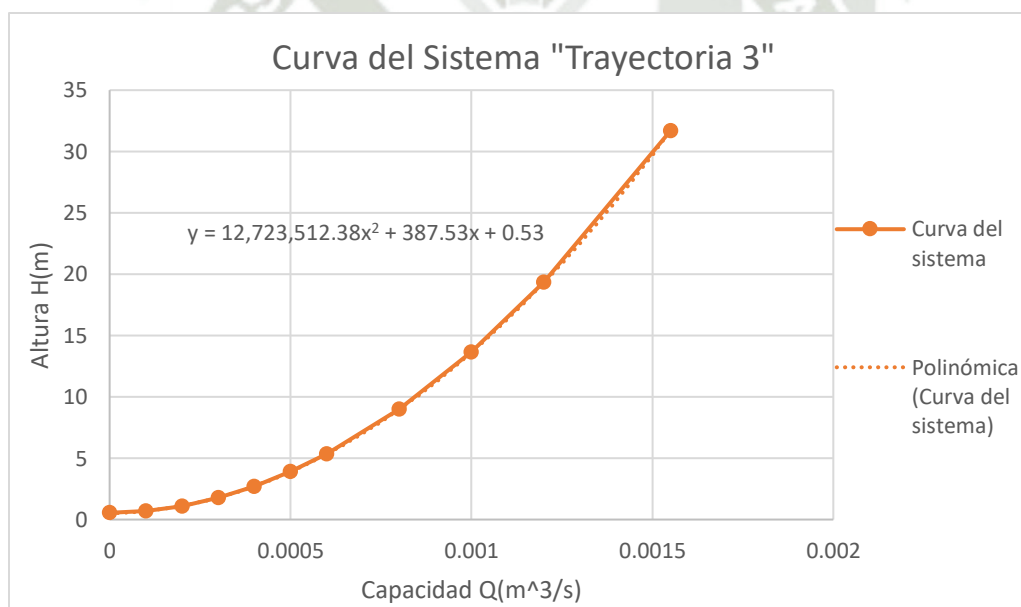


Figura 35. Curva del sistema Trayectoria 3. (Elaboración propia)

4.3.8. Trayectoria 4 – En Paralelo

Para la trayectoria 4, el material que se utilizó es PVC, donde las tuberías tienen un diámetro de 1/2” y accesorios a lo largo de esta.

Para el cálculo las unidades, el caudal, tendrá las siguientes unidades ($\frac{m^3}{s}$), pudiendo trabajar de una manera más cómoda con las unidades.

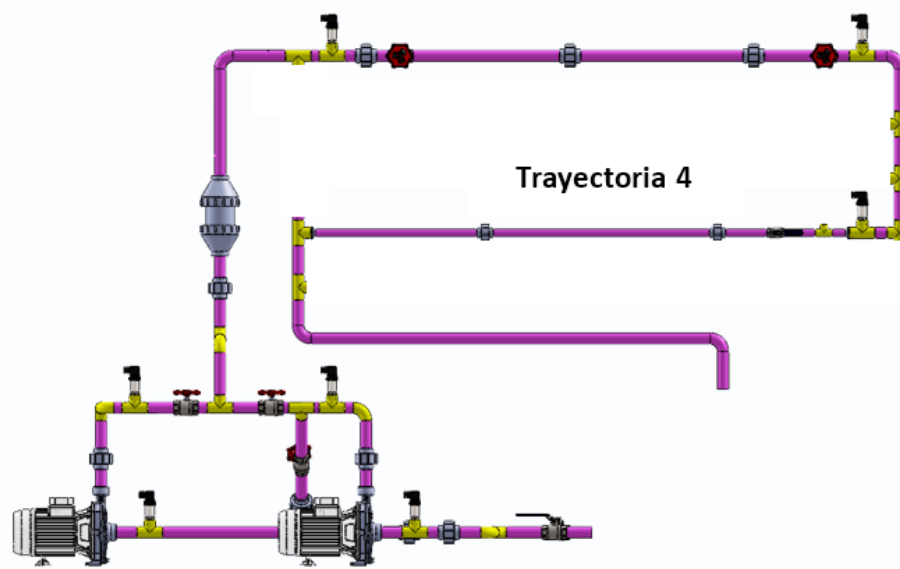


Figura 36. Trayectoria 4 configuración en paralelo

Pérdida de carga por fricción de tubería (h_f):

A continuación, se muestra una tabla resumen de los resultados obtenidos, utilizados para los cálculos de pérdidas de energía por fricción para la trayectoria 4 (véase tabla 27).

Tabla 27. Pérdidas de carga por fricción en Trayectoria 4-En Paralelo (Elaboración propia)

Pérdidas de Energía por fricción	
Caudal (m ³ /s)	hf (m)
0.0001	0.0751
0.0002	0.2488
0.0003	0.5059
0.0004	0.8402
0.0005	1.2478
0.0006	1.7260
0.0008	2.8869
0.001	4.3111
0.0012	5.9905
0.00155	9.5263

Pérdida de energía por accesorios (h_s):

Las pérdidas por singularidades en la trayectoria 4 se muestran a continuación de manera resumida (véase tabla 28).

Tabla 28. Pérdidas de carga por fricción en Trayectoria 4-En Paralelo (Elaboración propia)

Pérdidas de Energía por accesorios	
Caudal (m ³ /s)	hs(m)
0.0001	0.2400
0.0002	0.9601
0.0003	2.1603
0.0004	3.8406
0.0005	6.0009
0.0006	8.6413
0.0008	15.3624
0.001	24.0037
0.0012	34.5653
0.00155	57.6689

Calcular y determinar la curva de operación del sistema

A continuación, se muestra una tabla resumen de la altura dinámica total (TDH) obtenida a partir de las iteraciones de caudal y su respectiva velocidad de salida del fluido, en referencia a la trayectoria 3 (véase tabla 29).

Tabla 29. Cálculo de curva del sistema para trayectoria 4.

Diámetro (m)	Caudal (m ³ /s)	Ho	V(m/s)	v ² /2g	hf (m)	hs(m)	TDH (m)
0.0262	0	0.55					0.55
	0.0001		0.1855	0.0018	0.0751	0.2400	0.8668
	0.0002		0.3710	0.0070	0.2488	0.9601	1.7659
	0.0003		0.5565	0.0158	0.5059	2.1603	3.2320
	0.0004		0.7419	0.0281	0.8402	3.8406	5.2588
	0.0005		0.9274	0.0438	1.2478	6.0009	7.8425
	0.0006		1.1129	0.0631	1.7260	8.6413	10.9805
	0.0008		1.4839	0.1122	2.8869	15.3624	18.9115
	0.001		1.8548	0.1754	4.3111	24.0037	29.0401
	0.0012		2.2258	0.2525	5.9905	34.5653	41.3583
	0.00155		2.8750	0.4213	9.5263	57.6689	68.1664

Finalmente, con los datos de la tabla anterior se elabora una curva graficando los valores de Caudal vs altura dinámica total “h” y así se logra obtener la curva del sistema para la trayectoria 4.

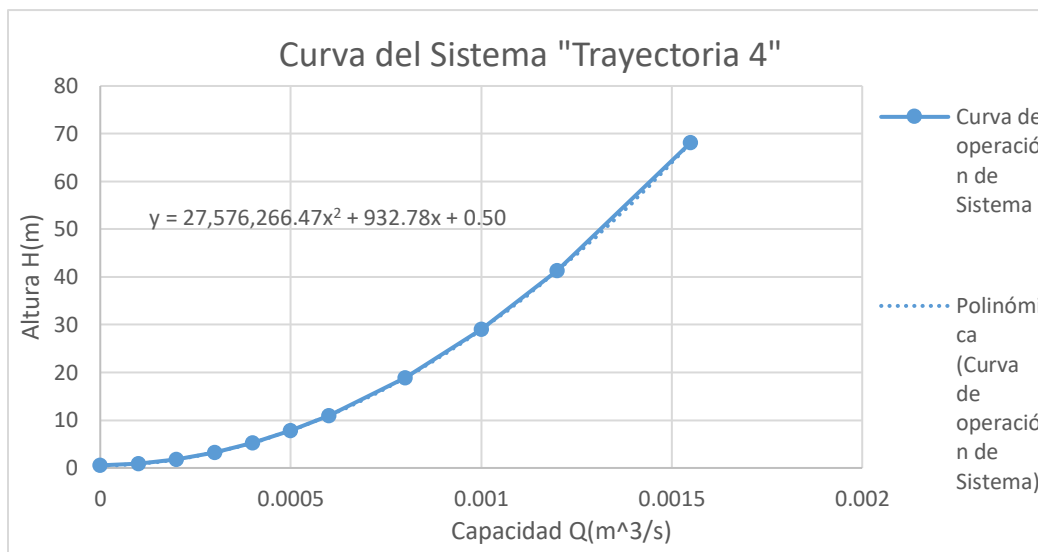


Figura 37. Curva del sistema Trayectoria 4. (Elaboración propia)

4.3.9. Resumen de las curvas de Operación del sistema en serie

Se obtuvieron curvas de operación del sistema para cuatro trayectorias, tanto en una configuración en serie de las bombas como en paralelo y, a continuación, se presenta un resumen de los resultados obtenidos para cada una.

Tabla 30. Resumen de las alturas dinámicas en el sistema en serie.

Curva de operación del sistema - En Serie				
Caudal (m ³ /s)	TDH -1	TDH -2	TDH -3	TDH -4
0	0.55	0.55	0.55	0.55
0.0001	0.63345609	0.68713049	0.68396297	0.85576024
0.0002	0.86648624	1.07574677	1.06401379	1.72282084
0.0003	1.24408241	1.70921713	1.68406146	3.13624886
0.0004	1.76417765	2.58480789	2.54170654	5.0899418
0.0005	2.42549529	3.7008332	3.63551536	7.58016989
0.0006	3.22713338	5.05610399	4.96450226	10.6043259
0.0008	5.24876721	8.4809566	8.3252415	18.2469901
0.001	7.82502515	12.8540426	12.619703	27.1706239
0.0012	10.9530566	18.1716316	17.8450117	39.874967
0.00155	17.7485895	29.742005	29.2230447	65.7026375

Con la tabla anterior, se realiza un resumen de todas las curvas de las trayectorias del sistema.

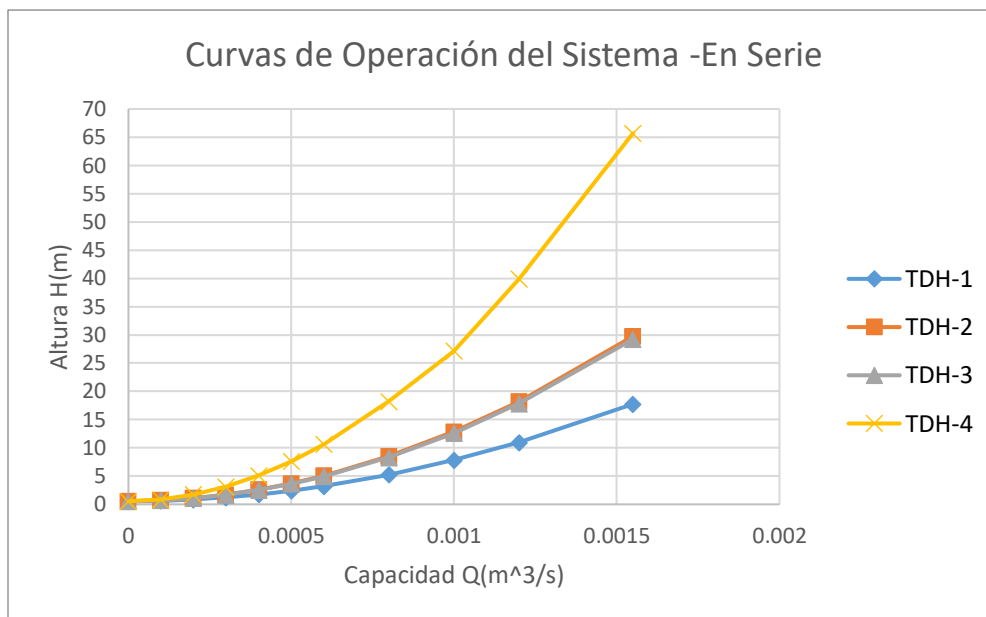


Figura 38. Curvas del sistema en serie. (Elaboración propia)

4.3.10. Resumen de curvas de Operación del sistema en paralelo

Se obtuvieron curvas de operación del sistema para cuatro trayectorias, tanto en una configuración en serie de las bombas como en paralelo y, a continuación, se presenta un resumen de los resultados obtenidos para cada una.

Tabla 31. Resumen de las alturas dinámicas en el sistema en paralelo.

Curva de operación del sistema - En Paralelo				
Caudal (m ³ /s)	TDH -1	TDH -2	TDH -3	TDH -4
0	0.55	0.55	0.55	0.55
0.00010	0.64420498	0.69821247	0.69504495	0.86684222
0.00020	0.90851547	1.11886679	1.10713381	1.76594086
0.00030	1.33764432	1.80498235	1.77982668	3.23201409
0.00040	1.92940937	2.75368147	2.71058012	5.25881538
0.00050	2.68246281	3.96318935	3.89787151	7.84252604
0.00060	3.5958524	5.4322541	5.34065237	10.980476
0.00080	5.90089125	9.14544736	8.98973225	18.9114809
0.00100	8.840246	13.8876557	13.6533161	29.0401106
0.00120	12.4109072	19.6549501	19.3283303	41.3582856
0.00155	20.172071	32.2057773	31.686817	68.1664098

Con la tabla anterior, se realiza un resumen de todas las curvas de las trayectorias del sistema.

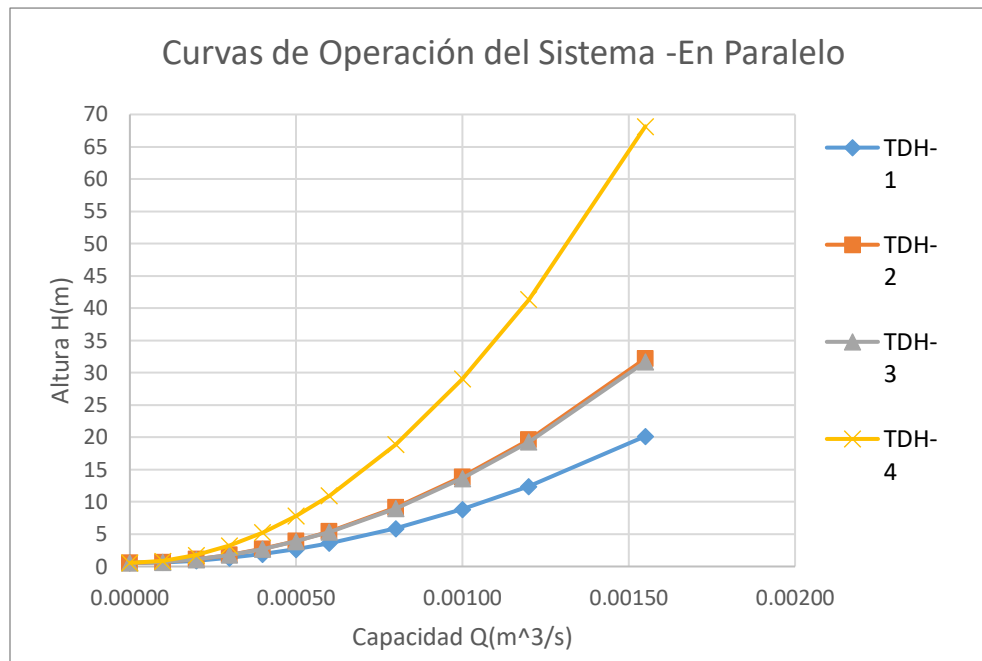


Figura 39. Curvas del sistema en paralelo. (Elaboración propia)

4.4. Selección de la Bomba

Elegir la bomba adecuada es muy importante. Esto se debe a que es responsable de transportar fluidos por todo el sistema y a lo largo de las líneas. Para ello se tiene en cuenta el valor del caudal máximo de diseño y el valor máximo de la carga dinámica total (TDH).

- Caudal máximo de diseño – Sistema en serie

$$Q_{m\acute{a}x} = 0.00155 \frac{m^3}{s} = 93 \frac{lt}{min}$$

- Altura dinámica total – Sistema en serie

$$h = 63.6944 \text{ m (Correspondiente a la trayectoria 4)}$$

- Caudal máximo de diseño – Sistema en paralelo

$$Q_{m\acute{a}x} = 0.00155 \frac{m^3}{s} = 93 \frac{lt}{min}$$

- Altura dinámica total – Sistema en paralelo

$$h = 66.1582 \text{ m (Correspondiente a la trayectoria 4)}$$

Por lo tanto, utilizando los catálogos disponibles que se tiene en el mercado de las bombas centrífugas, se buscó bombas que cumplan con estos requisitos mínimos, teniendo en cuenta la curva característica.

Se llegó a optar por la electrobomba centrífuga LEO ACm75, la cual tiene consta de las siguientes características.

- Características de la bomba

Tabla 32. Características de la bomba centrífuga ACm 75 (LEO, 2022).

MODELO	CONEXIÓN	POTENCIA	VOLTAJE	ALTURA MÁX.	CAUDAL MÁX.
ACm75	1"x1" (25 mm)	0.75 KW/1.0 HP	220V	35 m.c.a.	100 L/min

- Características constructivas
 - Cuerpo de la bomba: Cuerpo y soporte de la bomba de hierro fundido con tratamiento especial anticorrosivo.
 - Eje: Acero inoxidable AISI 304
 - Temperatura máxima del fluido: +60°C.
 - Clase de Protección: IPX4.
 - Clase de aislamiento: F.

- Descripción

Puede utilizarse para transferir agua u otros líquidos similares al agua en cuanto a propiedades físicas y químicas.

Adecuado para suministro de agua industrial y urbano de gran altura, aumento de presión y extinción de incendios de edificios de gran altura, riego de jardines, transporte de agua a larga distancia, calefacción, ventilación y control de aire, circulación y aumento de presión para sistemas de agua fría y caliente, sistemas hidroneumáticos, etc.



Figura 40. Bomba centrífuga Leo ACm75 1HP (LEO, 2022)

4.4.1. Curva de operación de la bomba

Tabla 33. Curva de operación de la bomba ACm75

MODELO	POTENCIA		Q (m³/h)	0	0.6	0.9	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	4.5	4.8	5.4	6.0	6.6	7.2	7.8	8.4	9.0	
	kW	HP	Q (l/min)	0	10	15	20	30	40	50	60	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	
ACm37	0.37	0.5		23	21.5	21	21	20.5	19.5	18	17	15.5	14.5	14	12	-	-	-	-	-	-	-
ACm60	0.6	0.8		27	26.5	26.2	26	25	24.5	22.5	20	17	15.5	14	10	-	-	-	-	-	-	-
ACm75	0.75	1.0	H (m)	36	35	34	33.5	33	32	31	29	27	26	23.5	20	16	-	-	-	-	-	-
ACm110	1.1	1.5		40	39	38	38	37.5	37	36	35	33	32	31	29	26	23	20	-	-	-	-
ACm150	1.5	2		48	47.5	47	46.5	45.5	44.5	43.5	42.5	41.5	41	40.5	39	37	34.5	31	27	22	-	-

Con la selección de la bomba se puede observar que cumplen con los requisitos de caudal máximos de diseño y la altura dinámica total que se necesita.

Seguidamente, se realizó la curva característica de la bomba señalada.

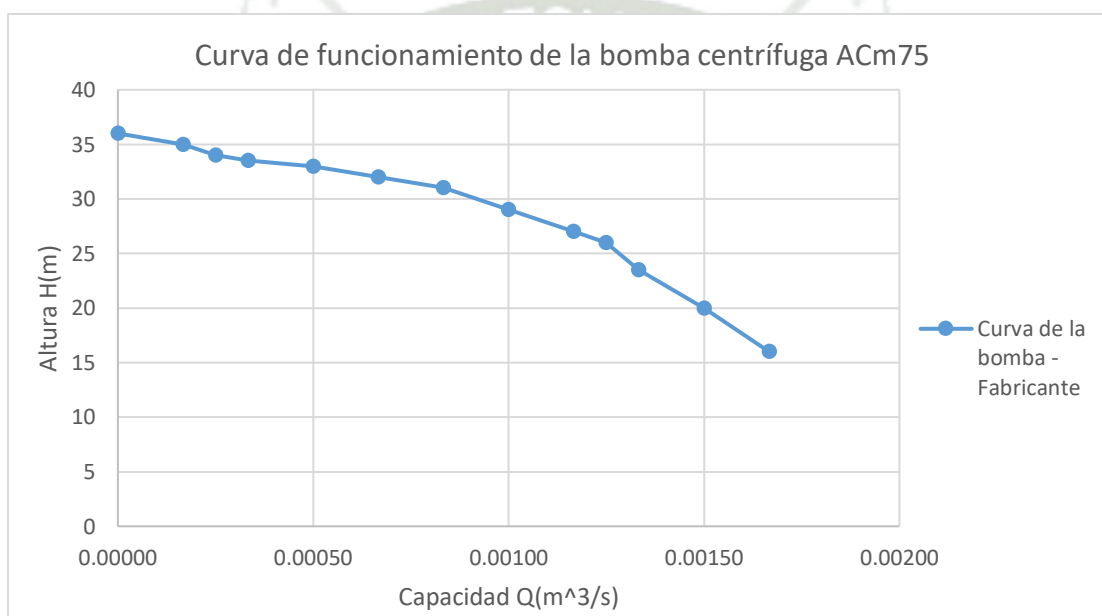


Figura 41. Curva de funcionamiento de la Bomba (Elaboración propia).

4.4.2. Comparación – Curva de la bomba vs Curva del sistema (En serie)

La bomba debe tener la capacidad de satisfacer el máximo requerimiento del sistema. Esto gráficamente se puede observar comparando la curva de la bomba con la curva de la trayectoria, como se puede apreciar a continuación.

4.4.2.1. Trayectoria 1

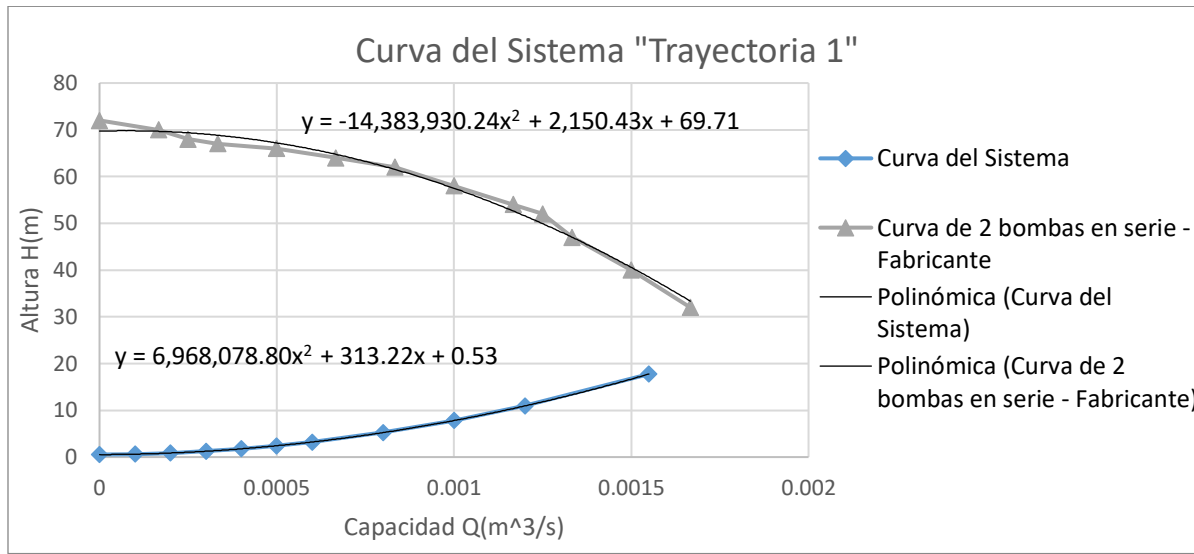


Figura 42. Curva de la bomba vs Curva del sistema - trayectoria 1 (Elaboración propia).

Para hallar el punto de operación primero se tendrá que igualar las ecuaciones de la curva del sistema y de la bomba (Figura 42).

$$-14,383,930.24 \cdot Q^2 + 2150.43 \cdot Q + 69.71 = 6,968,078.80 \cdot Q^2 + 313.22 \cdot Q + 0.53$$

$$-21352009.04 \cdot Q^2 + 1837.21 \cdot Q + 69.18 = 0$$

Resolviendo la ecuación de segundo grado:

$$Q = \frac{-1837.21 \pm \sqrt{1837.21^2 - 4(-21352009.04)(69.18)}}{2(-21352009.04)}$$

$$Q_1 = -0.001757485 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_2 = 0.001843529 \frac{m^3}{s}$$

El caudal del punto de operación para la trayectoria 1 es:

$$Q_2 = 0.001843529 \frac{m^3}{s}$$

Reemplazando el caudal en cualquiera de las ecuaciones cuadráticas se obtendrá la altura de punto de operación.

$$H_1 = -14,383,930.24 \cdot Q^2 + 2150.43 \cdot Q + 69.71$$

$$H_1 = -14,383,930.24 \cdot (0.001843529)^2 + 2150.43 \cdot (0.001843529) + 69.71$$

$$H_1 = 24.7891 \text{ m}$$

4.4.2.2. Trayectoria 2

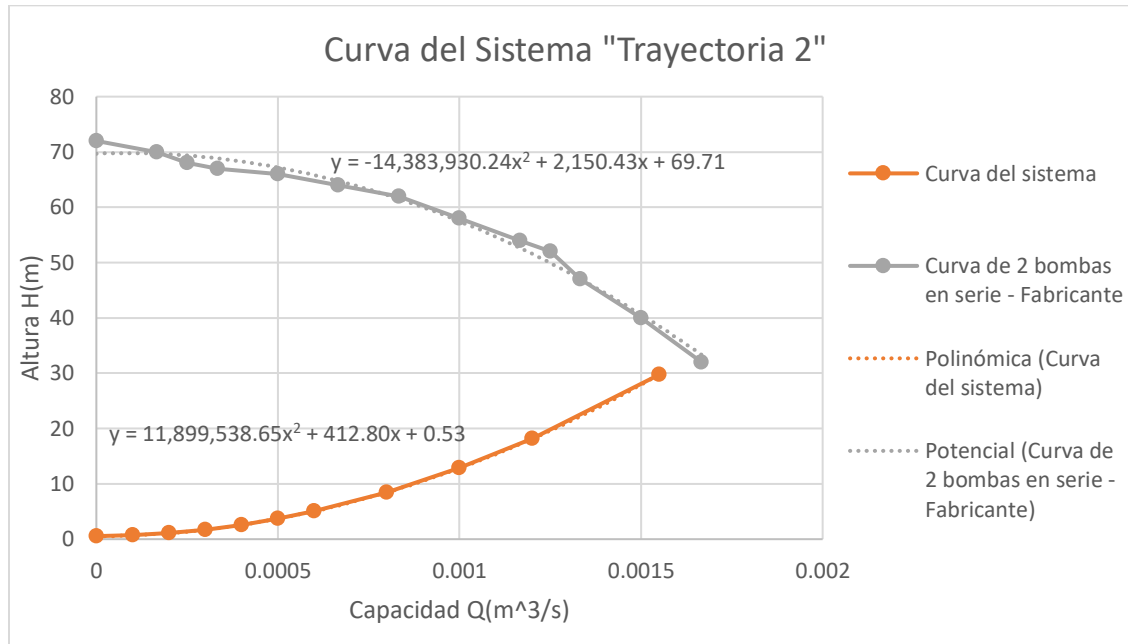


Figura 43. Curva de la bomba vs Curva del sistema - trayectoria 2 (Elaboración propia).

