



Rediseño de un banco de bombas periféricas para pruebas de conexión en serie, paralelo y mixto para el laboratorio de fluidos de la Universidad Antonio Nariño

Arnol Felipe Duarte Márquez

20451819074

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Tunja, Colombia

2023

Rediseño de un banco de bombas periféricas para pruebas de conexión en serie, paralelo y mixto para el laboratorio de fluidos de la Universidad Antonio Nariño

Arnol Felipe Duarte Márquez

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Mecánico

Director (a):

Omar Franklin Rojas Moreno

Línea de Investigación:

Hidráulica

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Tunja, Colombia

2023

Nota de aceptación

El trabajo de grado titulado: Rediseño de un banco de bombas periféricas para pruebas de conexión en serie, paralelo y mixto para el laboratorio de fluidos de la Universidad Antonio Nariño,

Cumple con los requisitos para optar

Al título de Ingeniero mecánico.

M.S.c. Omar Franklin Rojas Moreno
Firma del Tutor

M.S.c William Mauricio Sanabria Becerra
Firma Jurado

M.S.c Orlando Diaz Parra
Firma Jurado

Agradecimientos

Primeramente, agradezco a Dios por brindarme salud, entendimiento y sabiduría ante todas las circunstancias que se han presentado a lo largo de la carrera, a mi familia porque gracias a ellos soy la persona que soy, que con el apoyo que me brindan siempre me hacen mejorar en cada ámbito, que han creído en mi a cabalidad, me han inculcado la humildad y la perseverancia que se necesita en el día a día; quiero dedicarles inmensamente este logro que con mucho sacrificio he llegado a cumplir esta gran meta que es como muchas, un sueño que algún día se logra obtener.

Agradezco también a los docentes, que han estado a lo largo de la carrera que me han ayudado a fortalecer cada conocimiento que han brindado ese granito de arena necesario para lograr ser un gran profesional.

Tunja, 27 de noviembre de 2023

Contenido

	Pág.
Resumen	21
Abstract	22
Introducción	23
Planteamiento del problema	26
Justificación	27
Objetivos	28
Objetivo general	28
Objetivos específicos	28
1.MARCO TEORICO	29
1.1. Bomba Hidráulica	29
1.2. Bombas centrifugas	30
1.2.1.Tipos de bombas centrifugas según el flujo	31
1.2.2.Tipos de bombas centrifugas según el tipo de rodete	32
1.3. Bombas Periféricas	33
1.4. Diferencias entre una bomba centrifuga y una bomba periférica	34
1.5. Fluido	35
1.6. Presión	36
1.6.1.Presión Atmosférica	36
1.6.2.Presión Absoluta	37
1.6.3.Presión manométrica	37
1.7.Velocidad del fluido	38

1.8. Caudal o Flujo volumétrico	38
1.9. Cavitación	38
1.10. Golpe de ariete	39
1.11. Cebado de una bomba	39
1.11.1. Proceso de cebado en caso de carga de succión positiva:	40
1.11.2. Proceso de cebado cuando se tiene una carga negativa de succión	40
1.12. Curvas características de una bomba	42
1.13. Curva del sistema	43
1.13.1. Punto de operación para una bomba	44
1.14. Sistemas de conexión para bombas	44
1.14.1. Sistema de conexión en serie	45
1.14.2. Sistema de conexión en paralelo	45
1.14.3. Sistema de conexión mixto	46
1.15. Ecuación de Continuidad	47
1.16. Ecuación de Bernoulli	48
1.17. Ecuación general de la energía	49
1.18. Pérdidas de energía en un sistema de bombeo hL	50
1.18.1. Perdidas de carga primarias (hp)	50
1.18.2. Perdidas de carga secundarias (hs)	51
2. DISEÑO Y DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS	52
2.1. Selección de las bombas	52
2.2. Tanque o depósito para agua	55
2.3. Diseño de la estructura	56
2.4. Accesorios	57
2.4.1. Tubo PVC	59
2.4.2. Adaptador Hembra	60
2.4.3. Adaptador macho	61
2.4.4. Buje reductor	61
2.4.5. Válvula de bola	62
2.4.6. Tees	62

2.4.7. Codos	63
2.4.8. Adaptador universal	63
2.4.9. Uniones	64
2.4.10. Manómetro	64
2.4.11. Vacuómetro	65
2.4.12. Caudalímetro (Rotámetro)	66
2.4.13. Interruptor balancín con piloto	66
2.4.14. Fusible Largo en Vidrio 3A	67
2.4.15. Porta fusible	67
2.4.16. Dimmer 2000W - Variador de Voltaje AC	68
2.4.17. Voltímetro digital	68
2.4.18. Cableado	69
3. DISEÑO DE LOS SISTEMAS EN SERIE, PARALELO Y MIXTO	70
4. FABRICACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS	73
4.1. Fase 1: Construcción de la estructura	73
4.2. Fase 2: Construcción del depósito de agua	76
4.3. Fase 3: Montaje del sistema hidráulico	76
4.4. Fase 4. Acabados visuales de la estructura	81
4.5. Fase 5: Montaje del sistema eléctrico	83
5. PRUEBAS EXPERIMENTALES	86
5.1. Cálculo pérdidas de carga primarias	91
5.2. Cálculo pérdidas de carga secundarias	93
5.3. Curvas características bomba 1	94
5.4. Curvas características bomba 2	99
5.5. Curvas características bomba 3	104
5.6. Curvas características circuito en Serie (Bombas 1-2)	109
5.6.1. Análisis sistema serie	114
5.7. Curvas características circuito en paralelo (Bombas 2-3)	114
5.7.1. Análisis sistema paralelo	119