Para hallar el punto de operación primero se tendrá que igualar las ecuaciones de la curva del sistema y de la bomba (Figura 43).

$$-14,383,930.24 \cdot Q^2 + 2150.43 \cdot Q + 69.71 = 11,899,538.65 \cdot Q^2 + 412.8 \cdot Q + 0.53$$

$$-26,283,468.89 \cdot Q^2 + 1737.63 \cdot Q + 69.18 = 0$$

Resolviendo la ecuación de segundo grado:

$$Q = \frac{-1737.63 \pm \sqrt{1737.63^2 - 4(-26,283,468.89)(69.18)}}{2(-26,283,468.89)}$$

$$Q_1 = -0.001589648 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_2 = 0.001655759 \frac{m^3}{s}$$

El caudal del punto de operación para la trayectoria 1 es:

$$Q_2 = 0.001655759 \frac{m^3}{s}$$

Reemplazando el caudal en cualquiera de las ecuaciones cuadráticas se obtendrá la altura de punto de operación.

$$H_1 = -14,383,930.24 \cdot Q^2 + 2150.43 \cdot Q + 69.71$$

$$H_1 = -14,383,930.24 \cdot (0.001655759)^2 + 2150.43 \cdot (0.001655759) + 69.71$$

$$H_1 = 33.8365 \text{ m}$$

4.4.2.3. Trayectoria 3

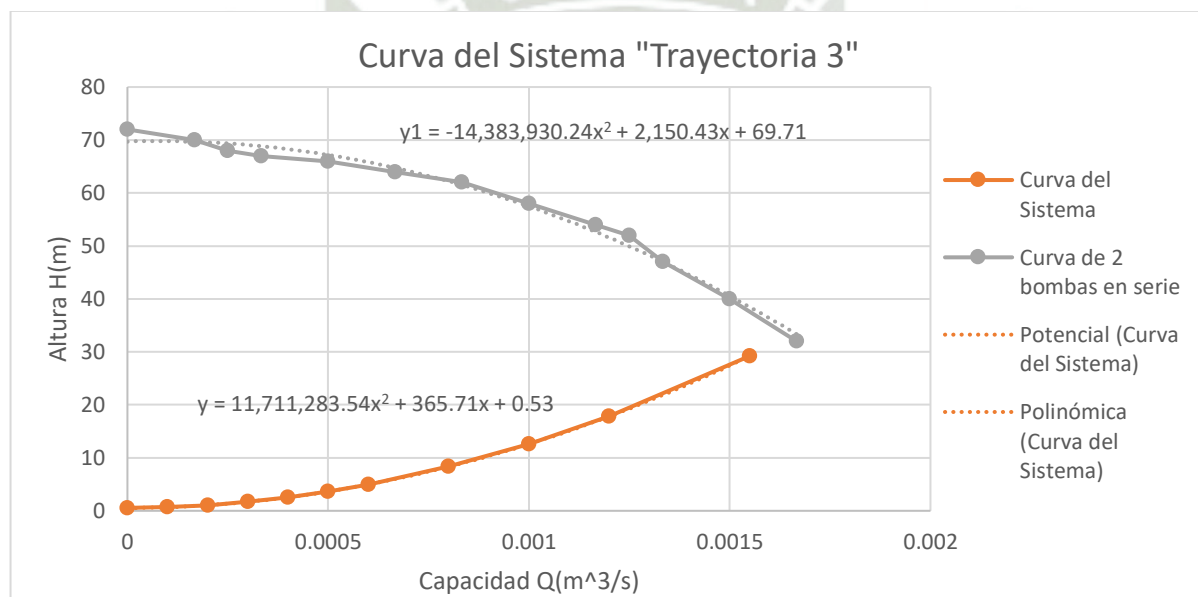


Figura 44. Curva de la bomba vs Curva del sistema - trayectoria 3 (Elaboración propia).

Para hallar el punto de operación primero se tendrá que igualar las ecuaciones de la curva del sistema y de la bomba (Figura 44).

$$-14,383,930.24 \cdot Q^2 + 2150.43 \cdot Q + 69.71 = 11,711,283.54 \cdot Q^2 + 365.71 \cdot Q + 0.53$$

$$-26095213.78 \cdot Q^2 + 1784.72 \cdot Q + 69.18 = 0$$

Resolviendo la ecuación de segundo grado:

$$Q = \frac{-1784.72 \pm \sqrt{1784.72^2 - 4(-26095213.78)(69.18)}}{2(-26095213.78)}$$

$$Q_1 = -0.001594371 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_2 = 0.001662763 \frac{m^3}{s}$$

El caudal del punto de operación para la trayectoria 3 es:

$$Q_2 = 0.001662763 \frac{m^3}{s}$$

Reemplazando el caudal en cualquiera de las ecuaciones cuadráticas se obtendrá la altura de punto de operación.

$$H_3 = -14,383,930.24 \cdot Q^2 + 2150.43 \cdot Q + 69.71$$

$$H_3 = -14,383,930.24 \cdot (0.001662763)^2 + 2150.43 \cdot (0.001662763) + 69.71$$

$$H_3 = 33.5172 \text{ m}$$

4.4.2.4. Trayectoria 4

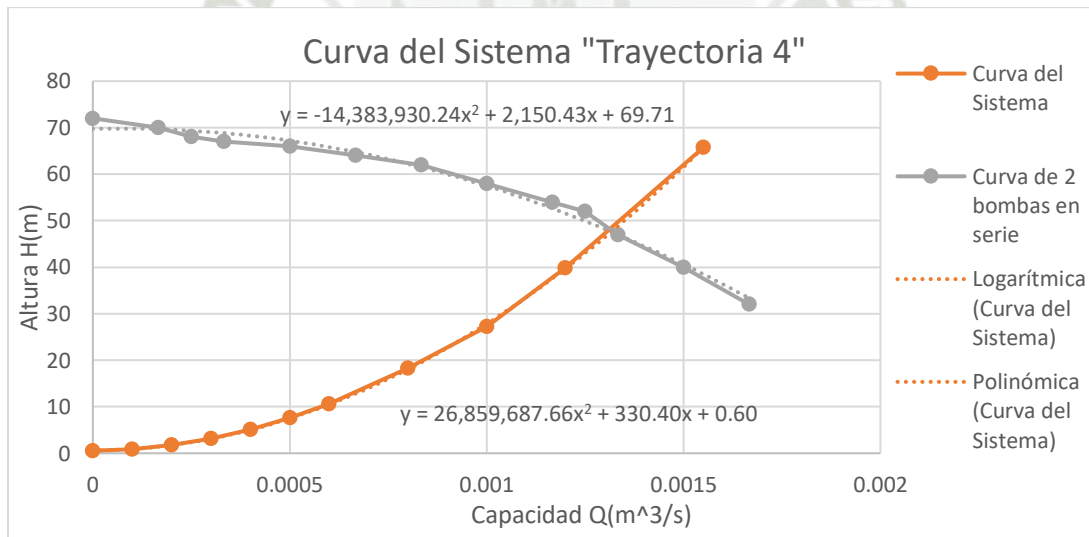


Figura 45. Curva de la bomba vs Curva del sistema - trayectoria 4 (Elaboración propia).

Para hallar el punto de operación primero se tendrá que igualar las ecuaciones de la curva del sistema y de la bomba (Figura 45).

$$-14,383,930.24 \cdot Q^2 + 2150.43 \cdot Q + 69.71 = 26,859,687.66 \cdot Q^2 + 330.4 \cdot Q + 0.60$$

$$-41243617.9 \cdot Q^2 + 1820.03 \cdot Q + 69.11 = 0$$

Resolviendo la ecuación de segundo grado:

$$Q = \frac{-1820.03 \pm \sqrt{1820.03^2 - 4(-41243617.9)(69.11)}}{2((-41243617.9))}$$

$$Q_1 = -0.001272594 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_2 = 0.001316723 \frac{m^3}{s}$$

El caudal del punto de operación para la trayectoria 4 es:

$$Q_2 = 0.001316723 \frac{m^3}{s}$$

Reemplazando el caudal en cualquiera de las ecuaciones cuadráticas se obtendrá la altura de punto de operación.

$$H_4 = -14,383,930.24 \cdot Q^2 + 2150.43 \cdot Q + 69.71$$

$$H_4 = -14,383,930.24 \cdot (0.001316723)^2 + 2150.43 \cdot (0.001316723) + 69.71$$

$$H_4 = 47.6032 \text{ m}$$

4.4.3. Comparación – Curva de la bomba vs Curva del sistema (En paralelo)

La bomba debe tener la capacidad de satisfacer el máximo requerimiento del sistema. Esto gráficamente se puede observar comparando la curva de la bomba con la curva de la trayectoria, como se puede apreciar a continuación.

4.4.3.1. Trayectoria 1

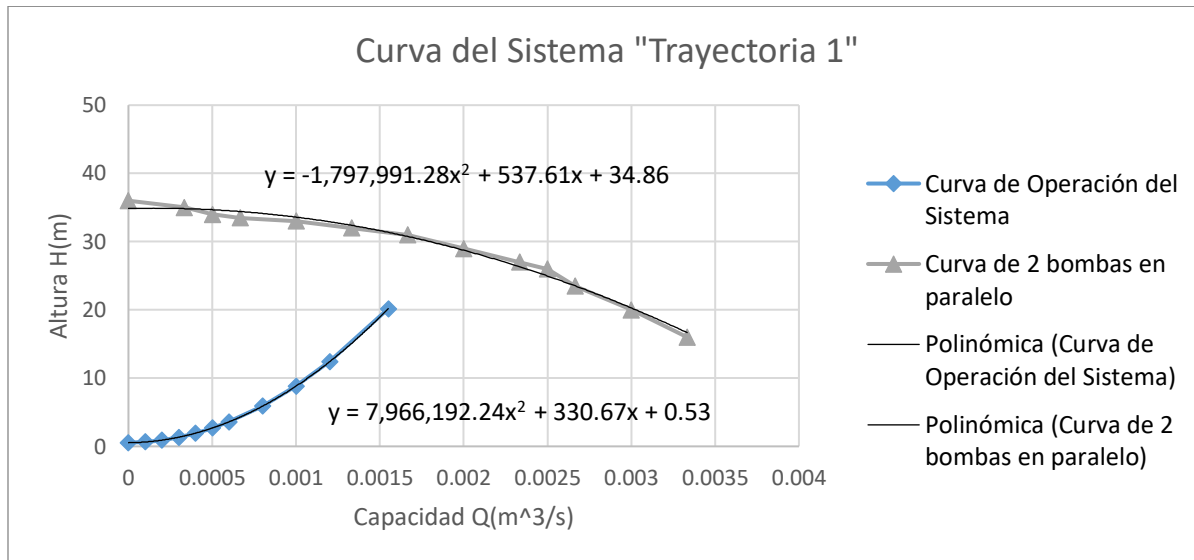


Figura 46. Curva de la bomba vs Curva del sistema - trayectoria 1 (Elaboración propia).

Para hallar el punto de operación primero se tendrá que igualar las ecuaciones de la curva del sistema y de la bomba (Figura 46).

$$-1,797,991.28 \cdot Q^2 + 537.61 \cdot Q + 34.86 = 7,996,192.24 \cdot Q^2 + 330.67 \cdot Q + 0.53$$

$$-9764183.52 \cdot Q^2 + 206.94 \cdot Q + 34.33 = 0$$

Resolviendo la ecuación de segundo grado:

$$Q = \frac{-206.94 \pm \sqrt{206.94^2 - 4(-9764183.52)(34.33)}}{2(-9764183.52)}$$

$$Q_1 = -0.001864509 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_2 = 0.001885703 \frac{m^3}{s}$$

El caudal del punto de operación para la trayectoria 1 es:

$$Q_2 = 0.001885703 \frac{m^3}{s}$$

Reemplazando el caudal en cualquiera de las ecuaciones cuadráticas se obtendrá la altura de punto de operación.

$$H_1 = -1,797,991.28 \cdot Q^2 + 537.61 \cdot Q + 34.86$$

$$H_1 = -1,797,991.28 \cdot (0.001885703)^2 + 537.61 \cdot (0.001885703) + 34.86$$

$$H_1 = 29.4803 \text{ m}$$

4.4.3.2. Trayectoria 2

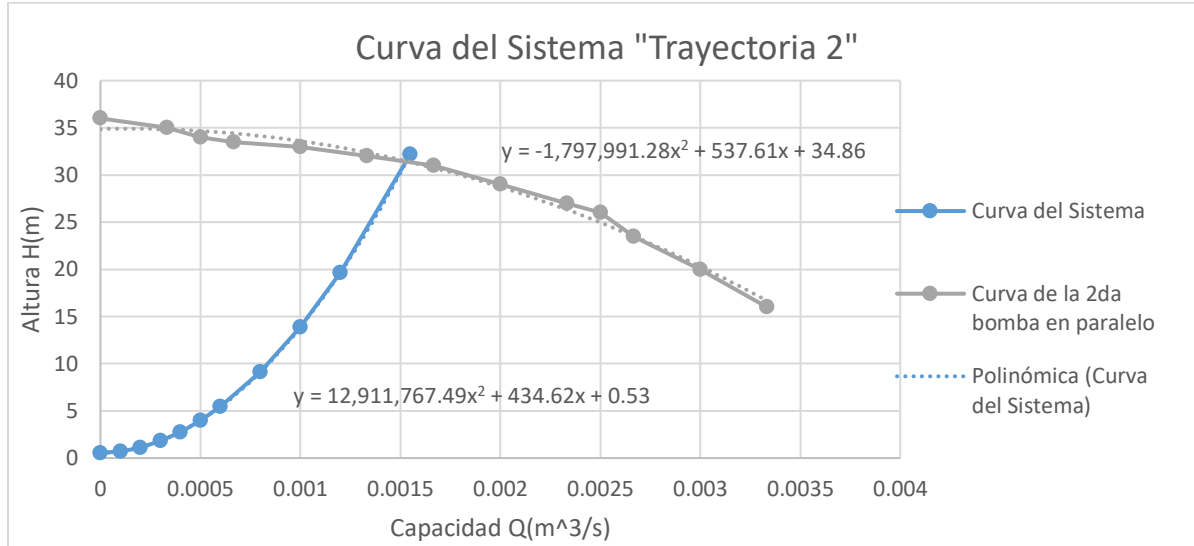


Figura 47. Curva de la bomba vs Curva del sistema - trayectoria 2 (Elaboración propia).

Para hallar el punto de operación primero se tendrá que igualar las ecuaciones de la curva del sistema y de la bomba (Figura 47).

$$-1,797,991.28 \cdot Q^2 + 537.61 \cdot Q + 34.86 = 12,911,767.49 \cdot Q^2 + 434.62 \cdot Q + 0.53$$

$$-14709758.77 \cdot Q^2 + 102.99 \cdot Q + 34.33 = 0$$

Resolviendo la ecuación de segundo grado:

$$Q = \frac{-102.99 \pm \sqrt{102.99^2 - 4(-14709758.77)(34.33)}}{2(-14709758.77)}$$

$$Q_1 = -0.001524189 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_2 = 0.001531191 \frac{m^3}{s}$$

El caudal del punto de operación para la trayectoria 2 es:

$$Q_2 = 0.001531191 \frac{m^3}{s}$$

Reemplazando el caudal en cualquiera de las ecuaciones cuadráticas se obtendrá la altura de punto de operación.

$$H_2 = -1,797,991.28 \cdot Q^2 + 537.61 \cdot Q + 34.86$$

$$H_2 = -1,797,991.28 \cdot (0.001531191)^2 + 537.61 \cdot (0.001531191) + 34.86$$

$$H_2 = 31.4677 \text{ m}$$

4.4.3.3. Trayectoria 3

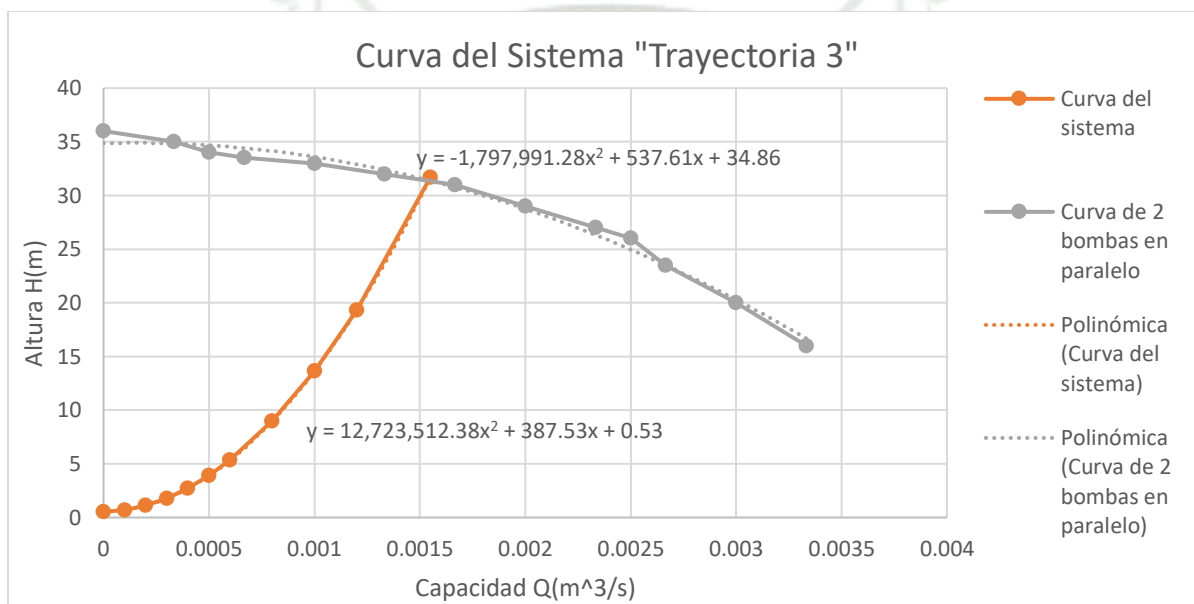


Figura 48. Curva de la bomba vs Curva del sistema - trayectoria 3 (Elaboración propia).

Para hallar el punto de operación primero se tendrá que igualar las ecuaciones de la curva del sistema y de la bomba (Figura 48).

$$-1,797,991.28 \cdot Q^2 + 537.61 \cdot Q + 34.86 = 12,723,512.38 \cdot Q^2 + 387.53 \cdot Q + 0.53$$

$$-14521503.66 \cdot Q^2 + 150.08 \cdot Q + 34.33 = 0$$

Resolviendo la ecuación de segundo grado:

$$Q = \frac{-150.08 \pm \sqrt{150.08^2 - 4(-14521503.66)(34.33)}}{2(-14521503.66)}$$

$$Q_1 = -0.001532398 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_2 = 0.001542733 \frac{m^3}{s}$$

El caudal del punto de operación para la trayectoria 3 es:

$$Q_2 = 0.001542733 \frac{m^3}{s}$$

Reemplazando el caudal en cualquiera de las ecuaciones cuadráticas se obtendrá la altura de punto de operación.

$$H_3 = -1,797,991.28 \cdot Q^2 + 537.61 \cdot Q + 34.86$$

$$H_3 = -1,797,991.28 \cdot (0.001542733)^2 + 537.61 \cdot (0.001542733) + 34.86$$

$$H_3 = 31.4101 \text{ m}$$

4.4.3.4. Trayectoria 4

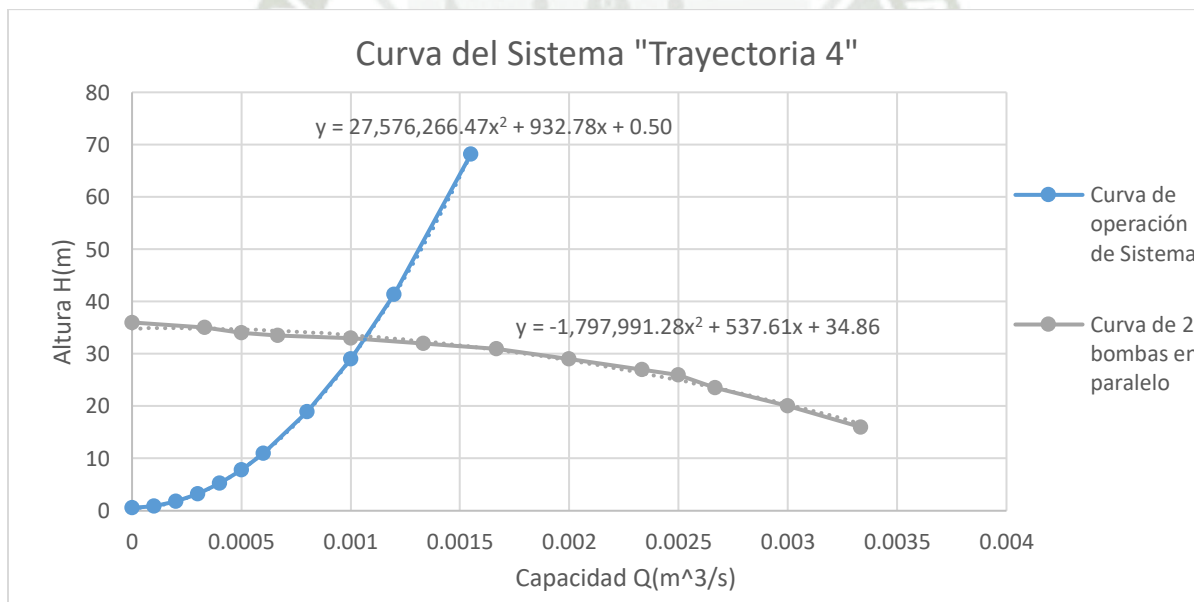


Figura 49. Curva de la bomba vs Curva del sistema - trayectoria 4 (Elaboración propia).

Para hallar el punto de operación primero se tendrá que igualar las ecuaciones de la curva del sistema y de la bomba (Figura 49).

$$-1,797,991.28 \cdot Q^2 + 537.61 \cdot Q + 34.86 = 25,576,266.47 \cdot Q^2 + 932.78 \cdot Q + 0.5$$

$$-29,374,257.75 \cdot Q^2 - 395.17 \cdot Q + 34.36 = 0$$

Resolviendo la ecuación de segundo grado:

$$Q = \frac{395.17 \pm \sqrt{-395.17^2 - 4(-29,374,257.75)(34.36)}}{2(-29,374,257.75)}$$

$$Q_1 = -0.001088289 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_2 = 0.001074836 \frac{m^3}{s}$$

El caudal del punto de operación para la trayectoria 4 es:

$$Q_2 = 0.001074836 \frac{m^3}{s}$$

Reemplazando el caudal en cualquiera de las ecuaciones cuadráticas se obtendrá la altura de punto de operación.

$$H_4 = -1,797,991.28 \cdot Q^2 + 537.61 \cdot Q + 34.86$$

$$H_4 = -1,797,991.28 \cdot (0.001074836)^2 + 537.61 \cdot (0.001074836) + 34.86$$

$$H_4 = 33.3606 \text{ m}$$

4.5. Selección del Transmisor de Presión

Para la selección del transmisor utilizado en el módulo automatizado del banco de tuberías se tuvo en consideración factores como: presión del sistema, características físicas, disponibilidad en el mercado debido a que son productos de uso mayormente industrial. Para todas las trayectorias del módulo automatizado del banco de tuberías se utilizarán los mismos transmisores de presión, la distribución será la siguiente:

- Para las trayectorias 2, 3 y 4 la posición del transmisor de presión estará en el inicio de cada tramo.
- Para la trayectoria 1, la posición de los transmisores de presión será en la entrada y salida de cada bomba y en puntos estratégicos del tramo 1.

Para calcular la presión del sistema secuencialmente, se usa el mismo procedimiento que para crear las curvas del sistema, excepto que los puntos de análisis ahora están en la entrada y salida de cada bomba.

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + \Sigma(h_f + h_s)$$

Despejando P_2 y reemplazando el término $\gamma = \rho g$ se obtendrá la siguiente fórmula

$$P_2 = P_1 - \rho g [Z_2 + \Sigma(h_f + h_s)] + \rho \left(\frac{v_1^2}{2} - \frac{v_2^2}{2} \right)$$

4.5.1. Configuración en serie:

La presión a la salida de la bomba es la de mayor descarga por lo tanto tomaremos esa presión como P_1 al trabajar con el caudal máximo que es de 93 lt/min en la configuración en serie, por lo tanto, la altura dinámica que se suministrará será de $H = 65.7026 \approx 66 \text{ m}$.

$$P = H \cdot \rho \cdot g$$

$$P_1 = 66 \text{ m} \cdot 998.86 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P_1 = 646721.8956 \text{ Pa}$$

$$P_1 = 6.46 \text{ Bar}$$

La altura Z_2 viene a hacer la energía potencial del punto 2 dando un valor 1.43 m.

Otro punto a considerar es el valor de las pérdidas totales $\Sigma(h_f + h_s)$, se hallará desde el punto de la descarga de la bomba hasta el punto de prueba más cercano, que corresponde al transmisor de presión al inicio de la trayectoria 1, para ello se considerarán los siguientes valores.

Tubería	L (m)	Di (mm)	Caudal (m ³ /s)	A (m ²)	v (m/s)	Re	e (mm)
PVC 1'' succión	2.3	26.2	0.00155	0.000539129	2.875	75099.9404	0.0015

Se calculó las pérdidas por fricción y accesorios teniendo los siguientes resultados

Pérdidas por fricción:

$$h_f = 0.7128 \text{ m}$$

Pérdidas por accesorios

$$h_s = 5.4531 \text{ m}$$

Entonces las pérdidas totales:

$$\Sigma(h_f + h_s) = 0.7128 + 5.4531 = 6.1659 \text{ m}$$

Luego se calcula la presión en el punto 2 (P_2)

$$P_2 = 646721.8956 \text{ Pa} - 998.86 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (1.43 + 6.1659) \text{ m} + 998.86 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (0 - 4.1328)$$

$$P_2 = 568162.97 \text{ Pa}$$

$$P_2 = 5.68 \text{ bar ó } 82.3814 \text{ PSI}$$

4.5.2. Configuración en paralelo

La presión a la salida de la bomba es la de mayor descarga por lo tanto tomaremos esa presión como P_1 al trabajar con el caudal máximo que es de 93 lt/min en la configuración en paralelo, por lo tanto, la altura dinámica que se suministrará será de $H = 68.16 \text{ m} \approx 68 \text{ m}$

$$P = H \cdot \rho \cdot g$$

$$P_1 = 68 \text{ m} \cdot 998.86 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P_1 = 666319.5288 \text{ Pa}$$

$$P_1 = 6.66 \text{ Bar}$$

La altura Z_2 viene a hacer la energía potencial del punto 2 dando un valor 1.43 m.

Otro punto a considerar es el valor de las pérdidas totales $\Sigma(h_f + h_s)$, se hallará desde el punto de la descarga de la bomba hasta el punto de prueba más cercano, que corresponde al transmisor de presión al inicio de la trayectoria 1, para ello se considerarán los siguientes valores.

Tubería	L (m)	Di (mm)	Caudal (m ³ /s)	A (m ²)	v (m/s)	Re	e (mm)
PVC 1'' succión	2.3	26.2	0.00155	0.000539129	2.875	75099.9404	0.0015

Se calculó las pérdidas por fricción y accesorios teniendo los siguientes resultados

Pérdidas por fricción:

$$h_f = 0.7128 \text{ m}$$

Pérdidas por accesorios

$$h_s = 3.7330 \text{ m}$$

Entonces las pérdidas totales:

$$\Sigma(h_f + h_s) = 0.7128 + 3.7330 = 4.4458m$$

Luego se calcula la presión en el punto 2 (P_2)

$$P_2 = 666319.5288 \text{ Pa} - 998.86 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (1.43 + 4.4458) \text{ m} + 998.86 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (0 - 4.1328)$$

$$P_2 = 604615.5536 \text{ Pa}$$

$$P_2 = 6.04 \text{ Bar} \text{ ó } 87.0806 \text{ PSI}$$

De acuerdo a lo ofrecido en el mercado local para este tipo de transmisor (señal analógica), se tiene las siguientes características técnicas:

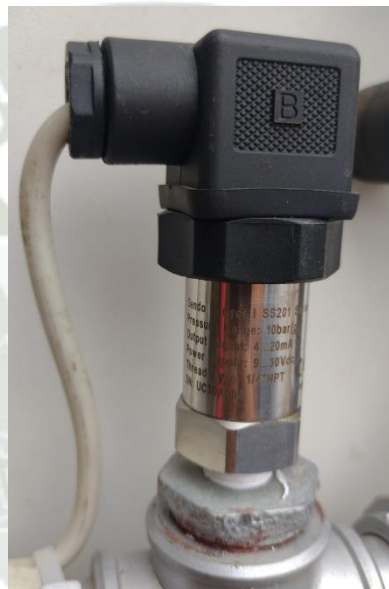


Figura 50. Transmisor de presión

Descripción:

Transmisor de presión piezoresistivo, el material de fabricación es Inox 316.

Especificaciones:

Marca: Sendo

Modelo: I SS201 Series

Rango de Presión: 10 bar

Señal de presión: 4 - 20mA

Fuente de alimentación: 9 – 30 Vdc

Tipo de hilo: ¼" NPT

IP: 65

4.6. Selección del Sensor de Caudal

Para seleccionar el sensor de caudal se tuvo en cuenta especificaciones técnicas como el caudal máximo de diseño (L/min) y la presión de trabajo máximo (bar). De esta forma, se selecciona el más adecuado para el funcionamiento óptimo del sistema.



Figura 51. Sensor de Caudal

Descripción:

El sensor de flujo de agua de 2" YF-DN50 sirve para medir caudal de agua en tuberías (señal digital). También puede ser empleado con otros líquidos de baja viscosidad. Es un caudalímetro electrónico de tipo turbina. El sensor posee tres cables: rojo (VCC: 5VDC), negro (tierra) y amarillo (salida de pulsos del sensor de efecto Hall).

Especificaciones:

Modelo: YF-DN50

Voltaje de operación: 5V - 18V DC

Consumo de corriente: 15mA máx.

Salida: Onda cuadrada pulsante

Rango de Flujo: 10 - 200L/min

Volumen promedio por pulso: 83.3mL

Pulsos por litro: 12

Factor de conversión: 0.2

Rosca externa: 2" NPS

Presión de trabajo máx.: 1.75MPa (17 bar)

Temperatura de trabajo: 5°-80°C

Resistencia de insulación: >100M Ohm

Material: Plástico color negro

4.7. Selección de válvulas

4.7.1. Válvulas globo

Se optó por estas válvulas debido a su sencilla regulación para el desplazamiento de un fluido por estrangulación y accionamientos habitual.



Figura 52. Válvula globo

4.7.2. Válvulas bolas

Se eligieron estas válvulas porque permiten una apertura rápida con una mínima resistencia al flujo a temperaturas moderadas. También para trabajos de conducción y corte, sin estrangulación.