5.8. Curvas características circuito mixto (Bombas 1-2-3)	119
5.8.1. Análisis sistema mixto	124
6. CONCLUSIONES	125
7. RECOMENDACIONES Y MEJORAS	128
8. ANEXOS	129
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	181

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Clasificación de las bombas hidráulicas	30
Figura 2. Esquema de una bomba centrífuga	31
Figura 3. Trayectoria de una partícula de fluido en el rodete de una bomba centrífuga	32
Figura 4. Tipos de rodete.	33
Figura 5. Turbina y carcasa de una bomba periférica.	34
Figura 6. Bombas centrífugas y periféricas.	35
Figura 7. Esquema de la relación de presiones Fuente: (Yunus Cengel, s. f.)	37
Figura 8. Esquemas para el cebado de bombas Fuente: (Claudio Mataix, 1982)	41
Figura 9. Curvas características de una bomba centrífuga Fuente: (Robert Mott, s. f.)	42
Figura 10. Punto de operación de una bomba	44
Figura 11. Conexión de bombas en serie Fuente: (Marbello Pérez, 2007)	45
Figura 12. Conexión de bombas en paralelo	46
Figura 13. Sistema de conexión mixto	47
Figura 14. Sistema de flujo del fluido que identifica la ecuación de la energía	49
Figura 15. Bomba BOAP-1/3P3	53
Figura 16. Impulsor de latón de alabes radiales bomba periférica.	53
Figura 17. Curva característica bomba BOAP-1/2P3	54
Figura 18. Diseño tanque AutoCAD	55
Figura 19. Diseño en AutoCAD de la estructura	57
Figura 20. Accesorios utilizados en el proyecto	58
Figura 21. Tubería PVC	59

Figura 22. Accesorio (adaptador hembra)	60
Figura 23. Accesorio (adaptador macho) Fuente: (Tubos y accesorios CELTA, s. f.)	61
Figura 24. Accesorio (Buje reductor)	61
Figura 25. Accesorio (válvula de bola) Fuente: (Tubos y accesorios CELTA, s. f.)	62
Figura 26. Accesorio (Tee)	62
Figura 27. Accesorio (Codos) Fuente: (Tubos y accesorios CELTA, s. f.)	63
Figura 28. Accesorio (adaptador universal)	63
Figura 29. Accesorio (Unión)	64
Figura 30. Manómetro	65
Figura 31. Vacuómetro	65
Figura 32. Caudalímetro (Rotámetro)	66
Figura 3.3 Interruptor balancín con piloto.	67
Figura 34. Fusible largo F3AL250V.	67
Figura 35. Porta fusible.	68
Figura 36. Dimmer (variador de voltaje)	68
Figura 37. Voltímetro digital	69
Figura 38. Cable encauchetado 2X16	69
Figura 39. Alambre de cobre aislado	70
Figura 40. Diseño en AutoCAD (Sistema en serie)	70
Figura 41. Diseño en AutoCAD (Sistema en paralelo)	71
Figura 42. Diseño en AutoCAD (Sistema Mixto)	72
Figura 43. fabricación de la estructura 1 (cortes de tubería y unión previa) Fuente: Autor	74
Figura 44. fabricación de la estructura 2 (soldadura y presentación previa de la estructura)	74