Figura 53. Válvula bola

4.8. Tanque de almacenamiento

El módulo de banco tuberías al ser un sistema cerrado, se debe asegurar la circulación de fluido constantemente por todo el sistema. Para lo indicado elaborará un tanque de almacenamiento con las dimensiones de 0.7x0.7x0.4 m (largo, ancho y alto respectivamente) lo que permite obtener un volumen de 0.196 m³. Se utilizará una plancha de acero laminado en frío de 2 mm de espesor, dejando descubierta la parte superior para la descarga de la tubería.

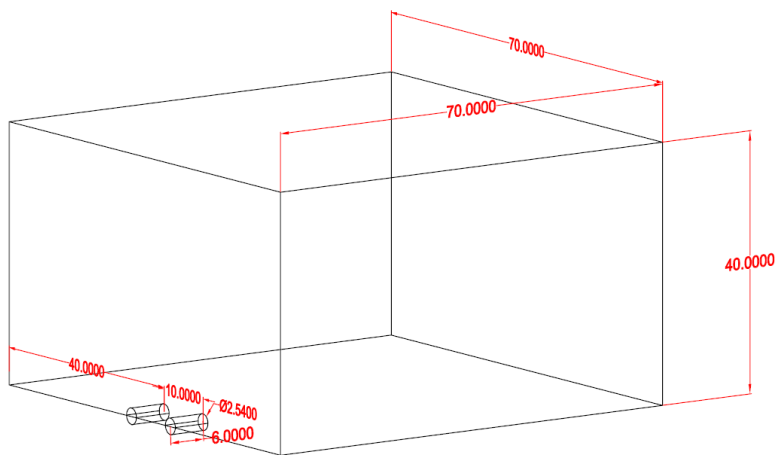


Figura 54. Tanque de almacenamiento

4.9. Otros Accesorios

Cabe señalar que es necesario ciertos accesorios al momento de la instalación y el montaje del módulo del banco de tuberías como se especifica a continuación:

4.9.1. Reductores

Se utilizaron diferentes medidas de reductores ($1'' - \frac{3}{4}''$; $1'' - \frac{1}{2}''$ y $1'' - \frac{1}{4}''$) para las trayectorias y transmisores de presión, además, se utilizó un reductor de 2'' a 1'' para el sensor de caudal.



Figura 55. Reductor

CAPÍTULO V: MONTAJE Y AUTOMATIZACIÓN

5.1. Proceso de Montaje

Para el montaje del banco de tuberías se elaboró la estructura cuyo material es de acero cuadrado 2"x2" (1.2mm de espesor), la cual sostendrá el sistema de tuberías y bombas.



Figura 56. Elaboración de la estructura del banco de tuberías

Se procedió con el recubrimiento de pintura antioxidante a la estructura y colocación de garruchas para el fácil desplazamiento de la estructura.



Figura 57. Estructura del banco de tuberías

Seguidamente se realizó el montaje de las bombas de 1HP, las cuales fueron debidamente aseguradas en la base de la estructura metálica, asegurándonos su correcto funcionamiento. Además, se instaló un tablero de melamina donde se ubicaron las diferentes

trayectorias conformadas por tuberías de 1", 1/2" y 3/4" de diámetro, accesorios como, codos de 90°, uniones universales de 1", 1/2" y 3/4", tee de 1", válvulas globo de 1" y válvulas bolas de 1", 3/4" y 1/2". A todas las tuberías se realizó rosca para la debida conexión con los accesorios.



Figura 58. Montaje de tablero y bombas



Figura 59. Armado de trayectorias



Figura 60. Montaje de trayectorias y válvulas

5.1.1. Instalación de los transmisores de presión y sensor de caudal

Se realizó la instalación de los transmisores de presión sobre cada una de las trayectorias y a la entrada y salida de las bombas, se introdujo un reductor de 1" a 1/4", con la finalidad de que la posición sea vertical y lograr el mejor rendimiento, como sugiere el fabricante.



Figura 61. Instalación de transmisores de presión

Debido a que los transmisores de presión son piezoeléctricos, la intensidad de la carga es proporcional a la fuerza empleada por la presión y la polaridad depende de la dirección. Por lo tanto su conexión se realizó según fabricante (Véase figura 62).

DIN43650C	PIN connections
	(GSP311, DIN43650C, 3-pin Packard, M12*1)
	Pin 1: + supply Pin 2: + output Pin 3: Not used Earth: Not connected

Figura 62. Conexión del Transmisor de presión piezoeléctrico (fabricante).

Para la instalación del sensor de caudal ubicado a la salida de las bombas y antes de los ramales se acopló dos reductores 2" a 1" debido a la capacidad del sensor y a las necesidades del sistema.



Figura 63. Instalación del sensor de caudal

Para la transmisión de datos del sensor de caudal sea hará la conexión directa al Arduino Mega, con 1 señal digital, alimentación y GND.

Una vez realizada la instalación se comenzó con las pruebas de funcionamiento, tanto en los transmisores de presión como en el sensor de caudal para poder establecer la señal de

comunicación entre los dispositivos electrónicos y el arduino, el cual será el responsable de entregar la data del sistema (presiones y caudal) para visualizarla interfaz del LabView.



Figura 64. Pruebas de señal de transmisores de presión

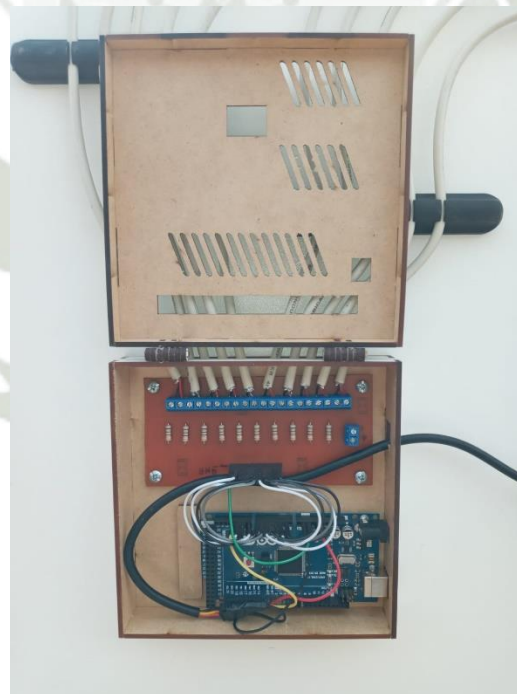


Figura 65. Conexión entre sensores y Arduino Mega



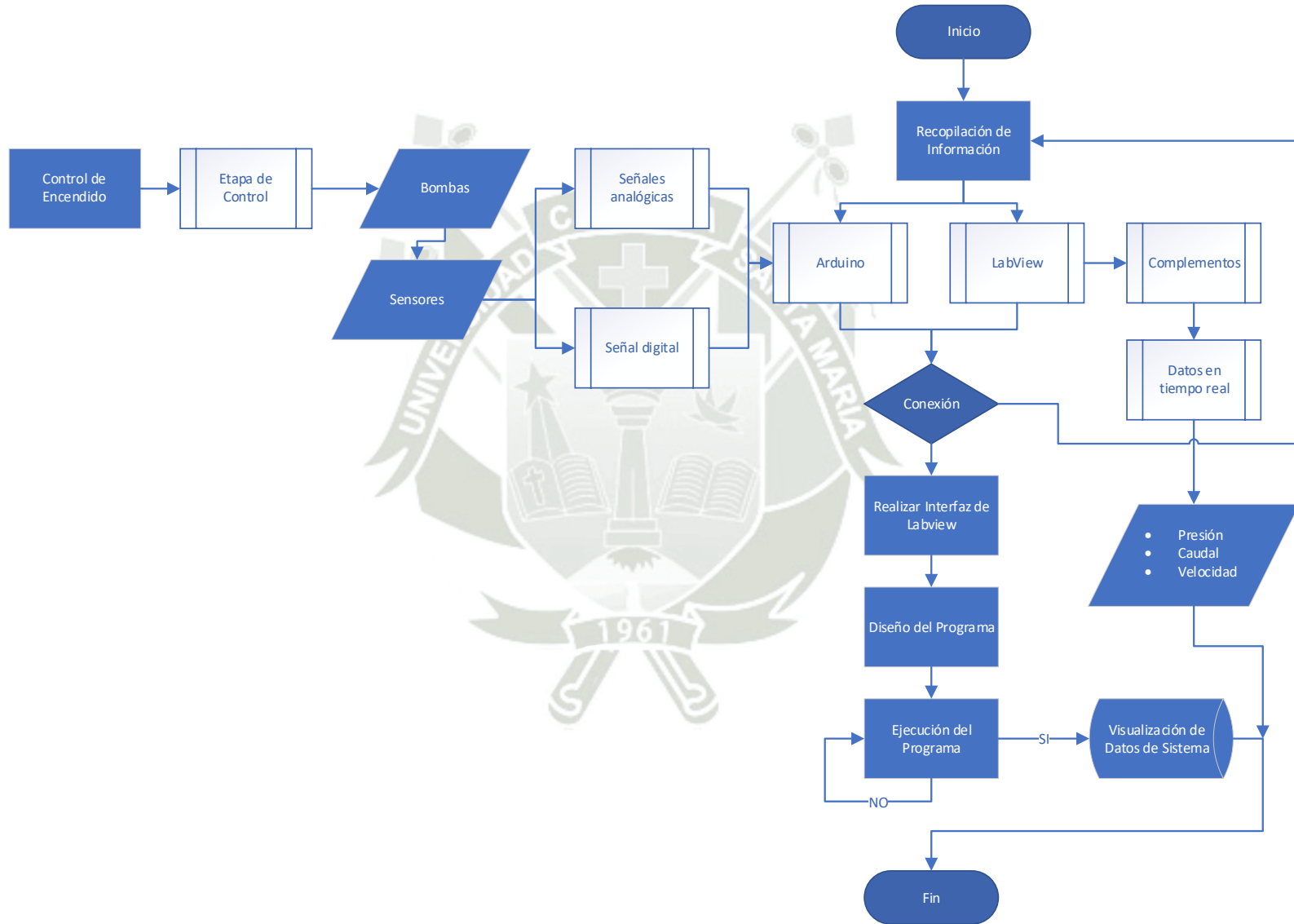
Figura 66. Tablero del sistema interconectado.



Figura 67. Módulo de Banco de Tuberías.

5.2. Proceso de Automatización

5.2.1. Diagrama de Flujo



5.2.2. Etapa de control

Es el circuito de potencia que maneja las dos bombas y el circuito de automatización.

5.2.3. Panel de control

Se encuentra el Arduino Mega y conexasión de los transmisores de presión, sensor de caudal y el circuito de mando para la etapa de control, además llegan los datos de los sensores y son transmitidos a la PC, en el panel de control también se reciben las señales de datos provenientes del software en Labview.

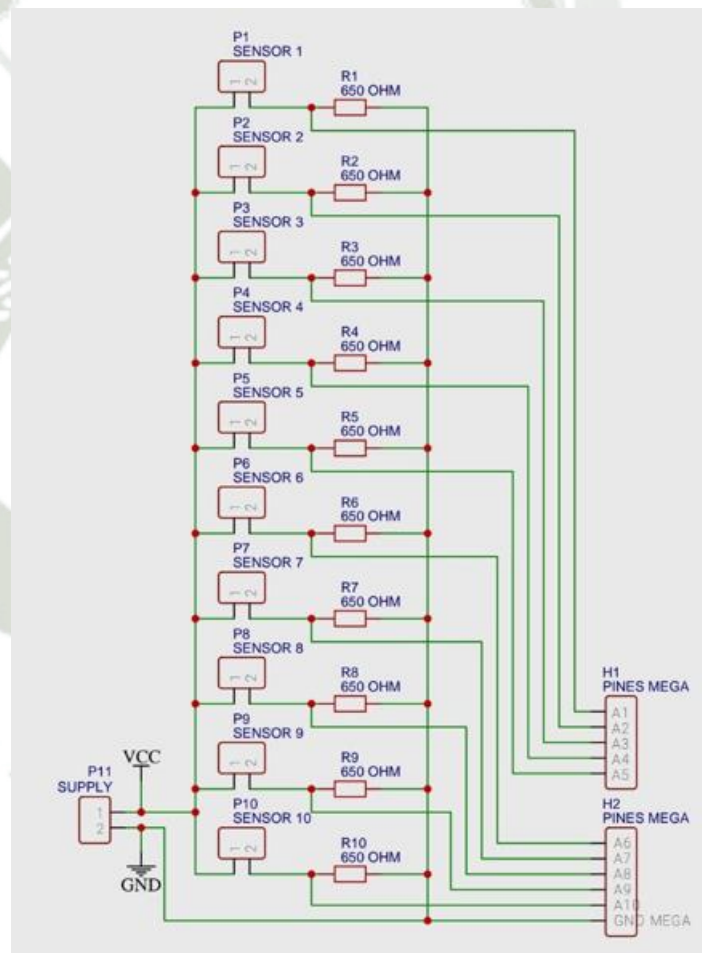


Figura 68. Circuito de conexión de los transmisores de presión al Arduino Mega (Fuente propia).

5.2.4. Señal digital y analógica de sensores

Para obtener una señal digital se realiza median un procedimiento denominado “modulación por impulsos codificados (PCM). Este procedimiento está constituido por operaciones de muestreo, cuantificación y codificación.



Figura 69. Procedimiento "Modulación por impulsos codificados (PCM)"

Para el caso del sensor que se está utilizando el caudal que pasa por el sensor hace girar una turbina, la cual está unida a un imán que activa el sensor de efecto Hall, este emite un pulso eléctrico lo cual la lectura lo realiza un Arduino.

La señal del transmisor de presión se basa en un efecto físico que sucede en unos pocos cristales no conductivos como el cuarzo. Cuando se comprime el cuarzo se produce una polarización eléctrica en superficies opuestas. La deslocalización de la estructura cristalina con carga eléctrica genera un momento dipolar que se refleja en una (aparente) carga de superficies. La intensidad de la carga es proporcional a la fuerza de compresión y la polaridad depende de la dirección. El voltaje eléctrico generado por la carga superficial puede ser fijo.

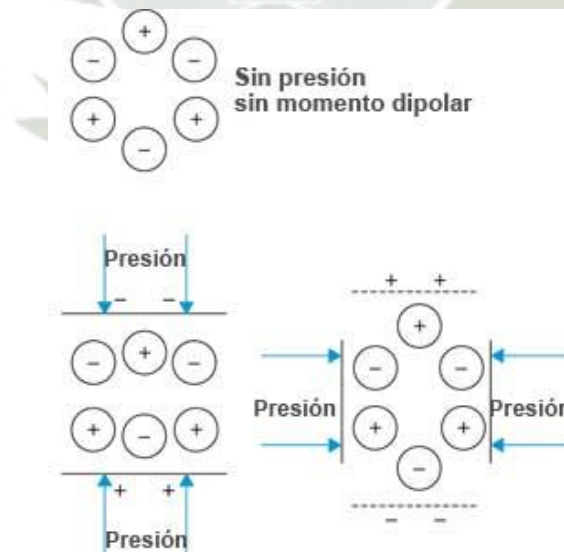


Figura 70. Polarización eléctrica

5.2.5. Transmisión de datos hacia PC

Los datos son transmitidos a la PC mediante el Arduino MEGA (véase figura 71) para la ejecución de los cálculos correspondientes para obtención de la altura dinámica del sistema (TDH) y sean plasmadas en la interfaz gráfica de LabVIEW, el envío de datos se hace cuando el cable se encuentra conectado, la comunicación es mediante USB.

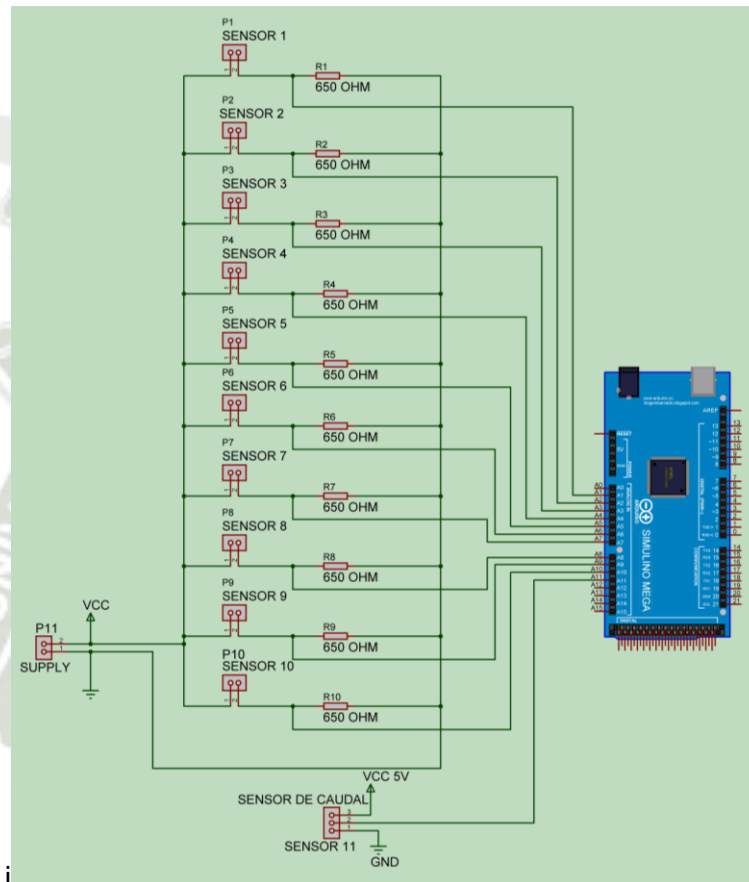


Figura 71. Conexión entre los sensores y el Arduino Mega

5.2.6. Obtención y procesamiento de datos en LabView

Cuando se realiza la conexión USB, el ATMEGA 2560 (microcontrolador del Arduino MEGA) transmite los datos al programa en LABVIEW y este los plasmará en la interfaz, además el programa en LABVIEW calcula los datos para la altura dinámica total de la prueba que se esté realizando.

5.2.6.1. Adquisición y procesamiento de datos de los transmisores de presión

Para la adquisición de datos del transmisor de presión, se convierte la magnitud física presión en una señal eléctrica de corriente, así tendremos una relación lineal en un rango de trabajo de 10 bares, de esta manera la señal de salida oscila entre los 4 mA para una presión de 0 bares hasta los 20 mA para una presión de 10 bares.

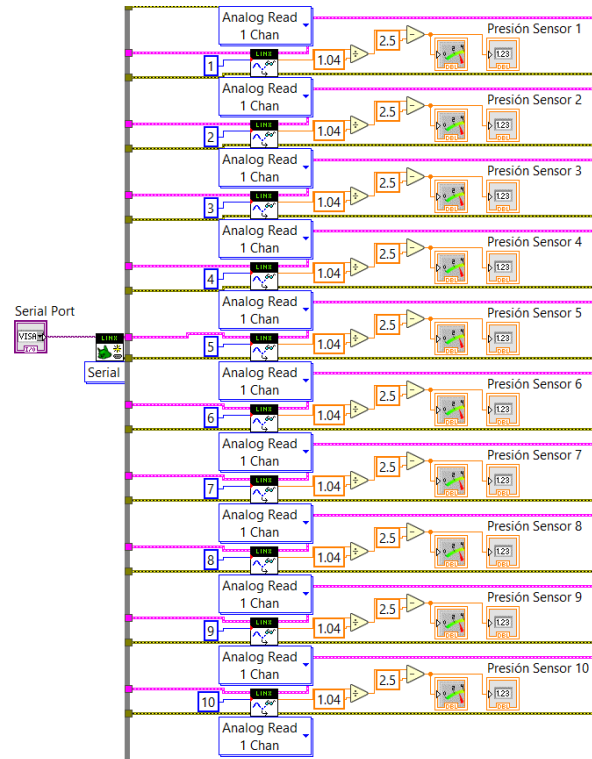


Figura 72. Adquisición de datos del transmisor de presión-LabVIEW (Fuente propia)

5.2.6.2. Adquisición y procesamiento de datos del sensor de flujo

Para la adquisición de datos del sensor de flujo el caudal de agua impulsado por las bombas ingresa y hace girar una turbina, esta está unida a un imán que activa un sensor de efecto Hall, que a su vez emite un pulso eléctrico que puede ser leído por la entrada digital del Arduino Mega. El sensor de efecto Hall está aislado del agua, de manera que siempre se mantiene seco y seguro. Como el volumen de agua por cada pulso es fijo y de un valor conocido podemos contar la cantidad de pulsos por unidad de tiempo (segundo o minuto), luego multiplicar el valor de volumen/pulso por la cantidad de pulsos y así determinar el caudal o flujo de agua.

$$\text{Flujo del agua} \left(\frac{L}{\text{min}} \right) = \frac{\text{Pulsaciones del sensor (Hz)}}{0.2}$$

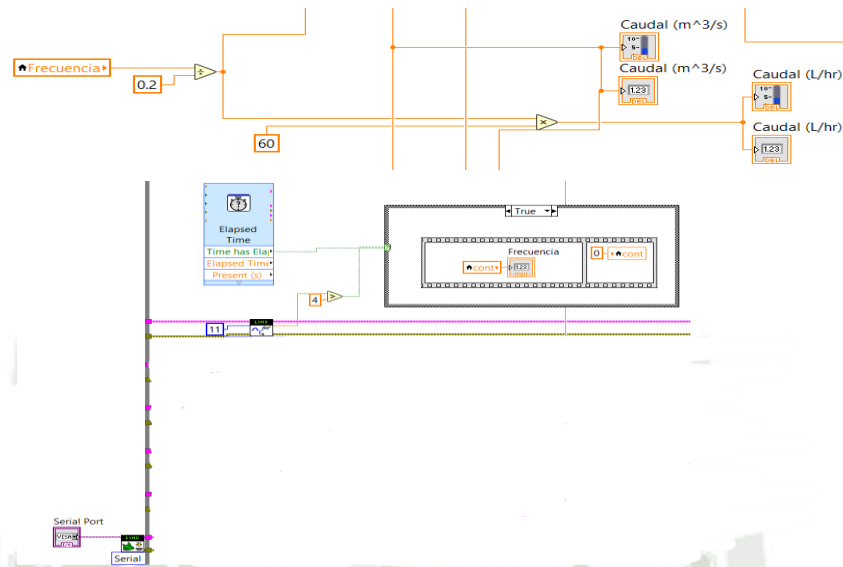


Figura 73. Adquisición de datos del sensor de flujo-LabVIEW (Fuente propia)

5.2.7. Interfaz de LabVIEW

La interfaz gráfica es la ventana en la que el usuario controla el ingreso de datos de acuerdo a la trayectoria que se evaluará del sistema, además la interfaz muestra los datos provenientes de los transmisores de presión, sensor de flujo, pérdidas primarias, pérdidas secundarias y la altura dinámica total en las unidades requeridas, con los que el programa puede mostrar las curvas características del sistema.



Figura 74. Datos provenientes de los transmisores de presión (Fuente propia)

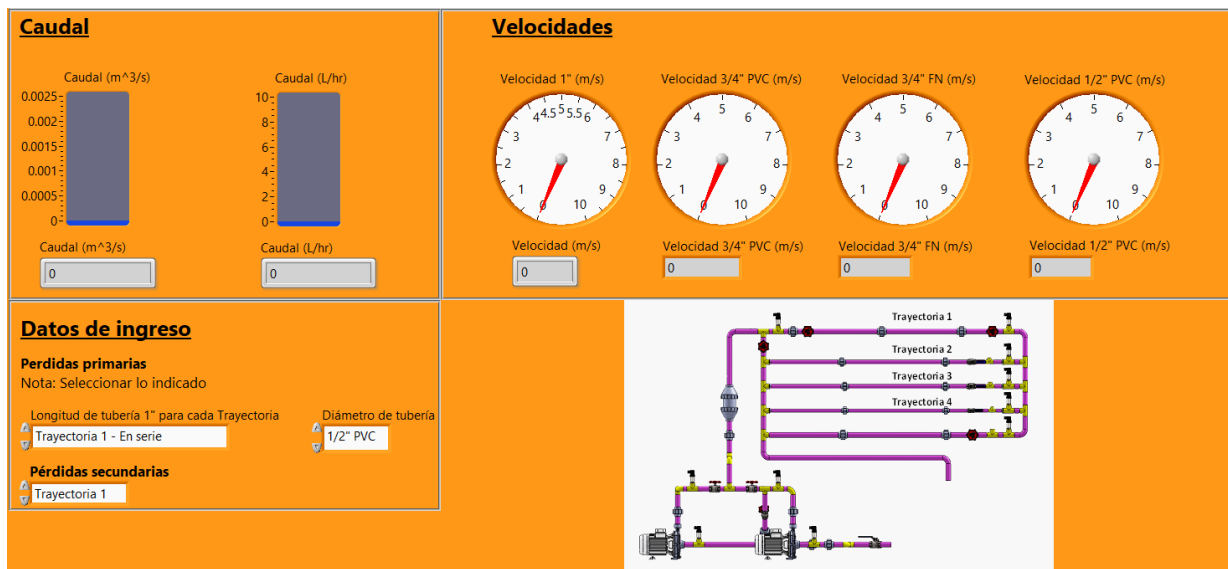


Figura 75. Datos provenientes del sensor de flujo, velocidades por trayectoria (Fuente propia)

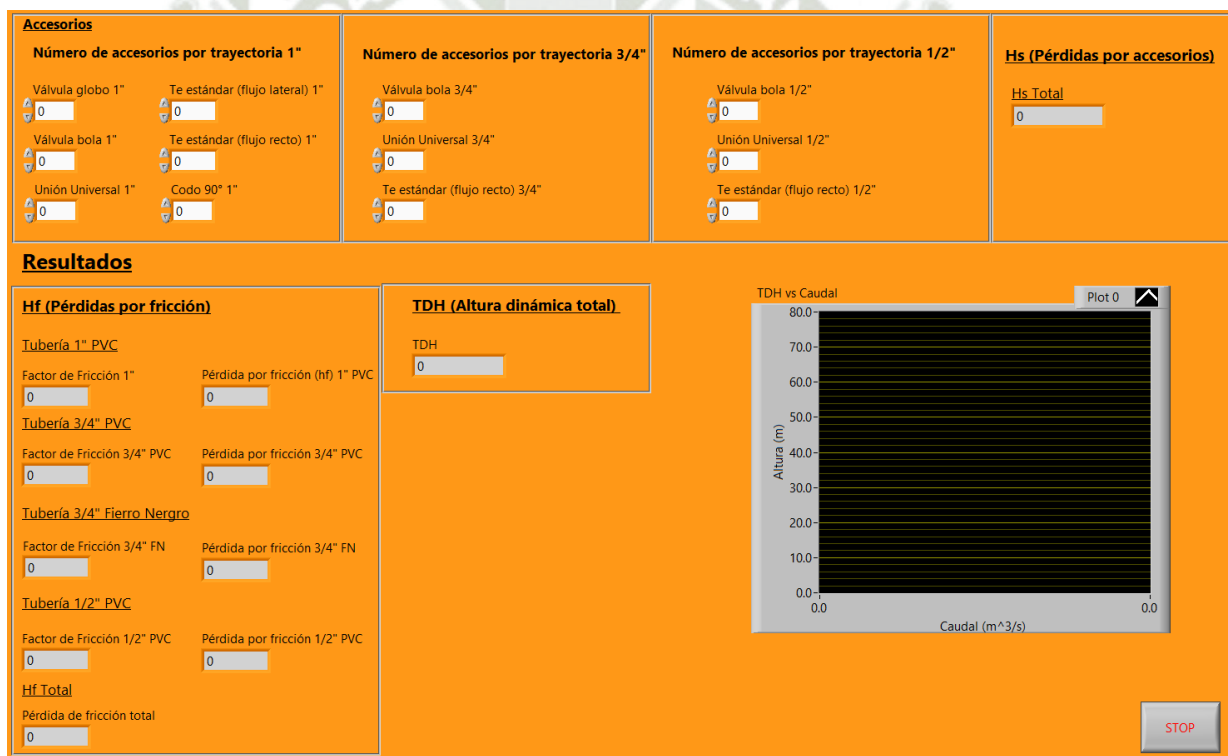


Figura 76. Pérdidas primarias, secundarias, Altura dinámica total y la curva del sistema. (Fuente propia)

CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1. Pruebas y análisis de resultados

Los resultados fueron comparados entre el software LabVIEW y EES, los cuales fueron utilizados para obtener la caída de presión por trayectoria y del sistema.

Las condiciones operativas del sistema:

- Caudal $\leq 0.0033 \text{ m}^3/\text{s}$

El caudal empleado en el software EES en tema de análisis no debe exceder el valor de $0.0033 \text{ m}^3/\text{s}$ debido a la curva de rendimiento hidráulico y características de la bomba.

Datos de Entrada

Q = 0 [m³/s]

D_{int,tub,pvc,1} = 0.0262 [m]

D_{int,tub,pvc,0.75} = 0.0207 [m]

D_{int,tub,fn,0.75} = 0.021 [m]

D_{int,tub,pvc,0.5} = 0.0152 [m]

Facto K de Pérdidas

k_{valv,bola} = 350

k_u = 13

k_{valv,globo} = 8

k_{tee,fl} = 1.8

k_{tee,fr} = 20

k_{codo90} = 30

Figura 77. Valor mínimo de Caudal-Software EES - Fuente Propia.