Figura 45. fabricación de la estructura 3 (esqueleto finalizado de la estructura).	75
Figura 46. fabricación de la estructura 4 (aplicación de la pintura anticorrosiva) Fuente: Autor	75
Figura 47. Colocación de bombas en la estructura Fuente: Autor	78
Figura 48. Medición y corte de tubería y accesorios Fuente: Autor	78
Figura 49. Unión provisional de tubería Fuente: Autor	79
Figura 50. Adaptador sds plus	80
Figura 51. Manómetro colocado en la tubería Fuente: Autor	80
Figura 52. Visualización previa del banco de pruebas Fuente: Autor	81
Figura 53. Colocación de las láminas Fuente: Autor	82
Figura 54. Banco de pruebas sin la instalación eléctrica Fuente: Autor	82
Figura 55. Conexiones Dimmer	83
Figura 56. Carcasa protectora del sistema eléctrico. Fuente: Autor	84
Figura 57. Mando principal del eléctrico. Fuente: Autor	85
Figura 58. Banco didáctico para conexión de bombas en serie, paralelo y mixto para el laboratorio de fluidos de la Universidad Antonio Nariño sede Tunja	86
Figura 59. Elementos del banco didáctico para conexión de bombas en serie, paralelo y mixto para el laboratorio de fluidos de la Universidad Antonio Nariño sede Tunja	87
Figura 60. Curva experimental H vs Q, Bomba 1 Fuente: Autor	98
Figura 61. Curva experimental Ph vs Q, Bomba 1 Fuente: Autor	98
Figura 62. Curva experimental ef vs Q, Bomba 1	99
Figura 63. Curva experimental H vs Q, Bomba 2 Fuente: Autor	103
Figura 64. Curva experimental Ph vs Q, Bomba 2 Fuente: Autor	103
Figura 65. Curva experimental ef vs Q, Bomba 2	104

Figura 66. Curva experimental H vs Q, Bomba 3 Fuente: Autor	108
Figura 67. Curva experimental Ph vs Q, Bomba 3 Fuente: Autor	108
Figura 68. Curva experimental ef vs Q, Bomba 3	109
Figura 69. Curva experimental H vs Q, Serie Bombas 1-2 Fuente: Autor	112
Figura 70. Curva experimental Ph vs Q, Serie Bombas 1-2 Fuente: Autor	112
Figura 71. Curva experimental ef vs Q, Serie Bombas 1-2	113
Figura 72. Curva experimental H vs Q, paralelo Bombas 2-3 Fuente: Autor	118
Figura 73. Curva experimental Ph vs Q, paralelo Bombas 2-3 Fuente: Autor	118
Figura 74. Curva experimental ef vs Q, paralelo Bombas 2-3	119
Figura 75. Curva experimental H vs Q, mixto bombas 1-2-3 Fuente: Autor	122
Figura 76. Curva experimental Ph vs Q, mixto bombas 1-2-3 Fuente: Autor	123
Figura 77. Curva experimental ef vs Q, mixto bombas 1-2-3	123
Figura 78. Sección S1 (Anexo B)	156
Figura 79. Sección S2 (Anexo B)	156
Figura 80. Sección S2 (Anexo B)	157
Figura 81. Sección DB1 (Anexo B)	157
Figura 82. Sección SB2 (Anexo B) Fuente: Autor	158
Figura 83. Sección SB3 (Anexo B)	158
Figura 84. Sección D1 (Anexo B) Fuente: Autor	159
Figura 85. Sección D2 (Anexo B)	160
Figura 86. Sección D3 (Anexo B)	160
Figura 87. Sección D1B1 (Anexo B) Fuente: Autor	161
Figura 88. Panel de control (Anexo B)	161

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Especificaciones de la bomba periférica	55
Tabla 2. Accesorios e instrumentos del banco didáctico	58
Tabla 3. Medidas de la tubería de PVC Anexos Fuente: (Tubos y accesorios CELTA, s. f.)	60
Tabla 4. Abreviaturas de los elementos del banco didáctico de pruebas.	88
Tabla 5. Datos de referencia	91
Tabla 6. Coeficientes de pérdidas de los accesorios.	94
Tabla 7. Datos iniciales bomba 1	95
Tabla 8. Pérdidas primarias y secundarias en la succión y descarga de la bomba 1	96
Tabla 9. Caracterización del sistema con la bomba 1	97
Tabla 10. Datos iniciales bomba 2	100
Tabla 11. Pérdidas primarias y secundarias en la succión y descarga de la bomba 2	101
Tabla 12. Caracterización del sistema con la bomba 2	102
Tabla 13. Datos iniciales bomba 3	105
Tabla 14. Pérdidas primarias y secundarias en la succión y descarga de la bomba 3	106
Tabla 15. Caracterización del sistema con la bomba 3	107
Tabla 16. Datos iniciales bombas 1-2 en serie	110
Tabla 17. Pérdidas primarias y secundarias en la succión y descarga serie Bombas 1-2	110
Tabla 18. Caracterización del sistema en serie Bombas 1-2	111
Tabla 19. Datos iniciales bombas 2-3 en paralelo	115
Tabla 20. Pérdidas primarias y secundarias en la succión y descarga paralelo Bombas 2-3	115

Tabla 22. Datos iniciales sistema mixto Bombas 1-2-3	120
Tabla 23. Perdidas primarias y secundarias en la succión y descarga mixto Bombas 1-2-3	121
Tabla 24. Caracterización del sistema mixto Bombas 1-2-3	121

Lista de Anexos

	Pág.
Anexo A. Cálculos requeridos para hallar curvas características de las bombas	129
<i>A.1 Bomba 1</i>	129
<i>A.1.1 Perdidas primarias bomba 1</i>	129
<i>A.1.2 Perdidas secundarias bomba 1</i>	130
<i>A.2 Bomba