Datos de Entrada

Q = 0.00333 [m³/s]

D_{int,tub,pvc,1} = 0.0262 [m]

D_{int,tub,pvc,0.75} = 0.0207 [m]

D_{int,tub,fn,0.75} = 0.021 [m]

D_{int,tub,pvc,0.5} = 0.0152 [m]

Facto K de Pérdidas

k_{valv,bola} = 350

k_u = 13

k_{valv,globo} = 8

k_{tee,fl} = 1.8

k_{tee,fr} = 20

k_{codo90} = 30

Figura 78. Valor máximo de Caudal-Software EES - Fuente Propia.

Las condiciones y características del agua utilizado en los ensayos son:

- Temperatura: 20°C.
- Fluido: Agua común.
- Cloro residual libre: >0.5 mg/L (SUNASS, 2004)
- pH: 6.5 – 8.5 (SUNASS, 2004)

6.1.1. Pérdidas primarias y secundarias – Trayectoria 1 en serie

Para la trayectoria 1 se obtuvieron los siguientes resultados de ambos softwares.

Tabla 34. Análisis de resultados - Trayectoria 1 en serie (Fuente propia)

	EES (Teórico)	Excel (Teórico)	LabVIEW
Caudal [m ³ /s]	0.00017	0.00017	0.00016667

Velocidad [m/s]	0.3153	0.315	0.309141
Pérdidas secundarias (hs)	0.1647	0.167	0.015
Pérdidas primarias (hf)	0.05917	0.0592	0.061
TDH [m]	0.78	0.7813	0.775

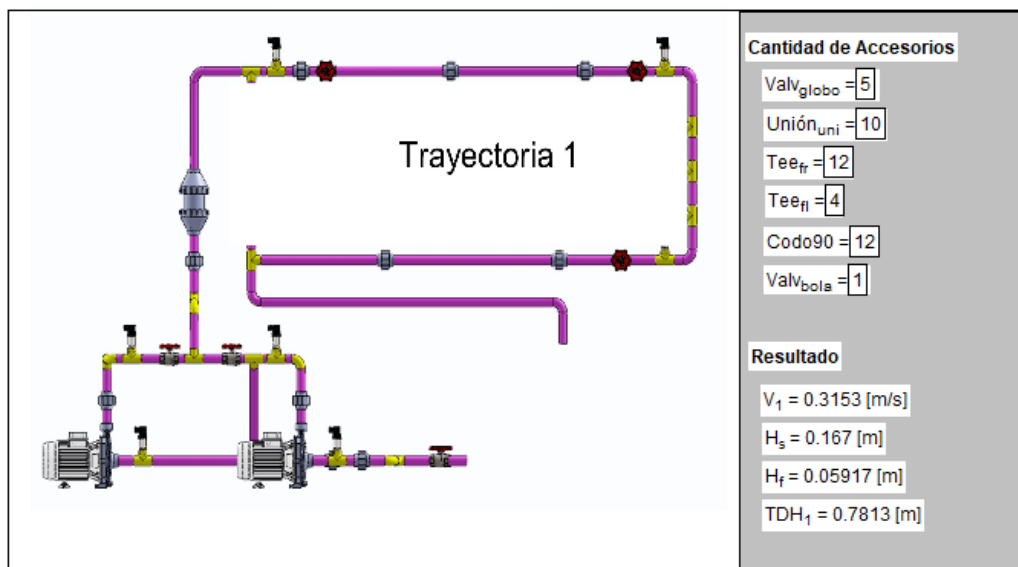


Figura 79. Resultados de la Trayectoria 1 en serie, interfaz EES (Fuente propia)

6.1.2. Pérdidas primarias y secundarias – Trayectoria 2 en serie

Para la trayectoria 2 se obtuvieron los siguientes resultados de ambos softwares.

Tabla 35. Análisis de resultados - Trayectoria 2 en serie (Fuente propia)

	EES (Teórico)	Excel (Teórico)	LabVIEW
Caudal [m ³ /s]	0.00008	0.00008	0.000083
Velocidad [m/s]	0.15	0.1484	0.1492
Pérdidas secundarias (hs)	0.06628	0.0663	0.0617
Pérdidas primarias (hf)	0.0218	0.0218	0.002335
TDH [m]	0.6392	0.6392	0.636302

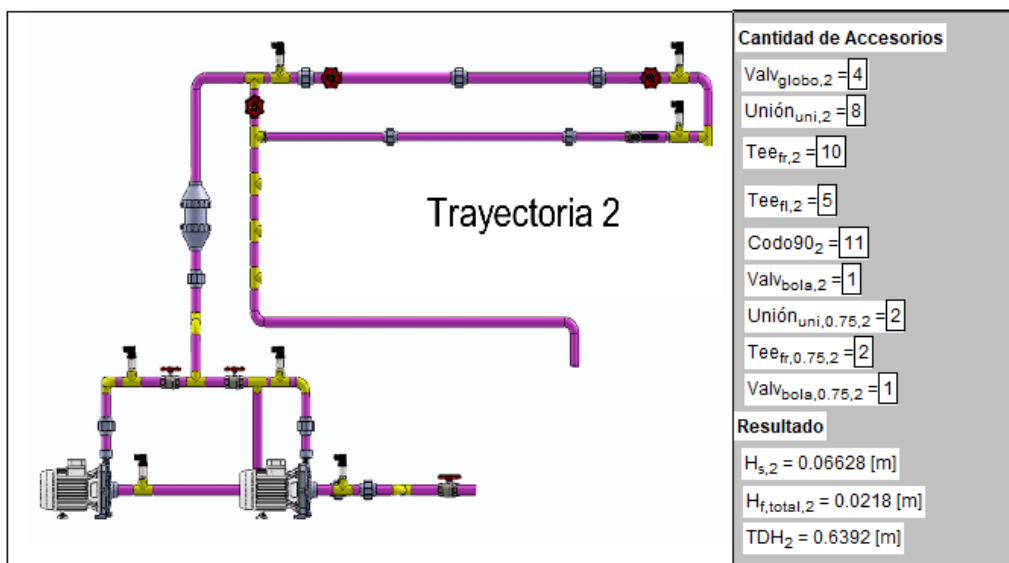


Figura 80. Resultados de la Trayectoria 2 en serie, interfaz EES (Fuente Propia)

6.1.3. Pérdidas primarias y secundarias – Trayectoria 3 en serie

Para la trayectoria 3 se obtuvieron los siguientes resultados de ambos softwares.

Tabla 36. Análisis de resultados - Trayectoria 3 en serie (Fuente propia)

	EES (Teórico)	Excel (Teórico)	LabVIEW
Caudal [m ³ /s]	0.00017	0.00017	0.000166667
Velocidad [m/s]	0.3153	0.32	0.42
Pérdidas secundarias (hs)	0.2917	0.2805	0.246924
Pérdidas primarias (hf)	0.0778	0.07525	0.0752259
TDH [m]	0.9246	0.9106	0.877021

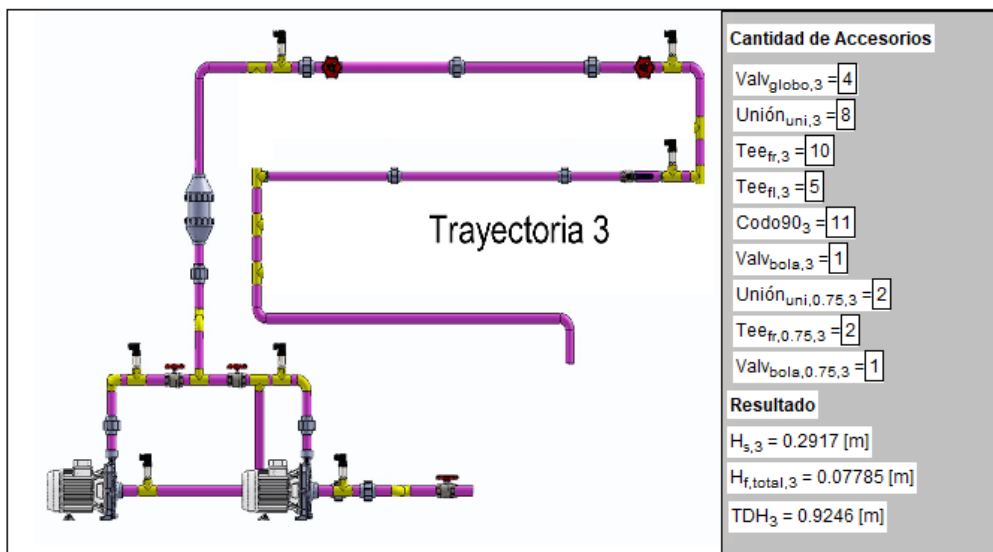


Figura 81. Resultados de la Trayectoria 3 en serie, interfaz EES (Fuente propia)

6.1.4. Pérdidas primarias y secundarias – Trayectoria 4 en serie

Para la trayectoria 4 se obtuvieron los siguientes resultados de ambos softwares.

Tabla 37. Análisis de resultados - Trayectoria 4 en serie (Fuente propia)

	EES (Teórico)	Excel (Teórico)	LabVIEW
Caudal [m ³ /s]	0.0005	0.0005	0.0005
Velocidad [m/s]	0.93	0.9274	1.05
Pérdidas secundarias (hs)	5.7655	5.7655	5.73
Pérdidas primarias (hf)	1.221	1.2208	1.2318
TDH [m]	7.58	7.5802	7.5118

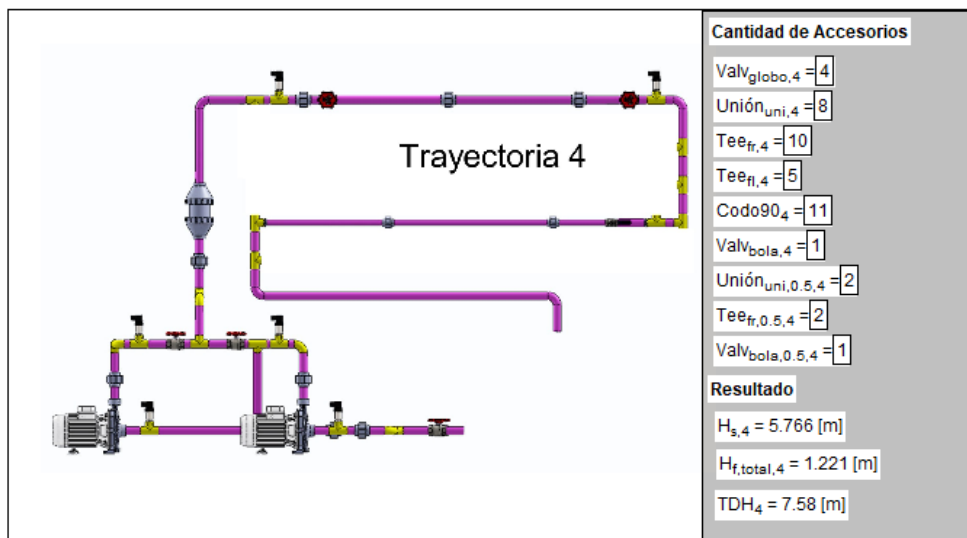


Figura 82. Resultados de la Trayectoria 4 en serie, interfaz EES (Fuente propia)

6.1.5. Pérdidas primarias y secundarias – Trayectoria 1 en paralelo

Para la trayectoria 1 se obtuvieron los siguientes resultados de ambos softwares.

Tabla 38. Análisis de resultados - Trayectoria 1 en paralelo (Fuente propia)

	EES (Teórico)	Excel (Teórico)	LabVIEW
Caudal [m ³ /s]	0.00017	0.00017	0.00016667
Velocidad [m/s]	0.32	0.3153	0.309141
Pérdidas secundarias (hs)	0.1942	0.1942	0.184464
Pérdidas primarias (hf)	0.06247	0.0729	0.06037
TDH [m]	0.8118	0.8223	0.7997

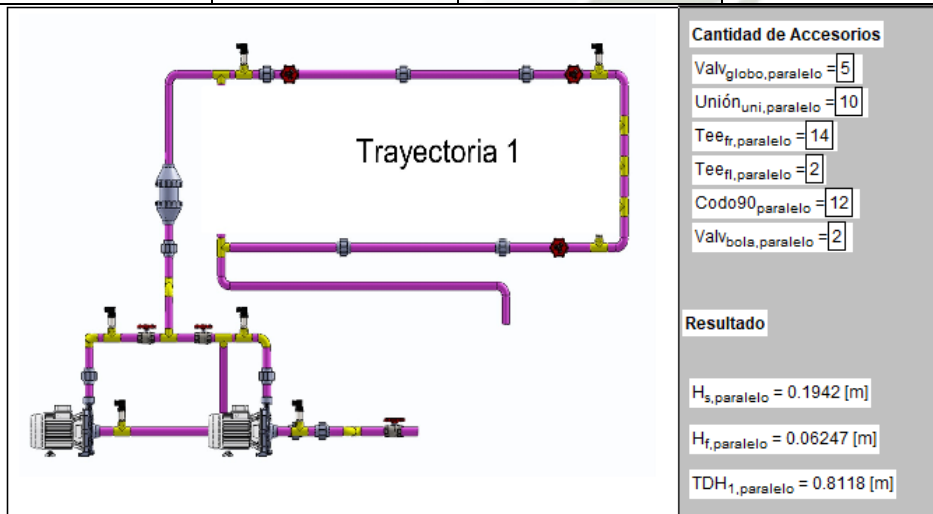


Figura 83. Resultados de la Trayectoria 1 en paralelo, interfaz EES (Fuente propia)

6.1.6. Pérdidas primarias y secundarias – Trayectoria 2 en paralelo

Para la trayectoria 2 se obtuvieron los siguientes resultados de ambos softwares.

Tabla 39. Análisis de resultados - Trayectoria 2 en paralelo (Fuente propia)

	EES (Teórico)	Excel (Teórico)	LabVIEW
Caudal [m ³ /s]	0.00017	0.00017	0.00016667
Velocidad [m/s]	0.32	0.3153	0.35
Pérdidas secundarias (hs)	0.3265	0.3265	0.2964
Pérdidas primarias (hf)	0.08304	0.0830	0.0797
TDH [m]	0.9646	0.9646	0.9261

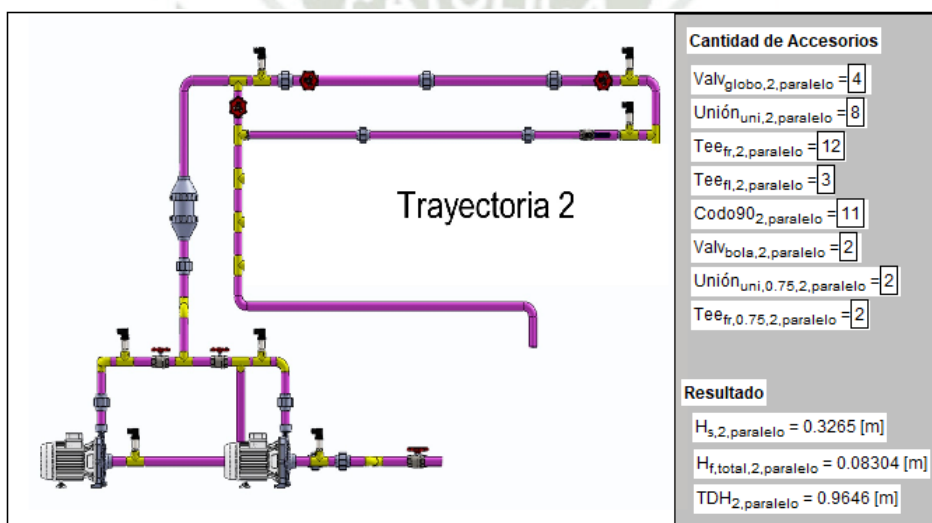


Figura 84. Resultados de la Trayectoria 2 en paralelo, interfaz EES (Fuente propia)

6.1.7. Pérdidas primarias y secundarias – Trayectoria 3 en paralelo

Para la trayectoria 3 se obtuvieron los siguientes resultados de ambos softwares.

Tabla 40. Análisis de resultados - Trayectoria 3 en paralelo (Fuente propia)

	EES (Teórico)	Excel (Teórico)	LabVIEW
Caudal [m ³ /s]	0.00025	0.00025	0.00025
Velocidad [m/s]	0.4637	0.4637	0.51
Pérdidas secundarias (hs)	0.6898	0.6898	0.6538
Pérdidas primarias (hf)	0.1604	0.1604	0.1678
TDH [m]	1.4111	1.4111	1.3716

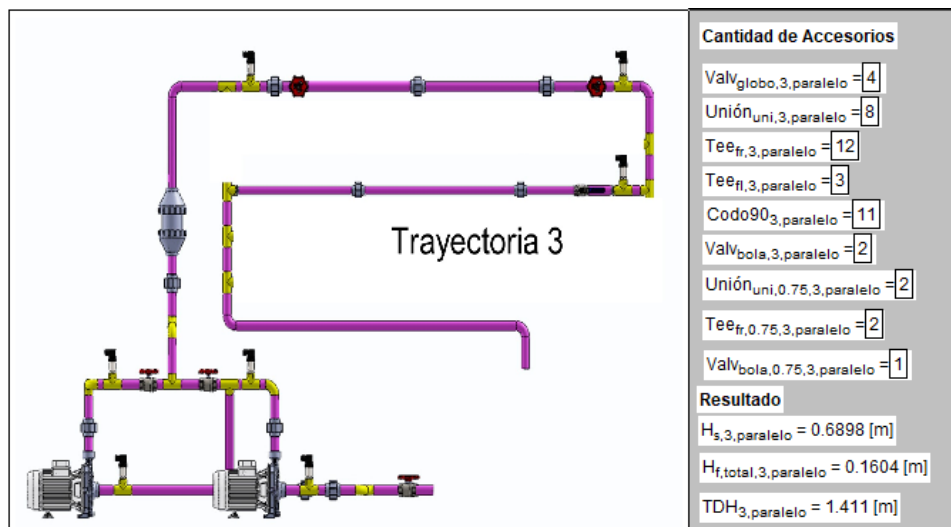


Figura 85. Resultados de la Trayectoria 3 en paralelo, interfaz EES (Fuente propia)

6.1.8. Pérdidas primarias y secundarias – Trayectoria 4 en paralelo

Para la trayectoria 4 se obtuvieron los siguientes resultados de ambos softwares.

Tabla 41. Análisis de resultados - Trayectoria 4 en paralelo (Fuente propia)

	EES (Teórico)	Excel (Teórico)	LabVIEW
Caudal [m ³ /s]	0.0007	0.0007	0.000666668
Velocidad [m/s]	1.2984	1.2984	1.24
Pérdidas secundarias (hs)	11.76	11.7618	11.62
Pérdidas primarias (hf)	2.273	2.2729	2.08691
TDH [m]	14.67	14.6707	14.25691

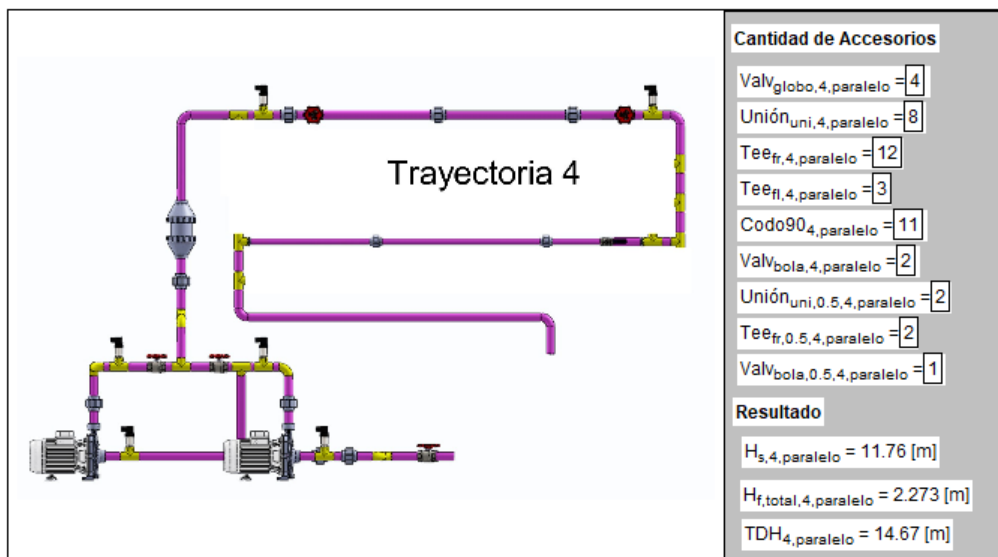


Figura 86. Resultados de la Trayectoria 4 en paralelo, interfaz EES (Fuente propia)



CAPÍTULO VII: PRESUPUESTO PARA EQUIPOS

Una vez que el diseño está completamente definido y estructurado, se puede tener con exactitud la cantidad, tipos de equipos, materiales y accesorios que se necesitarán para la realización del banco tuberías. Por lo tanto, se puede realizar el análisis de costos que y así obtener el presupuesto del diseño.

7.1. Análisis de precios unitarios

Tabla 42. Análisis de precios unitarios (Elaboración Propia).

Categorías	Material	Unidad de Medida	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Precio Total (S/.)
Accesorios	Codo de 90° PVC 1"	Unidad	12	5	60
	Tee estándar PVC 1"	Unidad	18	5.5	99
	Tee estándar PVC 3/4"	Unidad	2	2.5	5
	Tee estándar PVC 1/2"	Unidad	1	2	2
	Reducciones de 1" a 1/4"	Unidad	7	3.6	25.2
	Reducciones de 3/4" a 1/4"	Unidad	2	3.2	6.4
	Reducciones de 1/2" a 1/4"	Unidad	1	2.3	2.3
	Reducciones de 2" a 1"	Unidad	2	10	20
	Uniones Universales PVC 1"	Unidad	11	6	66
	Uniones Universales PVC 3/4"	Unidad	4	4.5	18
	Uniones Universales PVC 1/2"	Unidad	2	3	6
	Niples de 1"	Unidad	10	2.5	25
	Niples de 3/4"	Unidad	2	1.5	3
	Niples de 1/2"	Unidad	1	1	1
Válvulas	Válvula Globo Metal 1"	Unidad	7	30	210
	Válvula Bola Metal 1"	Unidad	2	45	90
	Válvula Bola Metal 3/4"	Unidad	2	40	80
	Válvula Bola Metal 1/2"	Unidad	1	30	30
Equipos	Bomba Leo 1HP	Unidad	2	400	800
	Sensor de Caudal	Unidad	1	300	300
	Arduino Mega	Unidad	1	140	140
	Sensores de Presión	Unidad	10	255	2550
	Bornera para cables de señal (placa)	Unidad	1	20	20
Tuberías	Tubería 1" PVC	Unidad	3	33	99
	Tubería 3/4" Fierro Negro	Unidad	1/2	34	17
	Tubería 3/4" PVC	Unidad	1	25	25
	Tubería 1/2" PVC	Unidad	1/2	11	5.5

Categorías	Material	Unidad de Medida	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Precio Total (S/.)
Estructura de Soporte	Melamina 15 mm	Unidad	1	189	189
	Garruchas	Unidad	4	23.75	95
	Perfil tubular 2"*2"*1.2 mm (armado, pintado y tanque de agua)	Unidad	1	800	800
Otros	Teflón	Unidad	12	1	12
	Pintura anticorrosiva	Galón	1/2	12	6
	Pintura esmalte	Galón	1	57	57
	Abrazaderas	Unidad	16	0.6	9.6
	Gomas de apoyo/aisladores de vibraciones	Unidad	24	3	72
	Accesorios de Válvulas y sensores	Unidad	22	10	220
	Cable Apantallado 4H-24AWG	Metro	31	5.5	170.5
	Thinner	Galón	1/4	5	1.25
	Adhesivo PVC	Unidad	2	8	16
	Tarraje	Unidad	3	20	60
	Mano de Obra	hh	-	500	500
					S/. 6913.75

Finalmente, se estimó un total de S/. 6913.75 soles (seis mil novecientos trece 75/100 soles), incluido IGV y mano de obra.

7.2. Comparación económica con otros módulos

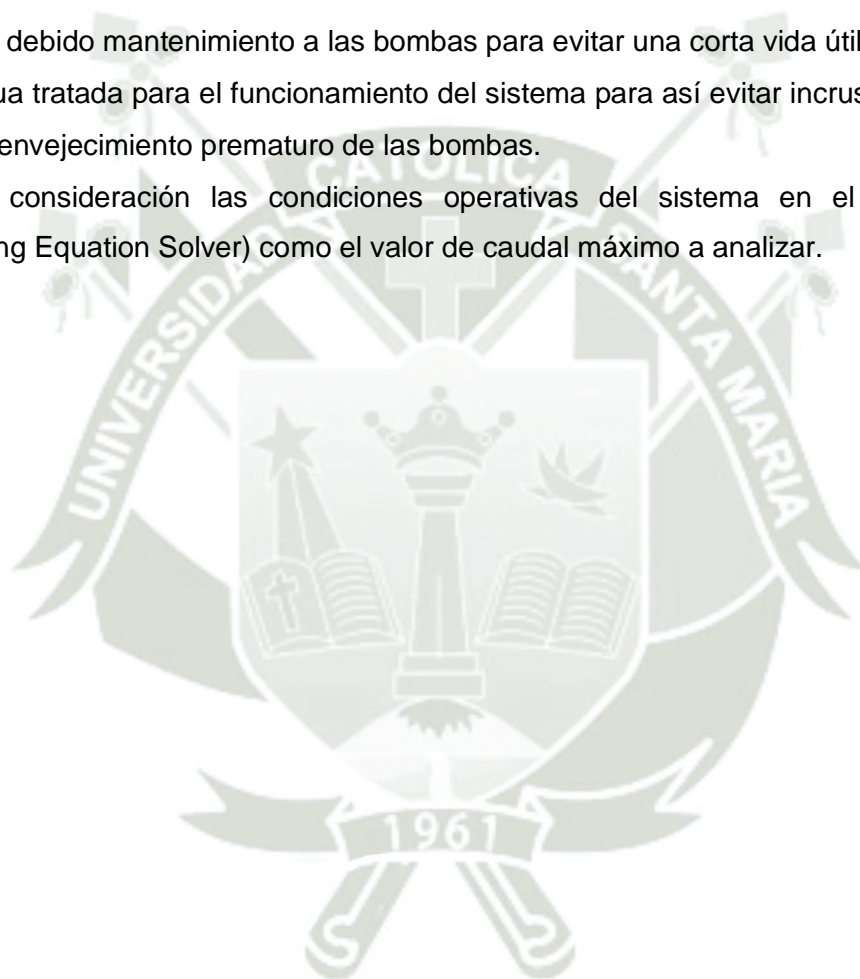
Empresa	Equipo	Costo
Gunt Hamburg	HM 150.11 Pérdidas de carga en el sistema de tuberías	USD. 21,000.00
Edibon	Equipo de fricción en tuberías	USD. 18,500.00
Didacta Italia	Equipo para estudio de pérdidas de carga	USD. 15,440.00

CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó el módulo automatizado del banco de tuberías, teniendo en cuenta los diferentes criterios de evaluación destinados a este proyecto educativo.
- Al tener una configuración de las bombas en serie, la curva característica de la bomba mantendrá el caudal, pero aumentará la altura. Así mismo si la configuración de las bombas es en paralelo la curva característica de la bomba mantendrá la altura, pero aumentará el caudal.
- El caudal será variable de acuerdo a la configuración en serie o paralelo del sistema y si es que existe estrangulamiento parcial de las llaves de descarga, esto provocará un aumento de velocidad, por ende, las pérdidas primarias, secundarias y la altura dinámica total tendrán un incremento lo cual se verá reflejado en la curva del sistema.
- Se realizó los cálculos teóricos en el software EES bajo parámetros como propiedades del fluido (agua), cantidad y coeficientes de resistencias de accesorios, longitud, diámetros y material de tuberías. Para la obtención de resultados de pérdidas primarias, secundarias y altura dinámica total.
- Se estableció la comunicación de los transmisores de presión (señal analógica) y sensor de flujo (señal digital) a la interfaz diseñada de LabView mediante las señales digitales del Arduino "MEGA".
- Se comparó los resultados del software LabVIEW y el software EES pudiendo verificar mediante pruebas experimentales que los resultados teóricos y prácticos son análogos.
- Para lograr un sistema interconectado, los transmisores de presión (señal analógica) y el sensor de flujo (señal digital) cumplen la función de transmisión del mensaje. Así mismo el Arduino "MEGA" será el receptor del sistema para luego mostrar los datos en el software LabVIEW, el cual mediante un diagrama de bloques repetirá el ciclo constantemente (realimentación).

RECOMENDACIONES

- Tener las protecciones necesarias respecto al fluido y evitar desenergizar el sistema mientras el software esté tomando datos del proceso.
- Verificar la correcta conexión del sistema, como también de la transmisión de señales desde los sensores hasta la PC.
- Para la mejorar el banco de tuberías es optar por sensores de presión donde la lectura se visualice en el mismo.
- Realizar el debido mantenimiento a las bombas para evitar una corta vida útil.
- Utilizar agua tratada para el funcionamiento del sistema para así evitar incrustaciones en las tuberías y envejecimiento prematuro de las bombas.
- Tener en consideración las condiciones operativas del sistema en el software EES (Engineering Equation Solver) como el valor de caudal máximo a analizar.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado Rojas, C. H., & Espinosa Mora, S. A. (2020). *Diseño y simulación de un banco hidráulico didáctico para la determinación de pérdidas de energía por fricción del agua en tuberías pvc y acero inoxidable*. UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO.
- Appiani, A. (2022). *Arduino @ MEGA 2560 Rev3 Features*. 1–18. www.arduino.cc
- Cáceres Pinto, V. A. (2021). *Control y Monitoreo de un sistema de nivel con Arduino a través de LabVIEW*. Universidad Técnica Federico Santa María.
- Caibe Yanzapanta, F. M. (2012). *Diseño y Construcción de un Sistema de Transporte de Fluidos para la Medición de Caudales (Rotámetro)*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Cengel, Y., & Cimbala, J. (2010). *Mecánica de fluidos - Fundamentos y aplicaciones* (2da Edición). Mc Graw Hill.
- Crane, Greene, & Mcnaughtton. (2005). Flujo de Fluidos en Válvulas, accesorios y tuberías. In *Nucl. Phys.* (McGraw-Hil, Vol. 1, Issue 1).
- Cuyo, U. N. de. (2021). *Mediciones y Teoría de error*. 22. <https://fcen.uncuyo.edu.ar/catedras/mediciones-y-teoria-de-errorfcen2020.pdf>
- Díaz, N. (2018). *Diseño De Un Banco De Pruebas Para Pérdidas De Carga En Tuberías Y Accesorios*.
- García Díaz, A., García Díaz, L., & Gaviria Montañez, E. C. (2009). *DISEÑO Y MONTAJE DEL LABORATORIO DE HIDRAULICA DE TUBERIAS "BANCO DE PRUEBAS TUBO VENTURI."* 39.
- Guitton Lozano, W., & Muñoz Noriega, M. (2003). *Diseño y construccion de un banco de pruebas de bombas centrífugas y pérdidas en tuberías para el programa profesional de Ingeniería Mecánica (UCSM)*. Univerisdad Católica de Santa María.
- Herrera, O., & Castro, J. (2020). *Montaje y simulación de un banco de pruebas para el análisis de pérdidas de carga en tuberías y accesorios*. 1–117. <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/2892>
- LEO. (2022). *Aplicación Curvas de rendimiento hidráulico Motor Códigos de identificación Bomba*.

- Lirio Fructuoso, H. R. (2019). "DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN BANCO HIDRÁULICO EN CIRCUITO CERRADO PARA EL ESTUDIO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN REDES DE DISTRIBUCIÓN HIDRÁULICA. LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS Y MÁQUINAS TÉRMICAS FIME – UNAC [UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO]. In *Univerdidad Nacional del Callao*. <http://hdl.handle.net/20.500.12952/5053>
- Lizarraga Flores, J. (2017). *MEJORA TECNOLÓGICA PARA EL AUMENTO DE VIDA ÚTIL EN BOMBAS CENTRIFUGAS* [UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA].
<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3003/Mcliflj.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mott, R. L. (2015). Mecánica de fluidos. In S. Fonseca (Ed.), *Mecánica De Fluidos* (Séptima ed).
<http://repositorio.uladech.edu.pe/handle/123456789/>
- Ordoñez Viñán, M. A., & Quisnancela Salazar, G. K. (2013). AUTOMATIZACIÓN DEL BANCO DE PÉRDIDAS DEL LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO]. In *Biomédica* (Vol. 31, Issue sup3.2). <https://doi.org/10.7705/biomedica.v31i0.530>
- Parra, J., & Velasco, L. (2014). *Diseño para Construcción de un Banco de Pruebas para Determinar las Pérdidas de Carga en un Sistema de Tuberías*. 134.
<https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/6902/T05040.pdf;jsessionid=B2C5BEA61E7E0A86F59D5DDB3D81729D?sequence=1>
- Sánchez, J., & Niño, E. (2018). Diseño De Una Interfaz Labview Y Arduino E Implementación De Un Programa Aplicado a La Máquina De Vacío Del Laboratorio De Mecánica. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, 1–52.
<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/13449/1/SánchezHuertasJulietteXimena2018.pdf>
- Shashi Menon, E., & Shashi Menon, P. (2010). *Workin guide tu pump and pumping stantions Calculations and Similations* (E. Inc. (ed.); Issue 1). <http://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/JKM/article/view/2203>
- SUNASS. (2004). La calidad del agua potable en el Perú. In *Sunass*.
https://www.sunass.gob.pe/Publicaciones/agua_potable.pdf%0Ahttp://www.ghbook.ir/index.php?option=com_dbook&task=readonline&book_id=13650&page=73&chckhashk=ED9C949

1B4&Itemid=218&lang=fa&tmpl=component

Tapia Ayala, C. H., & Manzano Yupa, H. M. (2013). *EVALUACIÓN DE LA PLATAFORMA ARDUINO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE POSICIÓN HORIZONTAL* [UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL].


<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5522/1/UPS-GT000511.pdf>

YAMBOMBO GUANUTAXI, G. J. (2012). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA ENSAYOS DE PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS*. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD.



ANEXO

A. Guías de Práctica

	UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
	Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica
	Ingeniero:
	Curso:
	Semestre:
GUÍA DE PRÁCTICA 1: CAÍDA DE PRESIÓN (PÉRDIDAS PRIMARIAS Y SECUNDARIAS) - CONFIGURACIÓN SERIE	

Objetivos:

- Usar el Software especializado para la adquisición de datos de procesos reales.
- Aplicar los conceptos básicos del curso de Mecánica de Fluidos, para la el desarrollo de la práctica de caída de presión (pérdidas primarias y secundarias).

Descripción:

Tanto en sistemas de agua como en sistemas de otro tipo de fluido, el fluido pierde energía por el rozamiento continuo con la tubería y por la fricción que ocurre en el paso de accesorio o dispositivos. Estos accesorios o dispositivos son la propia tubería, válvulas, derivaciones, codos, cambios de dirección, cambios de sección.

Rugosidad del Material (ϵ):

Material	Rugosidad absoluta (mm)
Plástico (PVC)	0.0015
Fierro fundido	0.014

Numero de Reynolds (Re):

$$Re = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

Ecuación de Swaemee y Jain (coeficiente de fricción):

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\epsilon}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Ecuación de Darcy-Weisbach (pérdidas primarias):

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

Ecuación de Pérdidas de energía por accesorios (perdidas secundarias)

$$h_s = K \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Altura Dinámica Total

$$TDH = h_s + h_f + \frac{v^2}{2g} + H_o$$

Actividades de la Práctica:

1. Hacemos el llenado del tanque de agua.
2. Abrir la válvula bola en la salida del tanque (succión) V_{bola1} .
3. Identificación de la Trayectoria a trabajar.
4. Abrir las válvulas globo (V_{globo}): V_{globo2} , V_{globo3} , V_{globo4} , V_{globo5} , V_{globo6} , para la trayectoria 1 (PVC 1”).
5. Abrir las válvulas globo (V_{globo}): V_{globo2} , V_{globo3} , V_{globo4} , V_{globo5} y la válvula bola: V_{bola3} para la trayectoria 2 (PVC 3/4”).
6. Abrir las válvulas globo (V_{globo}): V_{globo2} , V_{globo3} , V_{globo4} , V_{globo5} y la válvula bola: V_{bola4} para la trayectoria 3 (Fierro negro 3/4”).
7. Abrir las válvulas globo (V_{globo}): V_{globo2} , V_{globo3} , V_{globo4} , V_{globo5} y la válvula bola: V_{bola5} para la trayectoria 4 (PVC 1/2”).
8. Realizar la conexión del Arduino MEGA del puerto USB hacia el ordenador.
9. Iniciar el Software de LabVIEW para la configuración del Arduino e inicio de la interfaz.



10. Ingresamos a la interfaz de LabVIEW (Datos de Ingreso) y seleccionamos la “Longitud de tubería”, “Diámetro de tubería” y “Número de trayectoria”.

Datos de ingreso

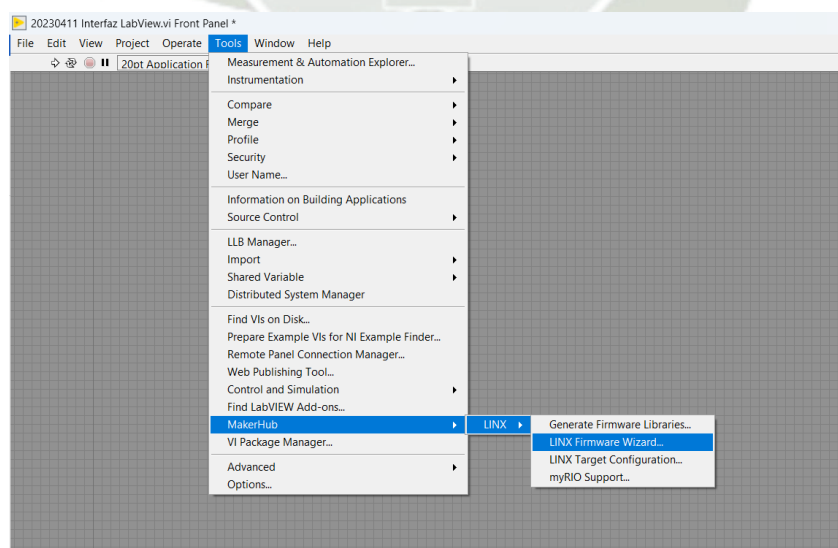
Perdidas primarias y secundarias
Nota: Seleccionar lo indicado

Longitud de tubería 1" para cada Trayectoria <input type="text" value="Trayectoria 1 - En paralelo"/>	Diámetro de tubería <input pvc"="" type="text" value="1/2"/>
Número de trayectoria <input type="text" value="Trayectoria 1"/>	

11. Ingresamos la cantidad de accesorios de acuerdo a cada trayectoria.

Accesorios	Número de accesorios - trayectoria 1"	Número de accesorios - trayectoria 3/4"	Número de accesorios - trayectoria 1/2"
Válvula globo 1"	<input type="text" value="0"/>	Válvula bola 3/4"	Válvula bola 1/2"
Te estándar (flujo lateral) 1"	<input type="text" value="0"/>	Unión Universal 3/4"	Unión Universal 1/2"
Válvula bola 1"	<input type="text" value="0"/>	Te estándar (flujo recto) 3/4"	Te estándar (flujo recto) 1/2"
Te estándar (flujo recto) 1"	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Unión Universal 1"	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Codo 90° 1"	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

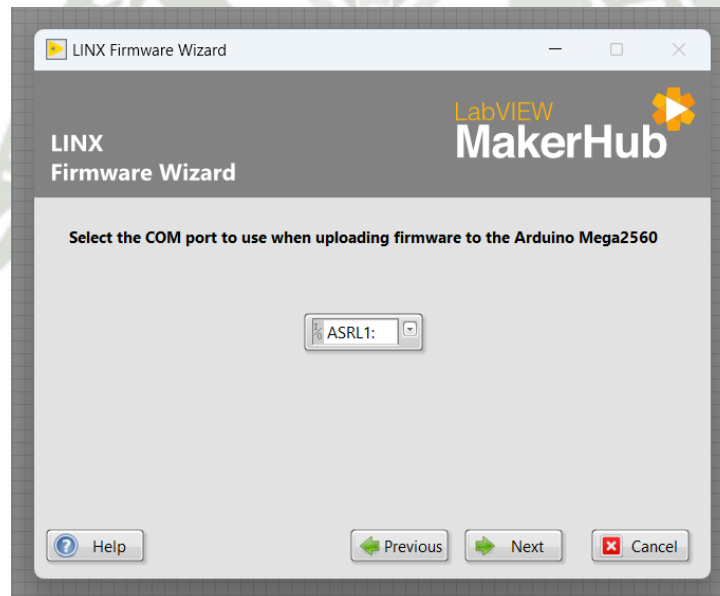
12. Para la iniciación del programa realizar click en el menú “Tools”, submenú “MakerHub”, seguido de “LINX” y “LINK Firmware Wizard”.



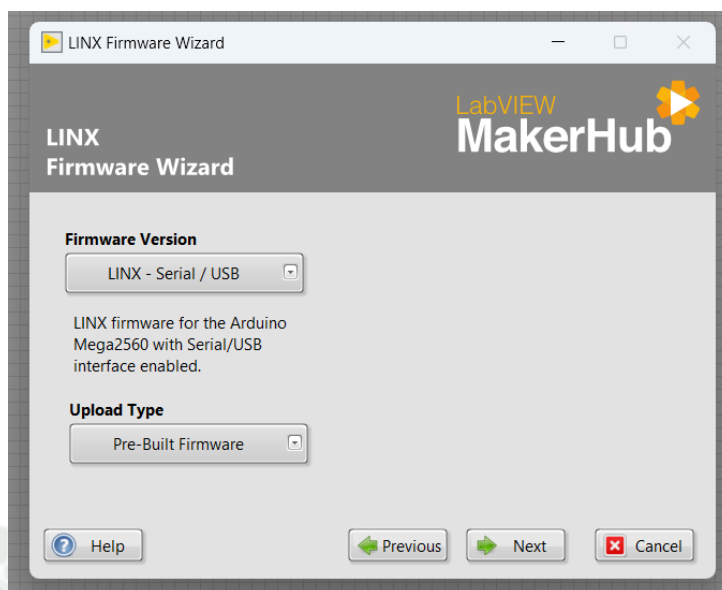
13. Seleccionamos el Arduino MEGA y damos click en “NEXT”.



14. Seleccionamos el puerto USB (COM3) del Arduino MEGA detectado por el software y realizamos click en “NEXT”.



15. Verificamos que el menú sea USB, realizamos click en “NEXT” y finalizamos.



16. Finalmente realizamos el encendido de las bombas.

Obtención de Datos

Para un caudal diferentes llenar los siguientes valores mostrados en la tabla, Tener en cuenta el estrangulamiento de la válvula de descarga

Q (m/s ³)	V (m/s)	$V^2/2 \cdot g$ (m/s)	H _f	H _s	TDH

Conclusiones:

.....

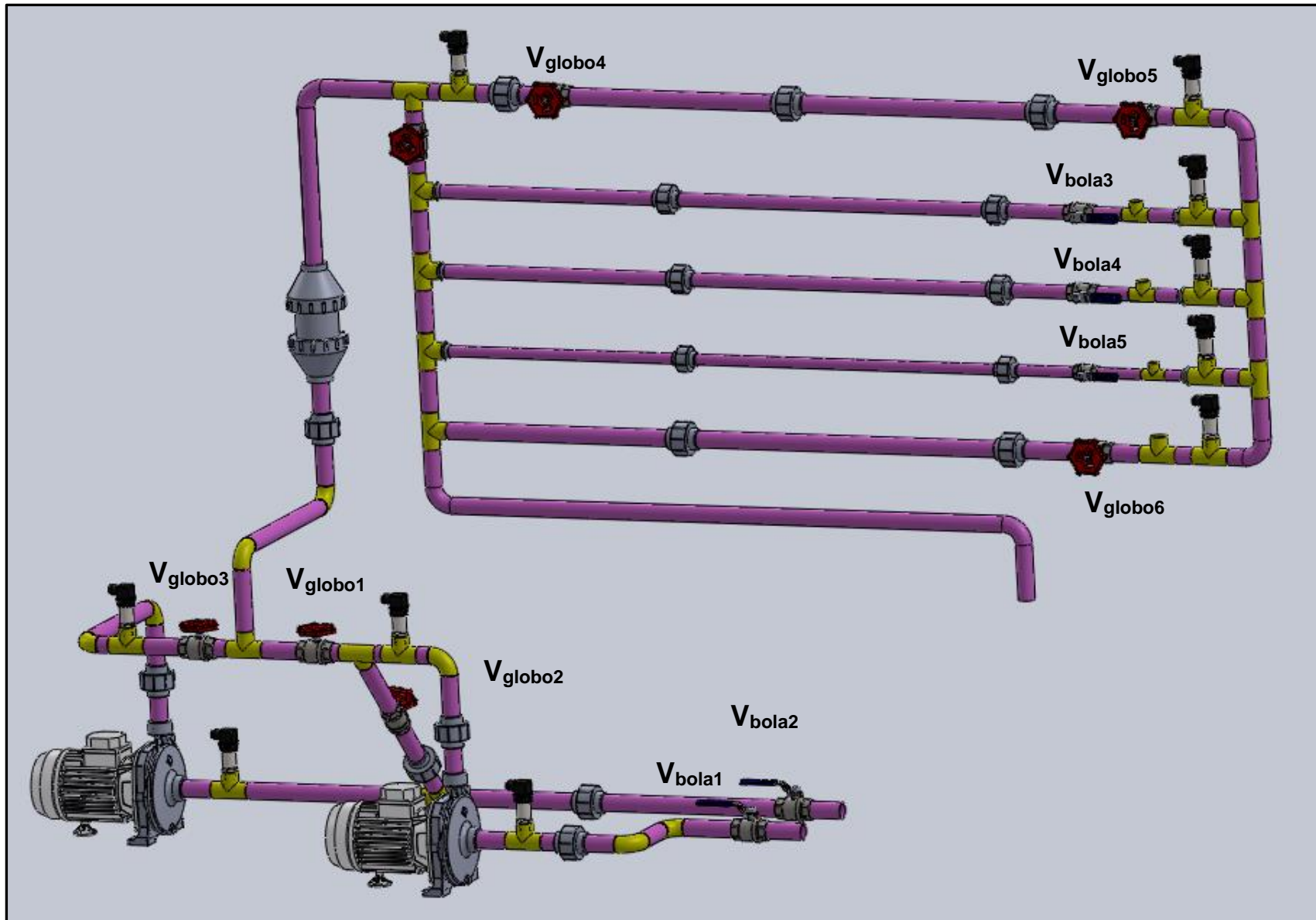
.....

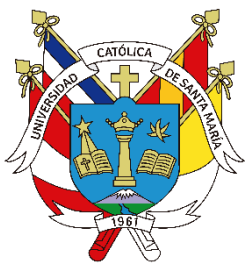
.....

.....

.....

.....



	UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
	Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica
	Ingeniero:
	Curso:
	Semestre:
	GUÍA DE PRÁCTICA 2: CAÍDA DE PRESIÓN (PÉRDIDAS PRIMARIAS Y SECUNDARIAS) - CONFIGURACIÓN PARALELO

Objetivos:

- Usar el Software especializado para la adquisición de datos de procesos reales.
- Aplicar los conceptos básicos del curso de Mecánica de Fluidos, para la el desarrollo de la práctica de caída de presión (pérdidas primarias y secundarias).

Descripción:

Tanto en sistemas de agua como en sistemas de otro tipo de fluido, el fluido pierde energía por el rozamiento continuo con la tubería y por la fricción que ocurre en el paso de accesorio o dispositivos. Estos accesorios o dispositivos son la propia tubería, válvulas, derivaciones, codos, cambios de dirección, cambios de sección.

Rugosidad del Material (ϵ):

Material	Rugosidad absoluta (mm)
Plástico (PVC)	0.0015
Fierro fundido	0.014

Numero de Reynolds (Re):

$$Re = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

Ecuación de Swaemee y Jain (coeficiente de fricción):

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Ecuación de Darcy-Weisbach (pérdidas primarias):

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

Ecuación de Pérdidas de energía por accesorios (perdidas secundarias)

$$h_s = K \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Altura Dinámica Total

$$TDH = h_s + h_f + \frac{v^2}{2g} + H_o$$

Actividades de la Práctica:

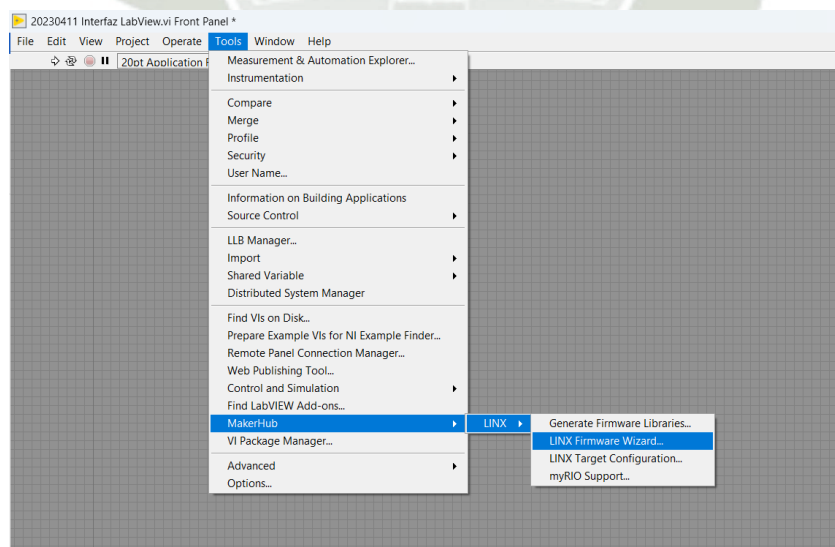
1. Hacemos el llenado del tanque de agua.
2. Abrir las válvulas bolas en la salida del tanque (succión) V_{bola1} y V_{bola2} .
3. Identificación de la Trayectoria a trabajar.
4. Abrir las válvulas globo (V_{globo}): V_{globo1} , V_{globo3} , V_{globo4} , V_{globo5} , V_{globo6} , para la trayectoria 1 (PVC 1").
5. Abrir las válvulas globo (V_{globo}): V_{globo1} , V_{globo3} , V_{globo4} , V_{globo5} y la válvula bola: V_{bola3} para la trayectoria 2 (PVC 3/4").
6. Abrir las válvulas globo (V_{globo}): V_{globo1} , V_{globo3} , V_{globo4} , V_{globo5} y la válvula bola: V_{bola4} para la trayectoria 3 (Fierro negro 3/4").
7. Abrir las válvulas globo (V_{globo}): V_{globo1} , V_{globo3} , V_{globo4} , V_{globo5} y la válvula bola: V_{bola5} para la trayectoria 4 (PVC 1/2").
8. Realizar la conexión del Arduino MEGA del puerto USB hacia el ordenador.
9. Iniciar el Software de LabVIEW para la configuración del Arduino e inicio de la interfaz.



1. Ingresamos a la interfaz de LabVIEW (Datos de Ingreso) y seleccionamos la “Longitud de tubería”, “Diámetro de tubería” y “Número de trayectoria”.

2. Ingresamos la cantidad de accesorios de acuerdo a cada trayectoria.

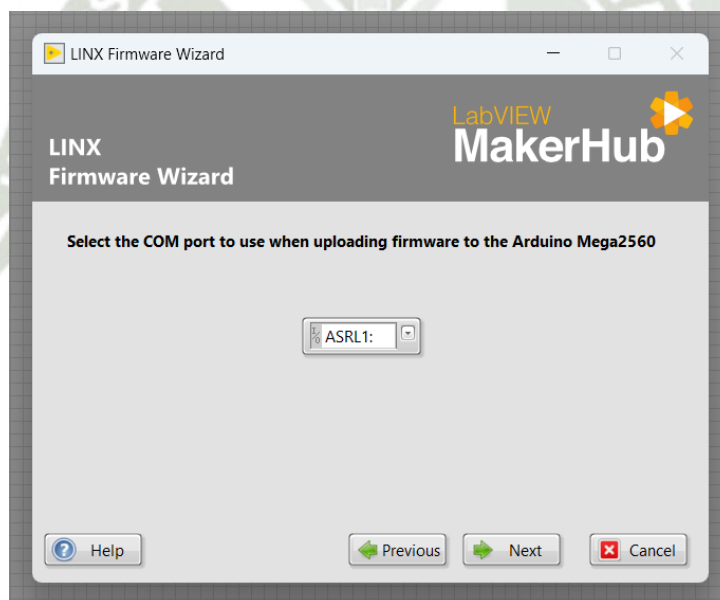
3. Para la iniciación del programa realizar click en el menú “Tools”, submenú “MakerHub”, seguido de “LINX” y “LINK Firmware Wizard”.



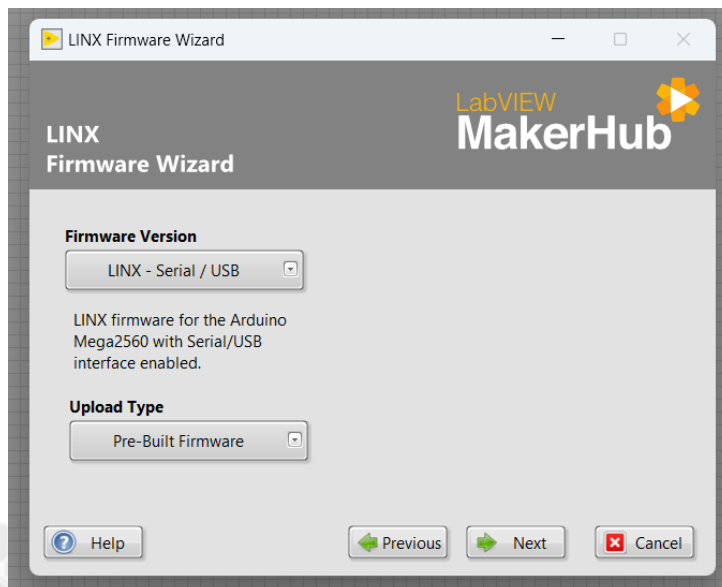
4. Seleccionamos el Arduino MEGA y damos click en “NEXT”.



5. Seleccionamos el puerto USB (COM3) del Arduino MEGA detectado por el software y realizamos click en “NEXT”.



6. Verificamos que el menú sea USB, realizamos click en “NEXT” y finalizamos.



7. Finalmente realizamos el encendido de las bombas.

Obtención de Datos

Para un caudal diferentes llenar los siguientes valores mostrados en la tabla, Tener en cuenta el estrangulamiento de la válvula de descarga

Q (m/s ³)	V (m/s)	V ² /2*g (m/s)	Hf	Hs	TDH

Conclusiones:

.....

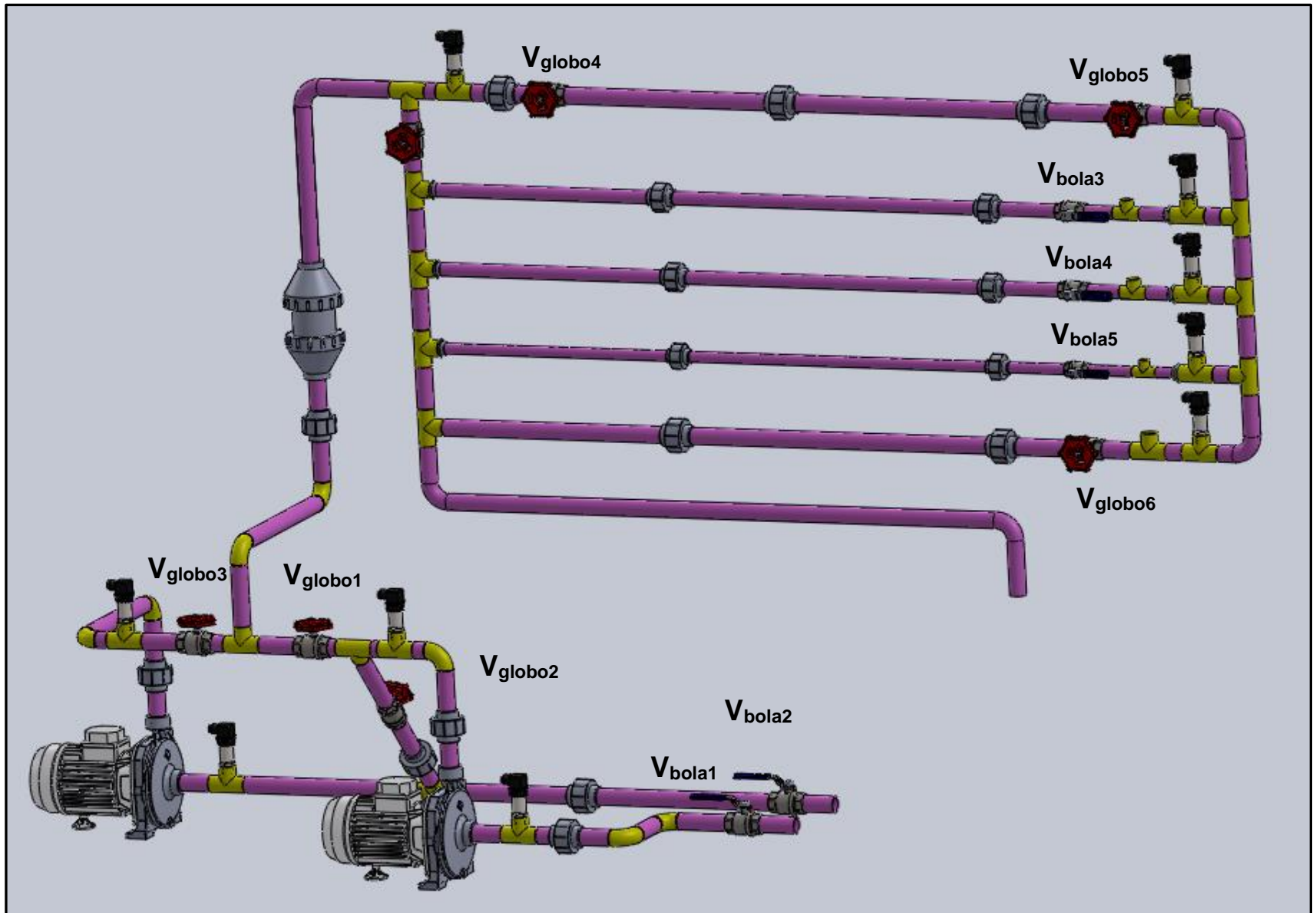
.....

.....

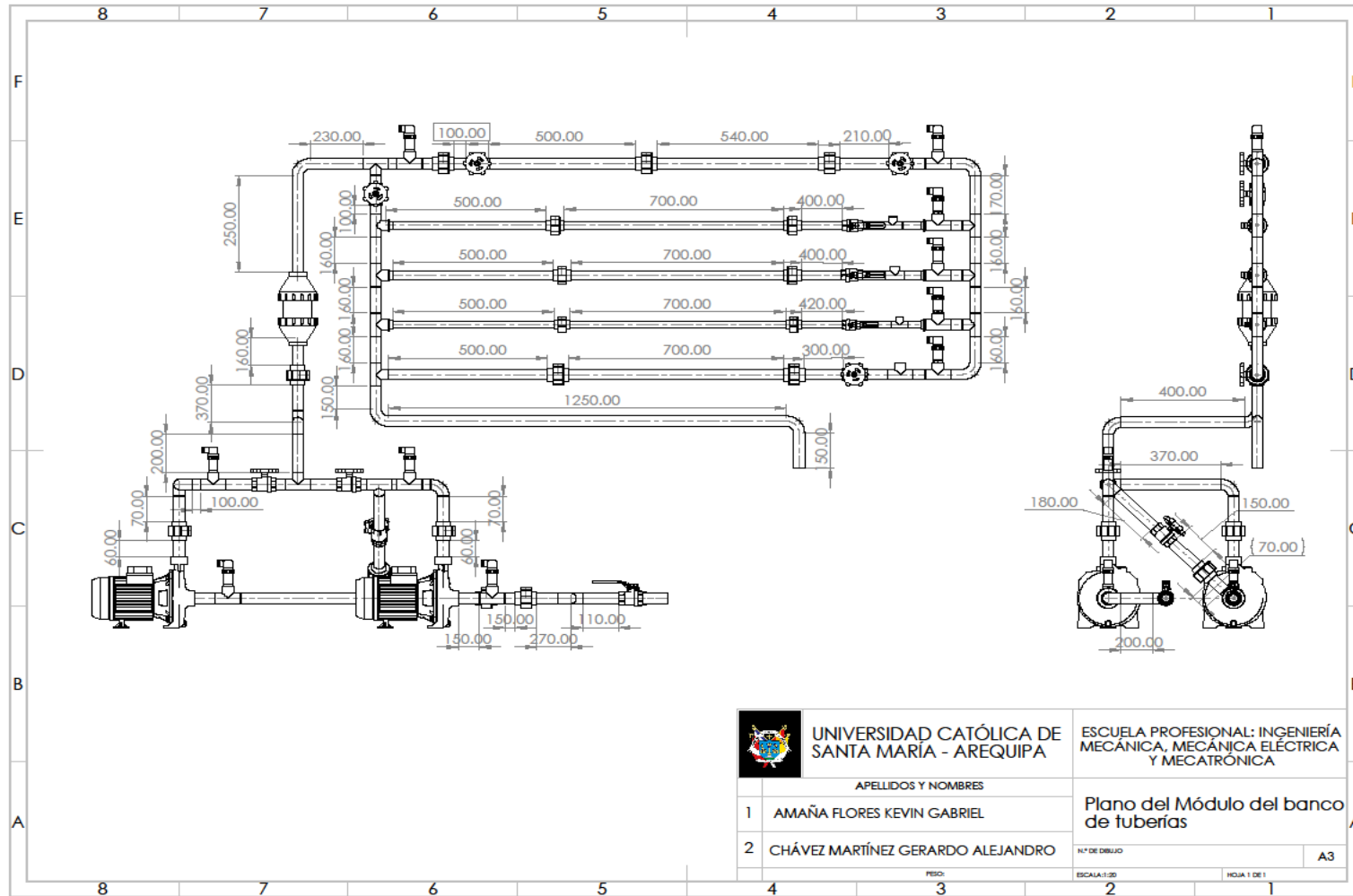
.....

.....

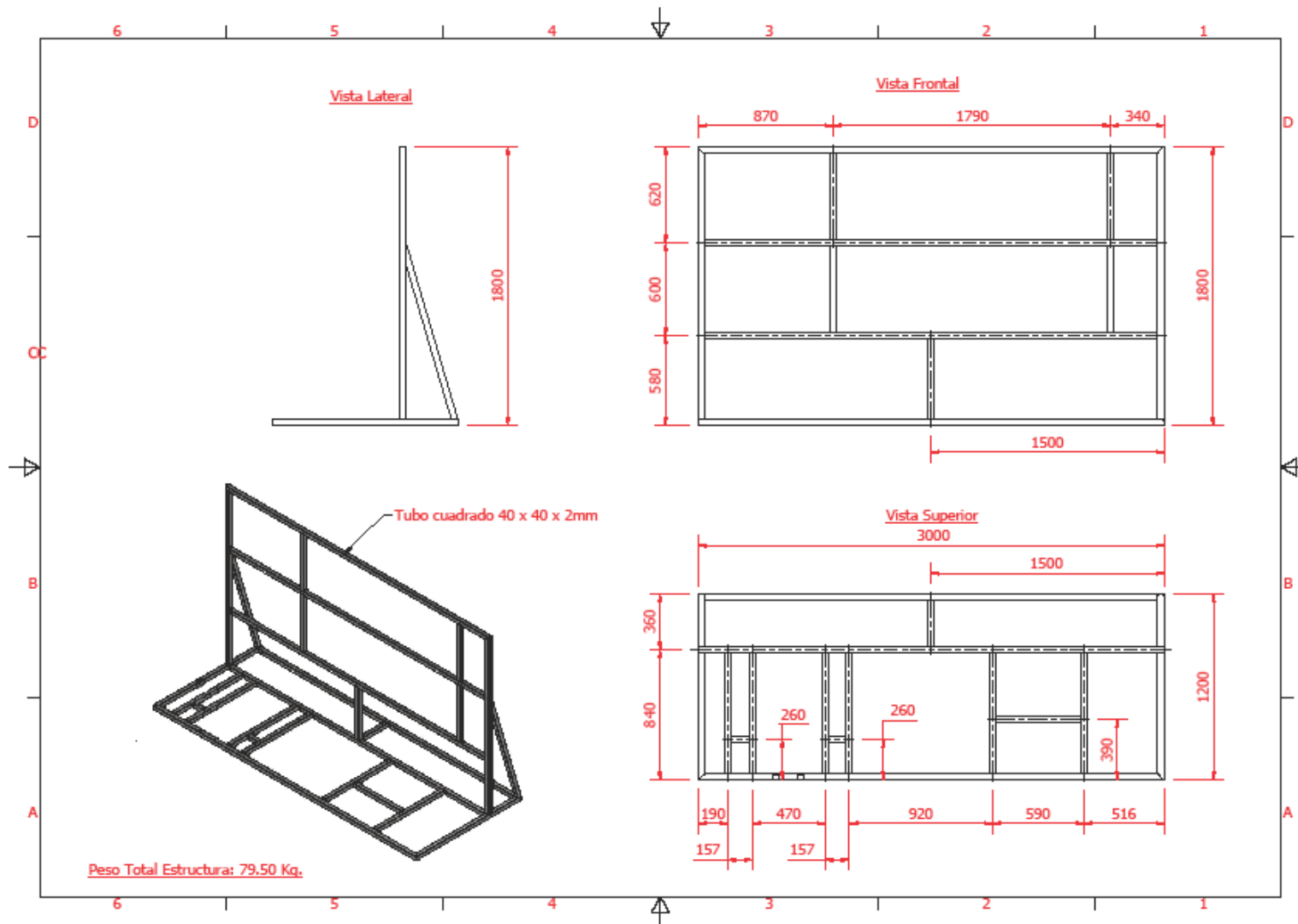
.....



B. Plano del Banco de Tuberías



C. Plano de la estructura



D. Código del software EES

```

EES Professional: D:\Gerardo\Universidad\TESIS\20230418 TESIS EES.EES - [Equations Window]
File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples
[DISEÑO DE UN MÓDULO AUTOMATIZADO PARA EL ANÁLISIS DE CAÍDA DE PRESIÓN EN UN BANCO DE TUBERÍAS]

"EL siguiente programa tendrá como finalidad obtener la altura dinámica (TDH), considerando las pérdidas primarias y secundarias.
Para ello se necesitarán datos las cuales se podrán variar si se requiere alguna modificación."

"CAUDAL Y ALTIMA SEGÚN FABRICANTE"
Q_0_Bomba=0 [m^3/s]
H_0_Bomba_serie=-14383930.24*(Q_0_Bomba)^2+2150.43*(Q_0_Bomba)+69.71

H_0_Bomba_paralelo=-1797991.28*(Q_0_Bomba)^2+537.61*(Q_0_Bomba)+34.86

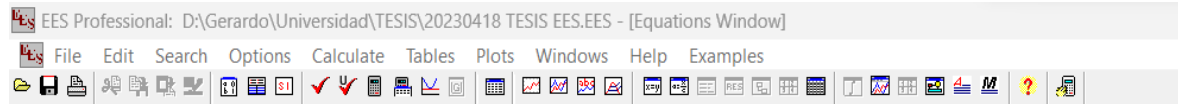
"DATOS"
//D_int_tub_pvc_1=0.0262 [m]           "Diámetro Interno de tubería de pvc de 1 pulgada"
//D_int_tub_pvc_0.75=0.0207 [m]      "Diámetro Interno de tubería de pvc de 3/4 de pulgada"
//D_int_tub_fn_0.75=0.021 [m]       "Diámetro Interno de tubería de fierro negro de 3/4 de pulgada "
//D_int_tub_pvc_0.5=0.0152 [m]      "Diámetro Interno de tubería de pvc de 1/2 pulgada"

g=9.81 [m/s^2]                       "Aceleración de la Gravedad"
rho_agua=1000 [kg/m^3]                "Densidad del Agua"
v_c=0.000001003 [m^2/s]              "Viscosidad Cinemática"
e=0.0015 [mm]                        "Rugosidad Absoluta de pvc"
e_fn=0.014 [mm]                      "Rugosidad Absoluta de fierro negro"
//Q=0.00155 [m^3/s]                 "Caudal"
H_o=0.55 [m]                         "Altura estática"

"Longitud de Trayectorias configuración en serie"
L_1_serie_pvc_1=9.33 [m]              "Longitud de la trayectoria 1 serie de 1 pulgada de pvc"
L_2_serie_pvc_1=7.57 [m]              "Longitud de la trayectoria 2 serie de 1 pulgada de pvc"
L_2_serie_pvc_0.75=1.6 [m]           "Longitud de la trayectoria 2 serie de 3/4 de pulgada de pvc"
L_3_serie_pvc_1=7.57 [m]              "Longitud de la trayectoria 3 serie de 1 depulgada de pvc"
L_3_serie_fn_0.75=1.6 [m]            "Longitud de la trayectoria 3 serie de 3/4 de pulgada de fierro negro"
L_4_serie_pvc_1=7.57 [m]              "Longitud de la trayectoria 4 serie de 1 pulgada de pvc"
L_4_serie_pvc_0.5=1.62 [m]           "Longitud de la trayectoria 4 serie de 1/2 pulgada de pvc"

"Hallando el área"
A_1=(pi*D_int_tub_pvc_1^2)/4
A_0.75=(pi*D_int_tub_pvc_0.75^2)/4
A_fn_0.75=(pi*D_int_tub_fn_0.75^2)/4
A_0.5=(pi*D_int_tub_pvc_0.5^2)/4
"Hallando Velocidad"
V_1=Q/A_1                             "Velocidad en tubería de 1 pulgada pvc"
V_2=Q/A_0.75                          "Velocidad en tubería de 3/4 de pulgada pvc"
V_3=Q/A_fn_0.75                        "Velocidad en tubería de 3/4 de pulgada de fierro negro"
V_4=Q/A_0.5                            "Velocidad en tubería de 1/2 de pulgada de pvc"

```



```

"Hallando Reynolds"
Re_pvc_1=(V_1*D_int_tub_pvc_1)/(v_c) "Reynold en la tubería de 1 pulgada de pvc"
Re_pvc_0.75=(V_2*D_int_tub_pvc_0.75)/(v_c) "Reynold en la tubería de 3/4 de pulgada de pvc"
Re_fn_0.75=(V_3*D_int_tub_fn_0.75)/(v_c) "Reynold en la tubería de 3/4 de pulgada de fierro negro"
Re_pvc_0.5=(V_4*D_int_tub_pvc_0.5)/(v_c) "Reynold en la tubería de 1/2 pulgada de pvc"

"Hallando pérdidas secundarias H_s"
k_valv_globo=8 "Factor K de válvula globo"
k_u=13 "Factor k de unión universal"
k_tee_fr=20 "Factor K de Tee de flujo recto"
k_tee_fl=1.8 "Factor k de Tee de flujo lateral"
k_codo90=30 "Factor k de codo 90°"
k_valv_bola=350 "Factor k de válvula bola"

ft_k_1=0.023 "Factor ft de tuberías de 1 pulgada"
ft_k_0.75=0.025 "Factor ft de tuberías de 3/4 de pulgada"
ft_k_0.5=0.027 "Factor ft de tuberías de 1/2 pulgada"

"SERIE"
"Trayectoria 1"
"Hallando pérdidas primarias H_f"

f=0.25/(log10((e/(D_int_tub_pvc_1*1000))/3.7+5.74/(Re_pvc_1^0.9)))^2 "Factor de fricción"

H_f=f*((L_1_serie_pvc_1)/D_int_tub_pvc_1)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas primarias (longitud de tubería)"

"# de accesorios"
//Valv_globo=5 "# Válvula globo"
//Unión_uni=10 "# Unión universal"
//Tee_fr=12 "# Tee de flujo recto"
//Tee_fl=4 "# Tee de flujo lateral"
//Codo90=12 "# Codo de 90°"
//Valv_bola=1 "# Válvula bola"

H_s_valv_globo=(k_valv_globo*ft_k_1*Valv_globo)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_u=(k_u*ft_k_1*Unión_uni)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_tee_fr=(k_tee_fr*ft_k_1*Tee_fr)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_tee_fl=(k_tee_fl*Tee_fl)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_codo90=(k_codo90*ft_k_1*Codo90)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_valv_bola=(k_valv_bola*Valv_bola*ft_k_1)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"

H_s=H_s_valv_globo+H_s_u+H_s_tee_fr+H_s_tee_fl+H_s_codo90+H_s_valv_bola "Suma de pérdidas primarias y secundarias"

TDH_1=H_s+H_f+H_o+V_1^2/(2*g) "Altura Dinámica total"

```

EES Professional: D:\Gerardo\Universidad\TESIS\20230418 TESIS EES.EES - [Equations Window]

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples

"Trayectoria 2"
"Hallando pérdidas primarias H_f"

$f_2=0.25/(\log_{10}((e/(D_{int_tub_pvc_0.75*1000}))/3.7+5.74/(Re_{pvc_0.75*0.9})))^2$ "Factor de fricción"

$H_{f_2.1}=f^*((L_2_serie_pvc_1)/D_{int_tub_pvc_1})^5*V_1^2/(2*g)$ "Pérdidas primarias (longitud de tubería)"
 $H_{f_2.2}=f_2*((L_2_serie_pvc_0.75)/D_{int_tub_pvc_0.75})^5*V_2^2/(2*g)$ "Pérdidas primarias (longitud de tubería)"
 $H_{f_total_2}=H_{f_2.1}+H_{f_2.2}$

"# de accesorios"
 //Valv_globo_2=4 "# Válvula globo de 1 pulgada"
 //Unión_uni_2=8 "# Unión universal"
 //Tee_fr_2=10 "# Tee de flujo recto"
 //Tee_fl_2=5 "# Tee de flujo lateral"
 //Codo90_2=11 "# Codo de 90°"
 //Valv_bola_2=1 "# Válvula bola de 1 pulgada"
 //Unión_uni_0.75_2=2 "# Unión universal de 3/4 de pulgada"
 //Tee_fr_0.75_2=2 "# Tee de flujo recto de 3/4 de pulgada"
 //Valv_bola_0.75_2=1 "# Válvula bola de 3/4 de pulgada"

$H_{s_valv_globo_2}=(k_{valv_globo}*ft_k_1*Valv_globo_2)^5*V_1^2/(2*g)$ "Pérdidas secundarias (accesorios)"
 $H_{s_u_2}=(k_u*ft_k_1*Unión_uni_2)^5*V_1^2/(2*g)$ "Pérdidas secundarias (accesorios)"
 $H_{s_tee_fr_2}=(k_{tee_fr}*ft_k_1*Tee_fr_2)^5*V_1^2/(2*g)$ "Pérdidas secundarias (accesorios)"
 $H_{s_tee_fl_2}=(k_{tee_fl}*ft_k_1*Tee_fl_2)^5*V_1^2/(2*g)$ "Pérdidas secundarias (accesorios)"
 $H_{s_codo90_2}=(k_{codo90}*ft_k_1*Codo90_2)^5*V_1^2/(2*g)$ "Pérdidas secundarias (accesorios)"
 $H_{s_valv_bola_2}=(k_{valv_bola}*Valv_bola_2*ft_k_1)^5*V_1^2/(2*g)$ "Pérdidas secundarias (accesorios)"
 $H_{s_u_0.75_2}=(k_u*ft_k_0.75*Unión_uni_0.75_2)^5*V_2^2/(2*g)$ "Pérdidas secundarias (accesorios)"
 $H_{s_Tee_fr_0.75_2}=(k_{tee_fr}*ft_k_0.75*Tee_fr_0.75_2)^5*V_2^2/(2*g)$ "Pérdidas secundarias (accesorios)"
 $H_{s_valv_bola_0.75_2}=(k_{valv_bola}*Valv_bola_0.75_2*ft_k_0.75)^5*V_2^2/(2*g)$ "Pérdidas secundarias (accesorios)"

$H_{s_2}=H_{s_valv_globo_2}+H_{s_u_2}+H_{s_tee_fr_2}+H_{s_tee_fl_2}+H_{s_codo90_2}+H_{s_valv_bola_2}+H_{s_u_0.75_2}+H_{s_Tee_fr_0.75_2}+H_{s_valv_bola_0.75_2}$ "Suma de pérdidas y secundarias"

$TDH_2=H_{s_2}+H_{f_total_2}+H_o+V_1^2/(2*g)$ "Altura Dinámica total"

"Trayectoria 3"
"Hallando pérdidas primarias H_f"

$f_3=0.25/(\log_{10}((e_{fn}/(D_{int_tub_fn_0.75*1000}))/3.7+5.74/(Re_{fn_0.75*0.9})))^2$ "Factor de fricción"

$H_{f_3.1}=f^*((L_3_serie_pvc_1)/D_{int_tub_pvc_1})^5*V_1^2/(2*g)$ "Pérdidas primarias (longitud de tubería)"
 $H_{f_3.2}=f_3*((L_3_serie_fn_0.75)/D_{int_tub_fn_0.75})^5*V_3^2/(2*g)$ "Pérdidas primarias (longitud de tubería)"
 $H_{f_total_3}=H_{f_3.1}+H_{f_3.2}$

EES Professional: D:\Gerardo\Universidad\TESIS\20230418 TESIS EES.EES - [Equations Window]

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples

"# de accesorios"
 //Valv_globo_3=4 "# Válvula globo de 1 pulgada"
 //Unión_uni_3=8 "# Unión universal"
 //Tee_fr_3=10 "# Tee de flujo recto"
 //Tee_fl_3=5 "# Tee de flujo lateral"
 //Codo90_3=11 "# Codo de 90°"
 //Valv_bola_3=1 "# Válvula bola de 1 pulgada"
 //Unión_uni_0.75_3=2 "# Unión universal de 3/4 de pulgada"
 //Tee_fr_0.75_3=2 "# Tee de flujo recto de 3/4 de pulgada"
 //Valv_bola_0.75_3=1 "# Válvula bola de 3/4 de pulgada"

$H_{s_valv_globo_3}=(k_{valv_globo}*ft_k_1*Valv_globo_3)^5*V_1^2/(2*g)$ "Pérdidas secundarias (accesorios)"
 $H_{s_u_3}=(k_u*ft_k_1*Unión_uni_3)^5*V_1^2/(2*g)$ "Pérdidas secundarias (accesorios)"
 $H_{s_tee_fr_3}=(k_{tee_fr}*ft_k_1*Tee_fr_3)^5*V_1^2/(2*g)$ "Pérdidas secundarias (accesorios)"
 $H_{s_tee_fl_3}=(k_{tee_fl}*ft_k_1*Tee_fl_3)^5*V_1^2/(2*g)$ "Pérdidas secundarias (accesorios)"
 $H_{s_codo90_3}=(k_{codo90}*ft_k_1*Codo90_3)^5*V_1^2/(2*g)$ "Pérdidas secundarias (accesorios)"
 $H_{s_valv_bola_3}=(k_{valv_bola}*Valv_bola_3*ft_k_1)^5*V_1^2/(2*g)$ "Pérdidas secundarias (accesorios)"
 $H_{s_u_0.75_3}=(k_u*ft_k_0.75*Unión_uni_0.75_3)^5*V_3^2/(2*g)$ "Pérdidas secundarias (accesorios)"
 $H_{s_Tee_fr_0.75_3}=(k_{tee_fr}*ft_k_0.75*Tee_fr_0.75_3)^5*V_3^2/(2*g)$ "Pérdidas secundarias (accesorios)"
 $H_{s_valv_bola_0.75_3}=(k_{valv_bola}*Valv_bola_0.75_3*ft_k_0.75)^5*V_3^2/(2*g)$ "Pérdidas secundarias (accesorios)"

$H_{s_3}=H_{s_valv_globo_3}+H_{s_u_3}+H_{s_tee_fr_3}+H_{s_tee_fl_3}+H_{s_codo90_3}+H_{s_valv_bola_3}+H_{s_u_0.75_3}+H_{s_Tee_fr_0.75_3}+H_{s_valv_bola_0.75_3}$ "Suma de pérdidas primarias y secundarias"

$TDH_3=H_{s_3}+H_{f_total_3}+H_o+V_1^2/(2*g)$ "Altura Dinámica total"

"Trayectoria 4"
"Hallando pérdidas primarias H_f"

$f_4=0.25/(\log_{10}((e/(D_{int_tub_pvc_0.5*1000}))/3.7+5.74/(Re_{pvc_0.5*0.9})))^2$ "Factor de fricción"

$H_{f_4.1}=f^*((L_4_serie_pvc_1)/D_{int_tub_pvc_1})^5*V_1^2/(2*g)$ "Pérdidas primarias (longitud de tubería)"
 $H_{f_4.2}=f_4*((L_4_serie_pvc_0.5)/D_{int_tub_pvc_0.5})^5*V_4^2/(2*g)$ "Pérdidas primarias (longitud de tubería)"
 $H_{f_total_4}=H_{f_4.1}+H_{f_4.2}$

EES Professional: D:\Gerardo\Universidad\TESIS\20230418 TESIS EES.EES - [Equations Window]

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples

de accesorios
//Valv_globo_4=4 "# Válvula globo de 1 pulgada"
//Unión_uni_4=8 "# Unión universal"
//Tee_fr_4=10 "# Tee de flujo recto"
//Tee_fl_4=5 "# Tee de flujo lateral"
//Codo90_4=11 "# Codo de 90°"
//Valv_bola_4=1 "# Válvula bola de 1 pulgada"
//Unión_uni_0.5_4=2 "# Unión universal de 3/4 de pulgada"
//Tee_fr_0.5_4=2 "# Tee de flujo recto de 3/4 de pulgada"
//Valv_bola_0.5_4=1 "# Válvula bola de 3/4 de pulgada"

H_s_valv_globo_4=(k_valv_globo*ft_k_1*Valv_globo_4)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_u_4=(k_u*ft_k_1*Unión_uni_4)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_tee_fr_4=(k_tee_fr*ft_k_1*Tee_fr_4)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_tee_fl_4=(k_tee_fl*Tee_fl_4)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_codo90_4=(k_codo90*ft_k_1*Codo90_4)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_valv_bola_4=(k_valv_bola*Valv_bola_4*ft_k_1)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_u_0.5_4=(k_u*ft_k_0.5*Unión_uni_0.5_4)*V_4^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_Tee_fr_0.5_4=(k_tee_fr*ft_k_0.5*Tee_fr_0.5_4)*V_4^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_valv_bola_0.5_4=(k_valv_bola*Valv_bola_0.5_4*ft_k_0.5)*V_4^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"

H_s_4=H_s_valv_globo_4+H_s_u_4+H_s_tee_fr_4+H_s_tee_fl_4+H_s_codo90_4+H_s_valv_bola_4+H_s_u_0.5_4+H_s_Tee_fr_0.5_4+H_s_valv_bola_0.5_4 "Suma de pérdidas primarias y secundarias"

TDH_4=H_s_4+H_f_total_4+H_o+V_1^2/(2*g) "Altura Dinámica total"

"PARALELO"
"Longitud de Trayectorias configuración en serie"
L_1_paralelo_pvc_1=9.85 [m] "Longitud de la trayectoria 1 serie de 1 pulgada de pvc"
L_2_paralelo_pvc_1=8.22 [m] "Longitud de la trayectoria 2 serie de 1 pulgada de pvc"
L_2_paralelo_pvc_0.75=1.6 [m] "Longitud de la trayectoria 2 serie de 3/4 de pulgada de pvc"
L_3_paralelo_pvc_1=8.22[m] "Longitud de la trayectoria 3 serie de 1 depulgada de pvc"
L_3_paralelo_fm_0.75=1.6 [m] "Longitud de la trayectoria 3 serie de 3/4 de pulgada de fierro negro"
L_4_paralelo_pvc_1=8.22 [m] "Longitud de la trayectoria 4 serie de 1 pulgada de pvc"
L_4_paralelo_pvc_0.5=1.62 [m] "Longitud de la trayectoria 4 serie de 1/2 pulgada de pvc"

EES Professional: D:\Gerardo\Universidad\TESIS\20230418 TESIS EES.EES - [Equations Window]

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples

"Trayectoria 1"
"Hallando pérdidas primarias H_f"

f_paralelo=0.25/(log10((e/(D_int_tub_pvc_1*1000))/3.7+5.74/(Re_pvc_1^0.9)))^2 "Factor de fricción"
H_f_paralelo=f*((L_1_paralelo_pvc_1)/D_int_tub_pvc_1)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas primarias (longitud de tubería)"

de accesorios
//Valv_globo_paralelo=5 "# Válvula globo"
//Unión_uni_paralelo=10 "# Unión universal"
//Tee_fr_paralelo=14 "# Tee de flujo recto"
//Tee_fl_paralelo=2 "# Tee de flujo lateral"
//Codo90_paralelo=12 "# Codo de 90°"
//Valv_bola_paralelo=2 "# Válvula bola"

H_s_valv_globo_paralelo=(k_valv_globo*ft_k_1*Valv_globo_paralelo)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_u_paralelo=(k_u*ft_k_1*Unión_uni_paralelo)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_tee_fr_paralelo=(k_tee_fr*ft_k_1*Tee_fr_paralelo)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_tee_fl_paralelo=(k_tee_fl*Tee_fl_paralelo)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_codo90_paralelo=(k_codo90*ft_k_1*Codo90_paralelo)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_valv_bola_paralelo=(k_valv_bola*Valv_bola_paralelo*ft_k_1)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"

H_s_paralelo=H_s_valv_globo_paralelo+H_s_u_paralelo+H_s_tee_fr_paralelo+H_s_tee_fl_paralelo+H_s_codo90_paralelo+H_s_valv_bola_paralelo "Suma de pérdidas primarias y secundarias"

TDH_1_paralelo=H_s_paralelo+H_f_paralelo+H_o+V_1^2/(2*g) "Altura Dinámica total"

"Trayectoria 2"
"Hallando pérdidas primarias H_f"

f_2_paralelo=0.25/(log10((e/(D_int_tub_pvc_0.75*1000))/3.7+5.74/(Re_pvc_0.75^0.9)))^2 "Factor de fricción"

H_f_2.1_paralelo=f*((L_2_paralelo_pvc_1)/D_int_tub_pvc_1)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas primarias (longitud de tubería)"
H_f_2.2_paralelo=f_2*((L_2_paralelo_pvc_0.75)/D_int_tub_pvc_0.75)*V_2^2/(2*g) "Pérdidas primarias (longitud de tubería)"
H_f_total_2_paralelo=H_f_2.1_paralelo+H_f_2.2_paralelo

```
EES Professional: D:\Gerardo\Universidad\TESIS\20230418 TESIS EES.EES - [Equations Window]
File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples
# de accesorios
//Valv_globo_3_paralelo=4 "# Válvula globo de 1 pulgada"
//Unión_uni_3_paralelo=8 "# Unión universal"
//Tee_fr_3_paralelo=12 "# Tee de flujo recto"
//Tee_fl_3_paralelo=3 "# Tee de flujo lateral"
//Codo90_3_paralelo=11 "# Codo de 90°"
//Valv_bola_3_paralelo=2 "# Válvula bola de 1 pulgada"
//Unión_uni_0.75_3_paralelo=2 "# Unión universal de 3/4 de pulgada"
//Tee_fr_0.75_3_paralelo=2 "# Tee de flujo recto de 3/4 de pulgada"
//Valv_bola_0.75_3_paralelo=1 "# Válvula bola de 3/4 de pulgada"

H_s_valv_globo_3_paralelo=(k_valv_globo*ft_k_1*Valv_globo_3_paralelo)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_u_3_paralelo=(k_u*ft_k_1*Unión_uni_3_paralelo)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_tee_fr_3_paralelo=(k_tee_fr*ft_k_1*Tee_fr_3_paralelo)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_tee_fl_3_paralelo=(k_tee_fl*ft_k_1*Tee_fl_3_paralelo)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_codo90_3_paralelo=(k_codo90*ft_k_1*Codo90_3_paralelo)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_valv_bola_3_paralelo=(k_valv_bola*Valv_bola_3_paralelo*ft_k_1)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_u_0.75_3_paralelo=(k_u*ft_k_0.75*Unión_uni_0.75_3_paralelo)*V_3^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_tee_fr_0.75_3_paralelo=(k_tee_fr*ft_k_0.75*Tee_fr_0.75_3_paralelo)*V_3^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_valv_bola_0.75_3_paralelo=(k_valv_bola*Valv_bola_0.75_3_paralelo*ft_k_0.75)*V_3^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"

H_s_3_paralelo=H_s_valv_globo_3_paralelo+H_s_u_3_paralelo+H_s_tee_fr_3_paralelo+H_s_tee_fl_3_paralelo+H_s_codo90_3_paralelo+H_s_valv_bola_3_paralelo+H_s_u_0.75_3_paralelo+H_s_tee_fr_0.75_3_paralelo+H_s_valv_bola_0.75_3_paralelo
"Suma de pérdidas secundarias"

TDH_3_paralelo=H_s_3_paralelo+H_f_total_3_paralelo+H_o+V_1^2/(2*g) "Altura Dinámica total"
```

```
EES Professional: D:\Gerardo\Universidad\TESIS\20230418 TESIS EES.EES - [Equations Window]
File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples
"Trayectoria 4"
"Hallando pérdidas primarias H_f"

f_4_paralelo=0.25/(log10((e/(D_int_tub_pvc_0.5*1000)))/3.7+5.74/(Re_pvc_0.5*0.9)))^2 "Factor de fricción"

H_f_4.1_paralelo=f_4_paralelo*(L_4_paralelo_pvc_1)*D_int_tub_pvc_1)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas primarias (longitud de tubería)"
H_f_4.2_paralelo=f_4_paralelo*(L_4_paralelo_pvc_0.5)*D_int_tub_pvc_0.5)*V_4^2/(2*g) "Pérdidas primarias (longitud de tubería)"
H_f_total_4_paralelo=H_f_4.1_paralelo+H_f_4.2_paralelo

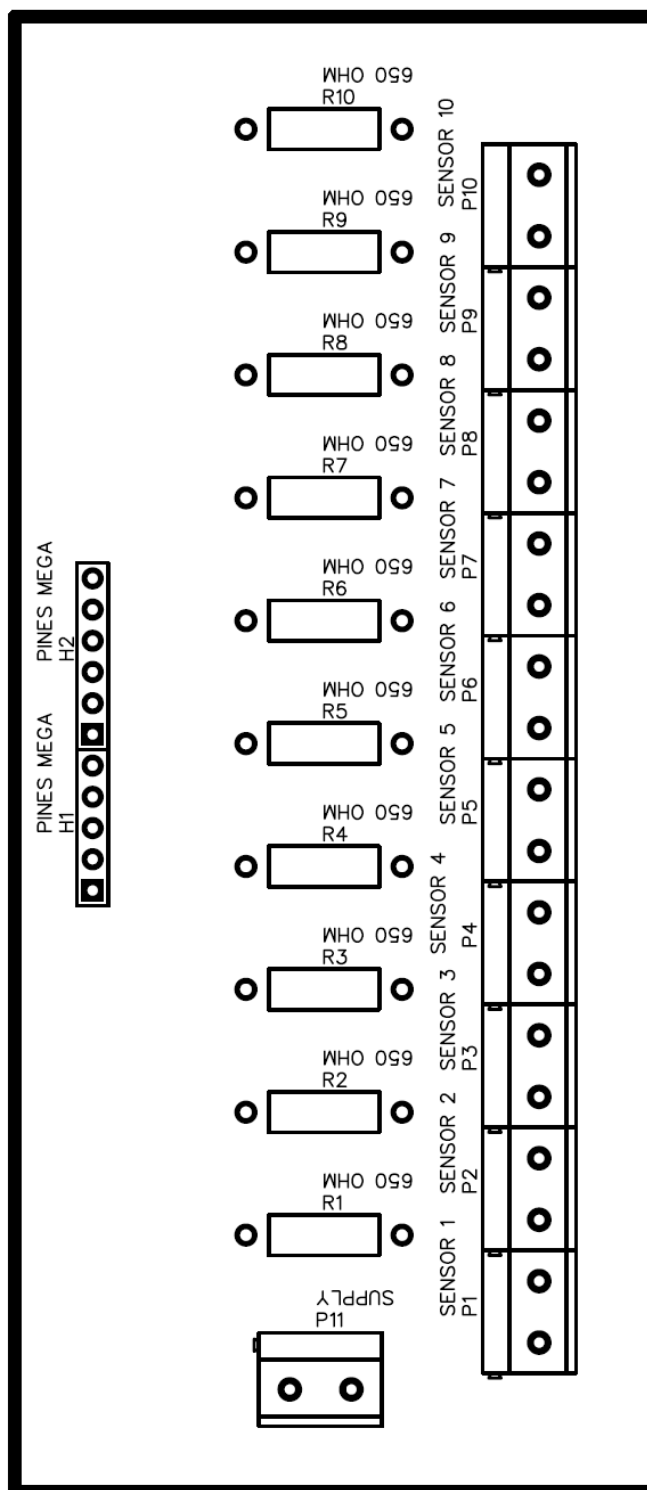
# de accesorios
//Valv_globo_4_paralelo=4 "# Válvula globo de 1 pulgada"
//Unión_uni_4_paralelo=8 "# Unión universal"
//Tee_fr_4_paralelo=12 "# Tee de flujo recto"
//Tee_fl_4_paralelo=3 "# Tee de flujo lateral"
//Codo90_4_paralelo=11 "# Codo de 90°"
//Valv_bola_4_paralelo=2 "# Válvula bola de 1 pulgada"
//Unión_uni_0.5_4_paralelo=2 "# Unión universal de 3/4 de pulgada"
//Tee_fr_0.5_4_paralelo=2 "# Tee de flujo recto de 3/4 de pulgada"
//Valv_bola_0.5_4_paralelo=1 "# Válvula bola de 3/4 de pulgada"

H_s_valv_globo_4_paralelo=(k_valv_globo*ft_k_1*Valv_globo_4_paralelo)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_u_4_paralelo=(k_u*ft_k_1*Unión_uni_4_paralelo)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_tee_fr_4_paralelo=(k_tee_fr*ft_k_1*Tee_fr_4_paralelo)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_tee_fl_4_paralelo=(k_tee_fl*ft_k_1*Tee_fl_4_paralelo)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_codo90_4_paralelo=(k_codo90*ft_k_1*Codo90_4_paralelo)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_valv_bola_4_paralelo=(k_valv_bola*Valv_bola_4_paralelo*ft_k_1)*V_1^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_u_0.5_4_paralelo=(k_u*ft_k_0.5*Unión_uni_0.5_4_paralelo)*V_4^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_tee_fr_0.5_4_paralelo=(k_tee_fr*ft_k_0.5*Tee_fr_0.5_4_paralelo)*V_4^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"
H_s_valv_bola_0.5_4_paralelo=(k_valv_bola*Valv_bola_0.5_4_paralelo*ft_k_0.5)*V_4^2/(2*g) "Pérdidas secundarias (accesorios)"

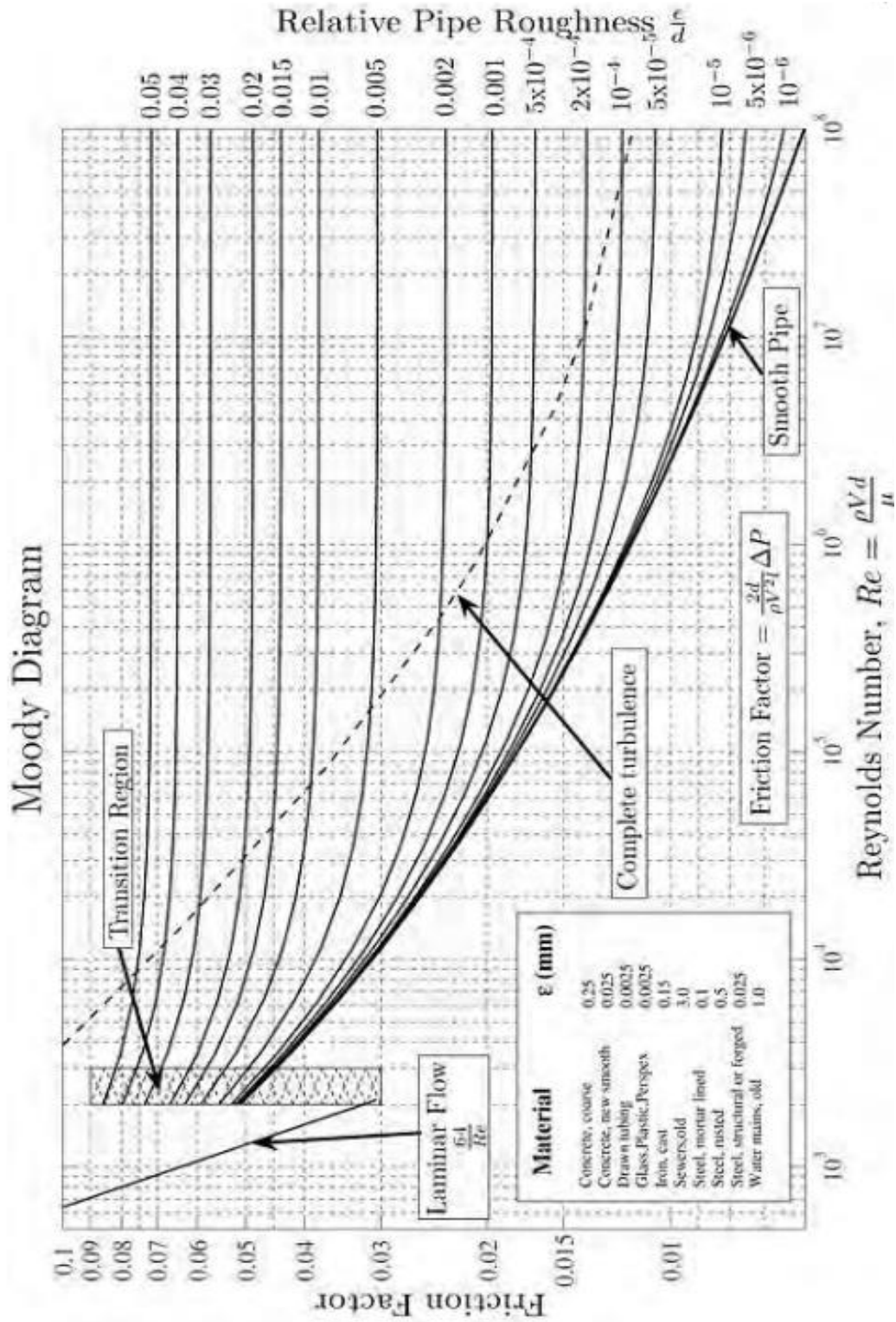
H_s_4_paralelo=H_s_valv_globo_4_paralelo+H_s_u_4_paralelo+H_s_tee_fr_4_paralelo+H_s_tee_fl_4_paralelo+H_s_codo90_4_paralelo+H_s_valv_bola_4_paralelo+H_s_u_0.5_4_paralelo+H_s_tee_fr_0.5_4_paralelo+H_s_valv_bola_0.5_4_paralelo
"Suma de pérdidas primarias y secundarias"

TDH_4_paralelo=H_s_4_paralelo+H_f_total_4_paralelo+H_o+V_1^2/(2*g) "Altura Dinámica total"
```

E. Plano de la placa del conexionado de los transmisores de presión



F. Diagrama de Moody



G. Ficha Técnica de Bomba ACM-75-Leo

ACm

Bomba Centrífuga



Aplicación

- Puede utilizarse para transferir agua u otros líquidos similares al agua en cuanto a propiedades físicas y químicas
- Adecuado para uso industrial y suministro de agua urbana, aumento de presión para edificios altos y extinción de incendios, riego de jardines, transferencia de agua a larga distancia, ventilación de calefacción y control de aire, aumento de la circulación y presión para agua fría y caliente, y sistemas hidroneumáticos, etc.

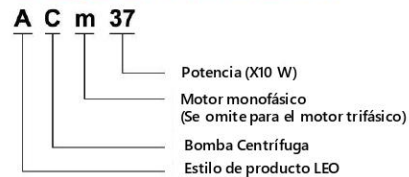
Bomba

- Cuerpo y soporte de la bomba de hierro fundido con tratamiento especial anticorrosivo
- Eje AISI 304
- Temperatura máxima del líquido: +60°C.
- Aspiración máxima: +8 m

Motor

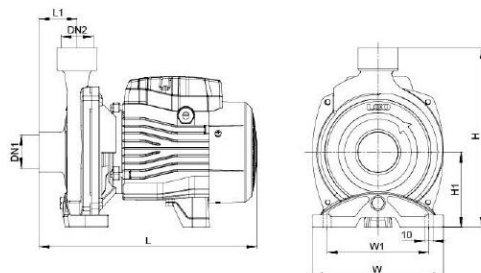
- Rodamiento C&U
- Protector térmico incorporado para motor monofásico
- Clase de aislamiento: F
- Clase de protección: IPX4
- Temperatura ambiente máxima: +40

Códigos de identificación



Datos técnicos

MODELO	POTENCIA		Q (m ³ /h)	Q (l/min)																	
	kW	HP		0	0.6	0.9	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	4.5	4.8	5.4	6.0	6.6	7.2	7.8	8.4	9.0
ACm37	0.37	0.5	H (m)	23	21.5	21	21	20.5	19.5	18	17	15.5	14.5	14	12	-	-	-	-	-	-
ACm60	0.6	0.8		27	26.5	26.2	26	25	24.5	22.5	20	17	15.5	14	10	-	-	-	-	-	-
ACm75	0.75	1.0		36	35	34	33.5	33	32	31	29	27	26	23.5	20	16	-	-	-	-	-
ACm110	1.1	1.5		40	39	38	38	37.5	37	36	35	33	32	31	29	26	23	20	-	-	-
ACm150	1.5	2		48	47.5	47	46.5	45.5	44.5	43.5	42.5	41.5	41	40.5	39	37	34.5	31	27	22	-



Dimensión

MODELO	DN1	DN2	L (mm)	W (mm)	H (mm)	L ₁ (mm)	W ₁ (mm)	H ₁ (mm)
ACm37			270	157	216	42	122	90
ACm60	1"	1"	298	190	240	44	160	90
ACm75			298	190	240	44	160	100
ACm110	1 1/4"	1"	359	206	263	50	178	112
ACm150			360	240	286	51	207	115

Curvas de rendimiento hidráulico

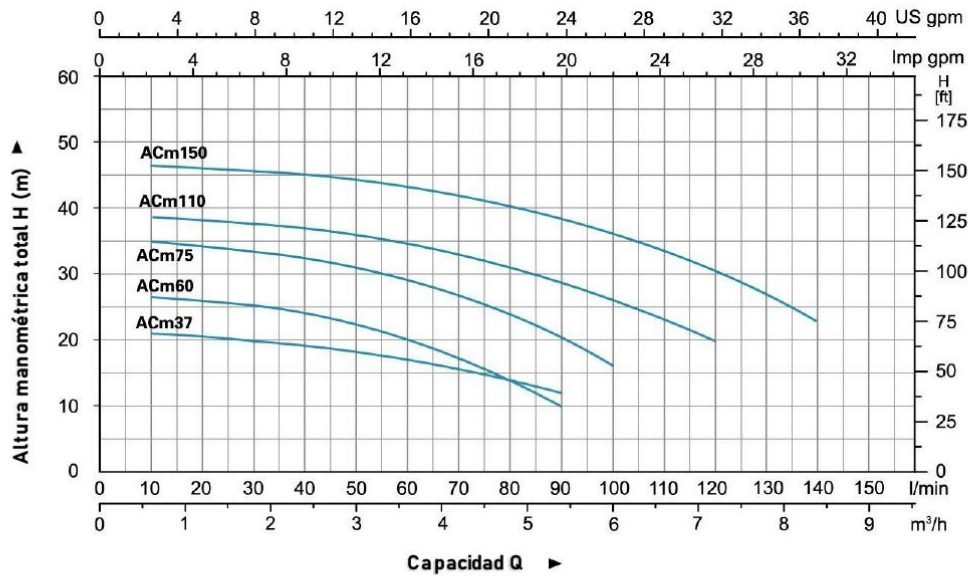
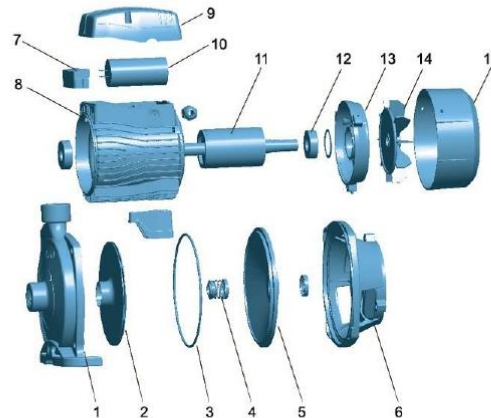


Tabla de materiales

No.	Pieza	Material
1	Cuerpo de la bomba	HT200
2	Impulsor	AlSi 304
3	Junta tórica	NBR
4	Gerre mecánico	
5	Tapa de soporte	HT200/AISI 304
6	Soporte	ZL102
7	Tablero de bornes	PC
8	Estator	
9	Caja de terminales	ABS
10	Condensador	
11	Rotor	
12	Rodamiento	
13	Cubierta trasera	ZL102
14	Ventilador	PP
15	Tapa del ventilador	PP



Información del paquete

MODELO	GW (Kgs)	L (mm)	W (mm)	H (mm)	Cantidad (PCS/20' TEU)
ACm37	8.4	290	185	239	2124
ACm60	11.5	333	215	260	1384
ACm75	13.4	333	215	260	1384
ACm110	18.45	383	233	287	987
ACm150	22.8	425	285	310	770

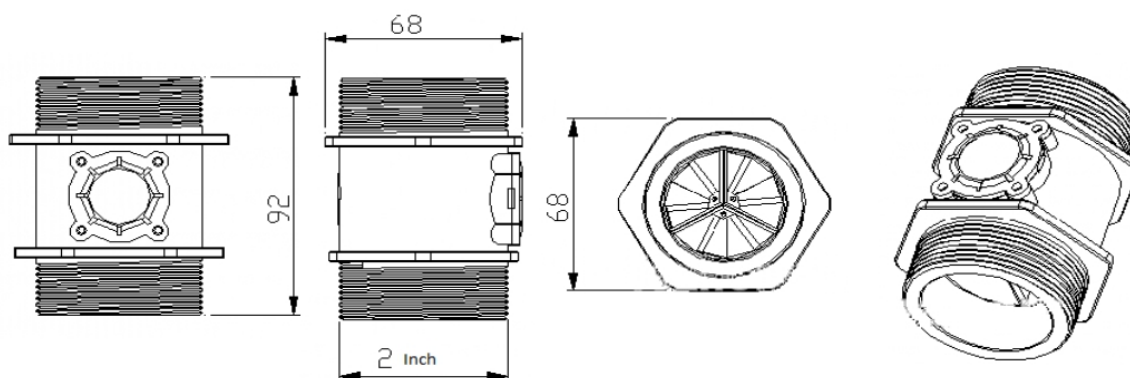


ACm

30

H. Ficha técnica – Sensor de Caudal

Water Flow Meter YF-DN50 - Technical Parameters		
	Range of application	
1	Minimum rated operating voltage.	DC 5V
2	Maximum operating current.	15mA (DC 5V)
3	Operating voltage range.	DC5 ~ 18V
4	Load capacity.	≤10mA (DC 5V)
5	Using temperature range.	≤80°C
6	Use humidity scope.	35%~90%RH (Frost free condition)
7	Operating pressure.	> 2.0MPA (Burst Pressure > 3.5MPA)
8	Storage temperature.	-25~+80°C
9	Storage Relative Humidity.	25%~95%RH
10	Output pulse high level.	>DC 4.5 V (input voltage DC 5 V)
11	Output pulse low level.	<DC 0.5 V (input voltage DC 5 V)
12	Accuracy (Flow rate - pulse output).	10-300L/min ±3%
13	Output pulse duty ratio.	50±10%
14	Output Rise Time.	0.04μs
15	Output Fall Time.	0.18μs
16	Flow-pulse characteristic.	Horizontal test pulse frequency (Hz)=[0.2 * Q] ±3%(horizontal test) (Q=L/min)
17	Impact resistance.	The product is well packed and falls freely from the X, Y and Z directions of 50cm height to the concrete surface without any abnormality.
18	Insulation resistance.	Insulation resistance between hall sensor and copper valve body 100MΩ (DC 500V)
19	High Temperature resistance.	In the environment of 80°C for 48hrs, return to room temperature for 1 to 2 hrs without exception, no crack, relaxation and parts, expansion and deformation phenomenon, change within 10%
20	low temperature resistance.	In the environment of -20 °C for 48hrs, no abnormality was found in the return temperature of 1 to 2hrs, and the parts were free from cracks, looseness and deformation, and the accuracy was within 10%
21	Moisture-proof.	In 40°C, relative humidity 90% ~ 95% RH environment output
22	Pull strength.	The pulling force of 10N is applied on the drawing line for 1 minute, no looseness, break and performance change.
23	Durability.	At room temperature, from the inlet to the 0.1 MPa water pressure, to get through 1 Sec, disconnect 0.5 Sec for a cycle, to test 300,000 times without exception.



I. Ficha técnica del transmisor de presión

SS305 series version Q12.19.D04 Sendo Sensor™ | Live for the sensor www.pressuresensorsuppliers.com

SS305 series piezoresistive pressure transmitters for severe industrial environments

Features

- CE conformity
- 4*F.S. to 6*F.S. high overload
- Stainless steel 316L wetted parts
- All stainless steel integrated structure
- Piezoresistive pressure sensor, oil filled
- Output signals: 4-20mA and voltage output
- Enhanced anti-interference and surge protection
- Pressure from 0.1bar up to 60 bar in gauge or absolute
- Resistant to cavitation, liquid hammer and pressure peaks



Descriptions

SS305 series high overload pressure transmitters are a portfolio of highly configurable pressure sensors that use piezoresistive sensing technology, meet the high overload protection demand and are suitable for almost all types of severe industrial applications.

SS305 series is an improved pressure transmitter based on SS302 series, all stainless steel integrated structure, a special designed pressure transducer is laser welded with the housing, no elastic component is used in side, no O-ring, no leaking problems.

SS305 series is fully calibrated and compensated for offset, sensitivity, temperature effects and non-linearity, is a precise pressure measurement solution that optimizes system performance at a competitive cost, numerous standard or custom connectors, ports, pressure ranges and types, and output signal options. With the special designed transducer and signal conditioning circuit, the transmitter offer more than 4 f.s. high overload, this feature makes the sensor is perfect for the hydraulic applications especially for the water treatment market.

Technical data

Performance (EN 60770)

Accuracy @25°C	±0.5% F.S. (incl. non-linearity, hysteresis and repeatability)
Non-linearity BFSL (conformity)	±0.3% F.S.
Hysteresis and repeatability	±0.1% F.S.
Response time	< 4 ms
Pressure range	0...0.1bar to 60bar(positive pressure) -1...0bar, -0.1...0bar(negative pressure) -1...3bar, -1...15bar(compound pressure)
Overload pressure	6.0 × F.S.
Pressure type	vented gauge, sealed gauge, absolute
Long term stability	≤0.2%F.S./Year
Temperature coefficient	±0.03%F.S./°C

Sendo Sensor | ISO9001:2008 Page 4 - 1 www.sendo-sensor.com
Unified Social Credit Identifier: 91330226557963373F Registered Address: Bldg. 1#1108, Wante business center, Hi-Tech, 315040 China

SS305 series version Q12.19.D04

Sendo Sensor™ | Live for the sensor

www.pressuresensorsuppliers.com

SS305 series piezoresistive pressure transmitters for severe industrial environments

Electrical specifications

Output signal	4-20mA	0-10V	0-5V/0.5-4.5V	0.5-4.5V
Supply voltage	9-30Vdc	12-30Vdc	9-30Vdc	5Vdc
Polarity protected	yes	yes	yes	yes
Short-circuit protected	yes	yes	yes	yes
Zero and span adjustment	No	No	No	No
Surge protection	yes	yes	yes	yes

Environmental conditions

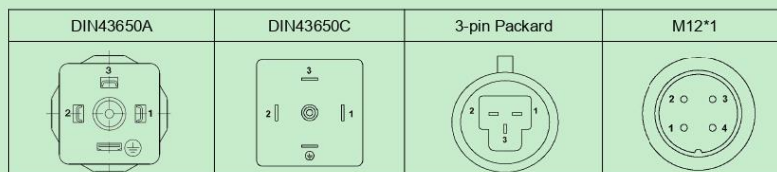
Medium temp range	-40°C → +100°C
Ambient temp range	-20°C → +80°C (depending on electrical connection)
Compensated temp range	0°C → +70°C
EMC - Emission	EN 61000-6-3
EMC - Immunity	EN 61000-6-1
Insulation resistance	>100 MΩ at 250 V

Mechanical characteristics

Materials	Diaphragm	Stainless steel 316L (typical)	More options see Page 4
	Housing	Stainless steel 304 (typical)	Stainless steel 316L (optional)
	Pressure connection	Stainless steel 316L (typical)	More options see Page 4
	Electrical connection	PA66 (typical)	
Pressure connection	See Ordering information in page 4		
Electrical connection	DIN43650A, DIN43650C, Direct cable, M12*1, LED Display, BP3		
Weight	150-300g (depending on pressure connection and electrical connection)		
Sealing rating	IP 65 (fulfilled together with mating connector)		

Electrical connections

	PIN connections (DIN43650A, DIN43650C, 3-pin Packard, M12*1)		Wire connections
4-20mA Current output signal (2 wire)	Pin 1: + supply Pin 3: Not used	Pin 2: + output Earth: Not connected	Red: + supply Black: + output
0-10V, 0-5V, 0.5-4.5V Voltage output signal (3 wire)	Pin 1: + supply Pin 3: + output	Pin 2: GND Earth: Not connected	Red: + supply Black: GND Blue: + output



Sendo Sensor | ISO9001:2008

Page 4 - 2

www.sendo-sensor.com

Unified Social Credit Identifier: 91330226557963373F Registered Address: Bldg. 1#1108, Wante business center, Hi-Tech, 315040 China

SS305 series version Q12.19.D04

Sendo Sensor™ | Live for the sensor

www.pressuresensorsuppliers.com

SS305 series piezoresistive pressure transmitters for severe industrial environments

Dimensions(Unit: mm)

Electrical connections			
DIN43650A	DIN43650C	BP3	
Direct cable	M12*1	LED display	
Housings			
Housing(typical)	Housing(Optional)		
Pressure connections			
G1/2" thread	G1/4" thread	G1/8" thread	
1/2"NPT thread	1/4"NPT thread	1/8"NPT thread	

Sendo Sensor | ISO9001:2008

Page 4 -3

www.sendo-sensor.com

Unified Social Credit Identifier: 91330226557963373F Registered Address: Bldg. 1#1108, Wante business center, Hi-Tech, 315040 China

SS305 series version Q12.19.D04 Sendo Sensor™ | Live for the sensor www.pressuresensorsuppliers.com

SS305 series piezoresistive pressure transmitters for severe industrial environments

Ordering information

EXAMPLE: [SS305 PJ 01 A 04 A 06](#)

1	Pressure range(bar) NA(-1...0) NB(-0.7...0) NC(-0.35...0) ND(-0.2...0) NE(-0.1...0) PA(0.1) PB(0.2) PC(0.35) PD(0.7) PE(1.0) PF(1.6) PG(2.5) PH(4.0) PI(6.0) PJ(10) PK(16) PL(25) PM(40) PN(60) CA(-1...0.6) CB(-1...1.5) CC(-1...3) CD(-1...5) CE(-1...9) CF(-1...15) CG(-1...24) X(Other pressure range or unit is on request)	PJ
2	Pressure type 01(Gauge) 02(Absolute)	01
3	Electrical connection A(DIN43650A) B(Direct cable) C(M12*1) D(LED Display) E(DIN43650C) F(BP3)	A
4	Pressure connection 01(1/4"NPT) 02(1/2"NPT) 03(1/8"NPT) 04(G1/4") 05(G1/2") 06(G1/8") 07(PT1/4") 08(PT1/2") 09(PT1/8") 10(Other pressure connection is on request)	04
5	Signal & supply A(4-20mA & 9-30Vdc) B(0-10V & 12-30Vdc) C(0-5V & 9-30Vdc) D(0.5-4.5V & 9-30Vdc) E(0.5-4.5V & 5Vdc)	A
6	Cable length 01(1m) 02(2m) 03(3m) 04(4m) 05(5m) 06(None) 07(Other length is on request)	06

Optional(please contact us for more details)

1	Pulse snubber A(YES) B(NO)
2	Material of diaphragm 01(Titanium) 02(Tantalum) 03(Hastelloy-C)
3	Material of pressure connection A(Titanium) B(Tantalum) C(Hastelloy-C)

Contact us

Company	Ningbo Sendo Electronic Technology CO., LTD	
Email	sales@sendo-sensor.com	
Email	cain.chen@sendo-sensor.com	
Factory	Floor 5, building 2, no.48 jiujuan road, jianggan district, 310019 China	
Office	Building. 1#1108, Wante business center, Hi-Tech, 315040 China	
Website	http://www.pressuresensorsuppliers.com	http://www.sendo-sensor.com
Skype: sendosensor	We Chat: chenjie4884	WhatsApp: +8613616574884
Tel: 0086-0574-27725960	Fax: 0086-0574-27725970	Phone: 0086-13616574884

*Specifications subject to change without notice, the latest date sheet please contact: sales@sendo-sensor.com

J. Ficha técnica del Arduino Mega 2560



Arduino® MEGA 2560 Rev3

Product Reference Manual
SKU: A000067



Description

Arduino® Mega 2560 is an exemplary development board dedicated for building extensive applications as compared to other maker boards by Arduino. The board accommodates the ATmega2560 microcontroller, which operates at a frequency of 16 MHz. The board contains 54 digital input/output pins, 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button.

Target Areas

3D Printing, Robotics, Maker



Features

- **ATmega2560 Processor**
 - Up to 16 MIPS Throughput at 16MHz
 - 256k bytes (of which 8k is used for the bootloader)
 - 4k bytes EEPROM
 - 8k bytes Internal SRAM
 - 32 × 8 General Purpose Working Registers
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Four 8-bit PWM Channels
 - Four Programmable Serial USART
 - Controller/Peripheral SPI Serial Interface
- **ATmega16U2**
 - Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
 - 16k bytes ISP Flash Memory
 - 512 bytes EEPROM
 - 512 bytes SRAM
 - USART with SPI master only mode and hardware flow control (RTS/CTS)
 - Master/Slave SPI Serial Interface
- **Sleep Modes**
 - Idle
 - ADC Noise Reduction
 - Power-save
 - Power-down
 - Standby
 - Extended Standby
- **Power**
 - USB Connection
 - External AC/DC Adapter
- **I/O**
 - 54 Digital
 - 16 Analog
 - 15 PWM Output



Arduino® MEGA 2560 Rev3

2 Ratings

2.1 Recommended Operating Conditions

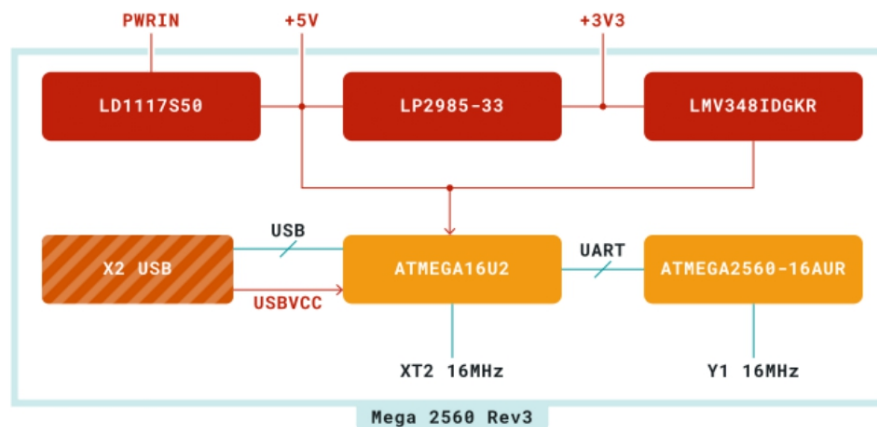
Symbol	Description	Min	Max
TOP	Operating temperature:	-40 °C	85 °C

2.2 Power Consumption

Symbol	Description	Min	Typ	Max	Unit
PWRIN	Input supply from power jack		TBC		mW
USB VCC	Input supply from USB		TBC		mW
VIN	Input from VIN pad		TBC		mW

3 Functional Overview

3.1 Block Diagram



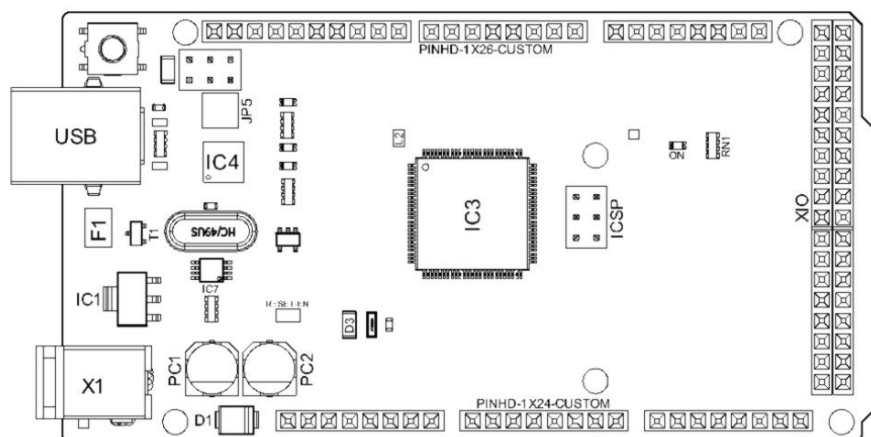
Arduino MEGA Block Diagram



Arduino® MEGA 2560 Rev3

3.2 Board Topology

Front View

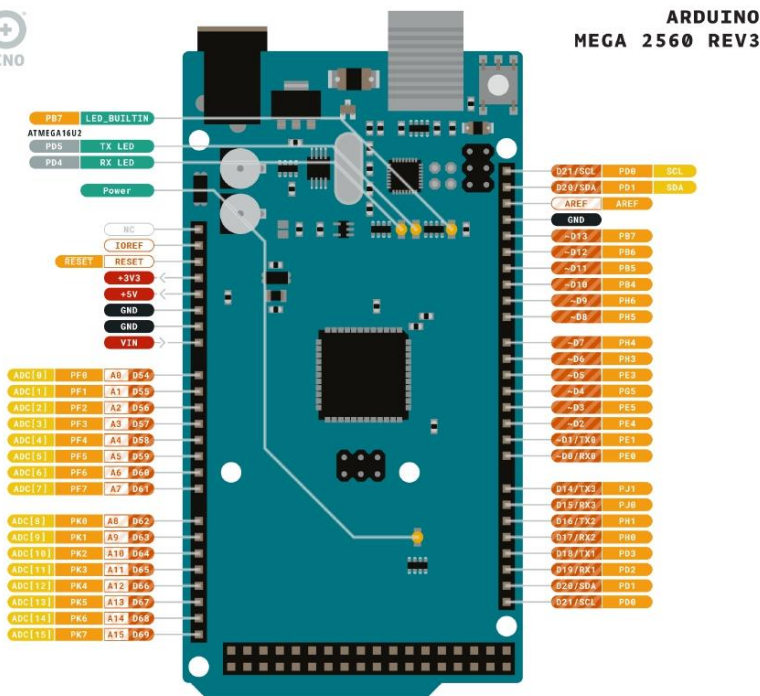


Arduino MEGA Top View

Ref.	Description	Ref.	Description
USB	USB B Connector	F1	Chip Capacitor
IC1	5V Linear Regulator	X1	Power Jack Connector
JP5	Plated Holes	IC4	ATmega16U2 chip
PC1	Electrolytic Aluminum Capacitor	PC2	Electrolytic Aluminum Capacitor
D1	General Purpose Rectifier	D3	General Purpose Diode
L2	Fixed Inductor	IC3	ATmega2560 chip
ICSP	Connector Header	ON	Green LED
RN1	Resistor Array	XIO	Connector



Arduino® MEGA 2560 Rev3



Ground	Internal Pin	Digital Pin	Microcontroller's Port
Power	SWD Pin	Analog Pin	
LED	Other Pin	Default	

ARDUINO.CC

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/> or send a letter to Creative Commons, PO Box 1868, Mountain View, CA 94042, USA.

Arduino Mega Pinout



Arduino® MEGA 2560 Rev3

5.1 Analog

Pin	Function	Type	Description
1	NC	NC	Not Connected
2	IOREF	IOREF	Reference for digital logic V - connected to 5V
3	Reset	Reset	Reset
4	+3V3	Power	+3V3 Power Rail
5	+5V	Power	+5V Power Rail
6	GND	Power	Ground
7	GND	Power	Ground
8	VIN	Power	Voltage Input
9	A0	Analog	Analog input 0 /GPIO
10	A1	Analog	Analog input 1 /GPIO
11	A2	Analog	Analog input 2 /GPIO
12	A3	Analog	Analog input 3 /GPIO
13	A4	Analog	Analog input 4 /GPIO
14	A5	Analog	Analog input 5 /GPIO
15	A6	Analog	Analog input 6 /GPIO
16	A7	Analog	Analog input 7 /GPIO
17	A8	Analog	Analog input 8 /GPIO
18	A9	Analog	Analog input 9 /GPIO
19	A10	Analog	Analog input 10 /GPIO
20	A11	Analog	Analog input 11 /GPIO
21	A12	Analog	Analog input 12 /GPIO
22	A13	Analog	Analog input 13 /GPIO
23	A14	Analog	Analog input 14 /GPIO
24	A15	Analog	Analog input 15 /GPIO

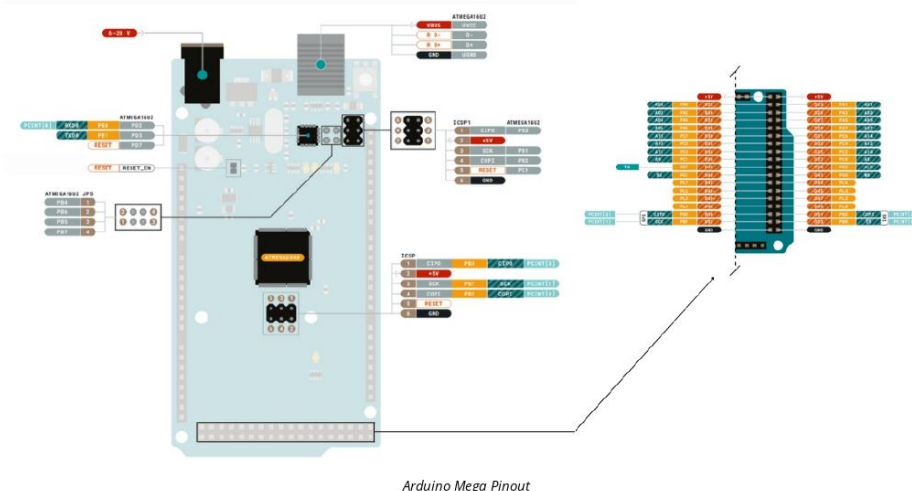
5.2 Digital

Pin	Function	Type	Description
1	D21/SCL	Digital Input/I2C	Digital input 21/I2C Dataline
2	D20/SDA	Digital Input/I2C	Digital input 20/I2C Dataline
3	AREF	Digital	Analog Reference Voltage
4	GND	Power	Ground
5	D13	Digital/GPIO	Digital input 13/GPIO
6	D12	Digital/GPIO	Digital input 12/GPIO
7	D11	Digital/GPIO	Digital input 11/GPIO
8	D10	Digital/GPIO	Digital input 10/GPIO
9	D9	Digital/GPIO	Digital input 9/GPIO
10	D8	Digital/GPIO	Digital input 8/GPIO
11	D7	Digital/GPIO	Digital input 7/GPIO
12	D6	Digital/GPIO	Digital input 6/GPIO
13	D5	Digital/GPIO	Digital input 5/GPIO
14	D4	Digital/GPIO	Digital input 4/GPIO



Arduino® MEGA 2560 Rev3

Pin	Function	Type	Description
15	D3	Digital/GPIO	Digital input 3/GPIO
16	D2	Digital/GPIO	Digital input 2/GPIO
17	D1/TX0	Digital/GPIO	Digital input 1 /GPIO
18	D0/Tx1	Digital/GPIO	Digital input 0 /GPIO
19	D14	Digital/GPIO	Digital input 14 /GPIO
20	D15	Digital/GPIO	Digital input 15 /GPIO
21	D16	Digital/GPIO	Digital input 16 /GPIO
22	D17	Digital/GPIO	Digital input 17 /GPIO
23	D18	Digital/GPIO	Digital input 18 /GPIO
24	D19	Digital/GPIO	Digital input 19 /GPIO
25	D20	Digital/GPIO	Digital input 20 /GPIO
26	D21	Digital/GPIO	Digital input 21 /GPIO



K. Coeficientes de resistencia (K)

A-24. TABLA DEL FACTOR “K” (página 1 de 4)
Coefficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios
 (“K” está basado en el uso de las tuberías cuyos números de cédula se dan en la página 2-10)

FACTORES DE FRICCIÓN PARA TUBERÍAS COMERCIALES, NUEVAS, DE ACERO, CON FLUJO EN LA ZONA DE TOTAL TURBULENCIA

Diámetro mm Nominal	15	20	25	32	40	50	65, 80	100	125	150	200,250	300400	450-600
Factor de fricción (f _f)	.027	.025	.023	.022	.021	.019	.018	.017	.016	.015	.014	.013	.012

FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DEL FACTOR “K” PARA VALVULAS Y ACCESORIOS CON SECCIONES DE PASO REDUCIDO

Fórmula 1

$$K_2 = \frac{0.8 \left(\text{sen} \frac{\theta}{2} \right) (1 - \beta^2)}{\beta^4} = \frac{K_1}{\beta^4}$$

Fórmula 2

$$K_2 = \frac{0.5 (1 - \beta^2) \sqrt{\text{sen} \frac{\theta}{2}}}{\beta^4} = \frac{K_1}{\beta^4}$$

Fórmula 3

$$K_2 = \frac{2.6 \left(\text{sen} \frac{\theta}{2} \right) (1 - \beta^2)^2}{\beta^4} K_1$$

Fórmula 4

$$K_2 = \frac{(1 - \beta^2)^2}{\beta^4} = \frac{K_1}{\beta^4}$$

Fórmula 5

$$K_2 = \frac{K_1}{\beta^4} + \text{Fórmula 1} + \text{Fórmula 3}$$

$$K_2 = \frac{K_1 + \text{sen} \frac{\theta}{2} [0.8 (1 - \beta^2) + 2.6 (1 - \beta^2)^2]}{\beta^4}$$

Fórmula 6

$$K_2 = \frac{K_1}{\beta^4} + \text{Fórmula 2} + \text{Fórmula 4}$$

$$K_2 = \frac{K_1 + 0.5 \sqrt{\text{sen} \frac{\theta}{2}} (1 - \beta^2) (1 - \beta^2)^2}{\beta^4}$$

Fórmula 7

$$K_2 = \frac{K_1}{\beta^4} t \beta \text{ (Fórmula 2 + Fórmula 4), cuando } \theta = 180^\circ$$

$$K_2 = \frac{K_1 + \beta [0.5 (1 - \beta^2) + (1 - \beta^2)^2]}{\beta^4}$$

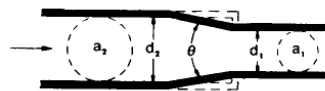
$$\beta = \frac{d_1}{d_2}$$

$$\beta^2 = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 = \frac{a_1}{a_2}$$

El subíndice 1 define dimensiones y coeficientes para el diámetro menor. El subíndice 2 se refiere al diámetro mayor.

*Úse el valor de K proporcionado por el proveedor, cuando se disponga de dicho valor

ESTRECHAMIENTO BRUSCO Y GRADUAL



Si: $\theta < 45^\circ$ $K_2 = \text{Fórmula 1}$

$45^\circ < \theta < 180^\circ$ $K_2 = \text{Fórmula 2}$

ENSANCHAMIENTO BRUSCO Y GRADUAL



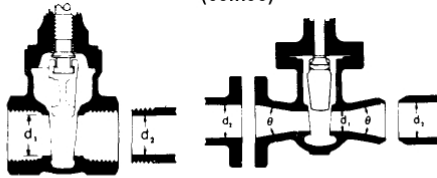
Si: $\theta < 45^\circ$ $K_2 = \text{Fórmula 3}$

$45^\circ < \theta < 180^\circ$ $K_2 = \text{Fórmula 4}$

A-24 TABLA DEL FACTOR "K" (página 2 de 4)
Coefficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios

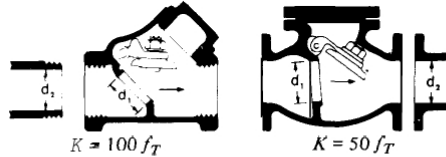
VÁLVULAS DE COMPUERTA

De cuña, de doble obturador o tipo macho (cónico)



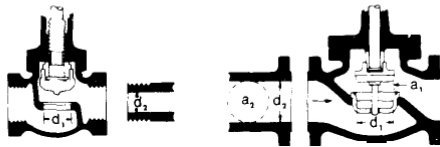
Si: $\beta = 1, \theta = 0 \dots \dots \dots K_1 = 8 f_T$
 $\beta < 1$ y $\theta < 45^\circ \dots \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 5}$
 $\beta < 1$ y $45^\circ < \theta < 180^\circ \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 6}$

VÁLVULAS DE RETENCIÓN DE DISCO OSCILANTE

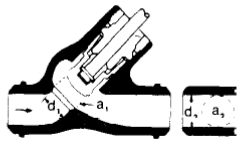


$K = 100 f_T$ $K = 50 f_T$
 Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador
 (m/seg) = $45 \sqrt{V}$ = $75 \sqrt{V}$
 (pie/seg) = $35 \sqrt{V}$ = $60 \sqrt{V}$
 U/I. Registradas = $120 \sqrt{V}$ = $100 \sqrt{V}$

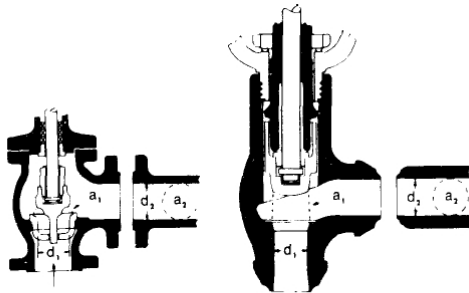
VÁLVULAS DE GLOBO Y ANGULARES



Si: $\beta = 1 \quad K_1 = 340 f_T$



Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 55 f_T$

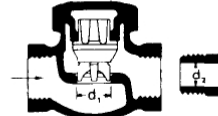


Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 150 f_T$ Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 55 f_T$

Todas las válvulas de globo y angulares con asiento reducido ϕ de mariposa

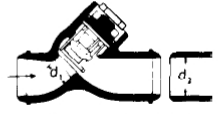
Si: $\beta < 1 \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$

VÁLVULAS DE RETENCIÓN DE OBTURADOR ASCENDENTE



Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 600 f_T$
 $\beta < 1 \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$

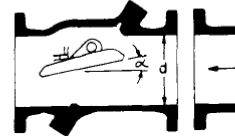
Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador = $50 \beta^2 \sqrt{V}$ m/seg $140 \beta^2 \sqrt{V}$ pie/seg



Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 55 f_T$
 $\beta < 1 \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$

Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador = $170 \beta^2 \sqrt{V}$ m/seg $140 \beta^2 \sqrt{V}$ pie/seg

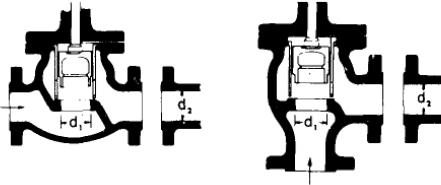
VÁLVULAS DE RETENCIÓN DE DISCO BASCULANTE



Pasos	$\alpha = 5^\circ$	$\alpha = 15^\circ$
50 mm (2") a 200 mm (8")	$40 f_T$	$120 f_T$
250 mm (10") a 350 mm (14")	$30 f_T$	$90 f_T$
400 mm (16") a 1200 mm (48")	$20 f_T$	$60 f_T$
Velocidad mínima en la tubería para abrir totalmente el obturador = m/seg	$100 \sqrt{V}$	$40 \sqrt{V}$
pie/seg	$80 \sqrt{V}$	$30 \sqrt{V}$

A-24. TABLA DEL FACTOR "K" (página 3 de 4)
Coefficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios

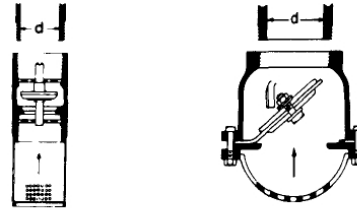
VÁLVULAS DE RETENCIÓN Y CIERRE
(Tipos recto y angular)



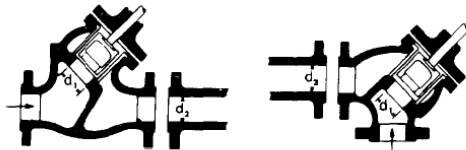
<p>Si: $\beta = 1 \dots K_1 = 400 f_T$ $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$ Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador $m/\text{seg} = 70 \beta^2 \sqrt{V}$ $\text{pie}/\text{seg} = 55 \beta^2 \sqrt{V}$</p>	<p>Si: $\beta = 1 \dots K_1 = 200 f_T$ $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$ Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador $= 95 \beta^2 \sqrt{V}$ $= 75 \beta^2 \sqrt{V}$</p>
--	---

VÁLVULAS DE PIE CON FILTRO

Obturador ascendente Obturador oscilante

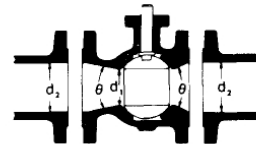


<p>$K = 420 f_T$ Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador $m/\text{seg} = 20 \sqrt{V}$ $\text{pie}/\text{seg} = 15 \sqrt{V}$</p>	<p>$K = 75 f_T$ Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador $= 45 \sqrt{V}$ $= 35 \sqrt{V}$</p>
---	---



<p>Si: $\beta = 1 \dots K_1 = 300 f_T$ $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$ velocidad mínima en la tubería para abrir totalmente el obturador $m/\text{seg} = 75 \beta^2 \sqrt{V}$</p>	<p>Si: $\beta = 1 \dots K_1 = 350 f_T$ $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$ $\text{pie}/\text{seg} = 60 \beta^2 \sqrt{V}$</p>
--	---

VÁLVULAS DE GLOBO

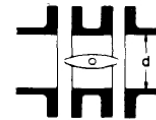


Si: $\beta = 1, \theta = 0 \dots \dots \dots K_1 = 3 f_T$
 $\beta < 1$ y $\theta < 45^\circ \dots \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 5}$
 $\beta < 1$ y $45^\circ < \theta < 180^\circ \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 6}$



<p>$\beta = 1 \dots K_1 = 55 f_T$ $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$ Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador $m/\text{seg} = 170 \beta^2 \sqrt{V}$</p>	<p>$\beta = 1 \dots K_1 = 55 f_T$ $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$ $\text{pie}/\text{seg} = 140 \beta^2 \sqrt{V}$</p>
---	---

VÁLVULAS DE MARIPOSA



Diámetro 50 mm (2") a 200 mm (8") $K = 45 f_T$
 Diámetro 250 mm (10") a 350 mm (14") . . . $K = 35 f_T$
 Diámetro 400 mm (16") a 600 mm (24") . . $K = 25 f_T$

A-24. TABLA DEL FACTOR “K” (página 4 de 4)
Coefficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios

VÁLVULAS DE MACHO Y LLAVES

Paso directo **tres entradas**

Si: $\beta = 1$, $K_1 = 18 f_T$ Si: $\beta = 1$, $K_1 = 30 f_T$ Si: $\beta = 1$, $K_1 = 90 f_T$

Si: $\beta < 1$ $K_2 = \text{Fórmula 6}$

CODOS ESTÁNDAR

90° 45°

$K = 30 f_T$ $K = 16 f_T$

CONEXIONES ESTÁNDAR EN “T”

Flujo directo $K = 20 f_T$
 Flujo desviado a 90° .. $K = 60 f_T$

CURVAS EN ESCUADRA O FALSA ESCUADRA

α	K
0°	2 f_T
15°	4 f_T
30°	8 f_T
45°	15 f_T
60°	25 f_T
75°	40 f_T
90°	60 f_T

CURVAS Y CODOS DE 90° CON BRIDAS O CON EXTREMOS PARA SOLDAR A TOPE

r/d	K	r/d	K
1	20 f_T	8	24 f_T
1.5	14 f_T	10	30 f_T
2	12 f_T	12	34 f_T
3	12 f_T	14	38 f_T
4	14 f_T	16	42 f_T
6	17 f_T	20	50 f_T

El coeficiente de resistencia K_{B1} , para curvas que no sean de 90° puede determinarse con la fórmula:

$$K_B = (n - 1) \left(0.25 \pi f_T \frac{r}{d} + 0.5 K \right) + K$$

n = número de curvas de 90°
 K = coeficiente de resistencia para una curva de 90° (según tabla)

CURVAS DE 180° DE RADIO CORTO

$K = 50 f_T$

ENTRADAS DE TUBERÍA

Con resalte hacia el interior A tope

r/d	K
0.00*	0.5
0.02	0.28
0.04	0.24
0.06	0.15
0.10	0.09
0.15 y más	0.04

*de cantos vivos Véanse los valores de K en la tabla

SALIDAS DE TUBERÍA

Con resalte De cantos vivos Redondeada

$K = 1.0$ $K = 1.0$ $K = 1.0$

L. Tanque de Agua

Volumen de líquido en tuberías:

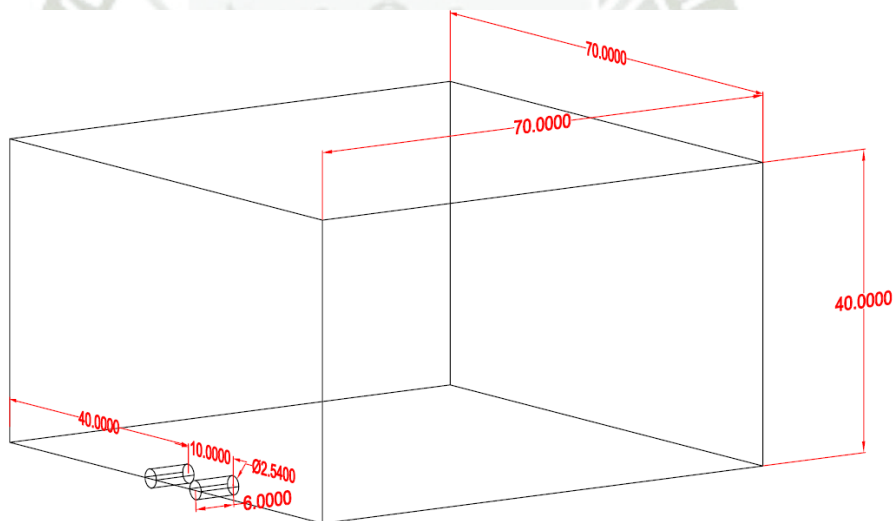
Diámetro	Área (m ²)	Longitud (m)	Volumen (m ³)
1"	0.00053913	10	0.005391287
3/4"	0.00033654	2	0.000673071
3/4"	0.00034636	2	0.000692721
1/2"	0.00018146	2	0.000362917
			0.007119996

Para el dimensionamiento del tanque se debe respetar las dimensiones que contiene el volumen calculado y proporcionar una capacidad mayor de la prevista para evitar rebocos. Dicho tanque tendrá las siguientes dimensiones:

L: 70 cm

A: 70 cm

H: 40 cm



Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica

ACTA DE VALIDACIÓN

Yo, Camilo Grimaldo Fernández Barriga, docente nombrado, con el grado de Doctor, hago constar la validación del instrumento utilizado (LabVIEW) para la recolección de datos del Trabajo de investigación, DISEÑO DE UN MÓDULO AUTOMATIZADO PARA EL ANÁLISIS DE CAÍDA DE PRESIÓN EN UN BANCO DE TUBERÍAS, el cuál es el adecuado para dicho trabajo de carácter estudiantil y didáctico. Obteniendo las siguientes variables:

Variable	Unidad
Presión (P)	bar
Caudal (Q)	m ³ /s
Velocidad (V)	m/s
Pérdidas Primarias (h _f)	m
Pérdidas Secundarias (h _s)	m
TDH	m



Firma
CIP 55403

DISEÑO DE UN MÓDULO AUTOMATIZADO PARA EL ANÁLISIS DE CAÍDA DE PRESIÓN EN UN BANCO DE TUBERÍAS

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

10%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	3%
2	Submitted to Submitted on 1686081518030 Trabajo del estudiante	1%
3	bdigital.uao.edu.co Fuente de Internet	1%
4	1library.co Fuente de Internet	1%
5	repositorio.usm.cl Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.uan.edu.co Fuente de Internet	1%
8	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	1%
9	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	

1 %

10

www.planospara.com

Fuente de Internet

1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado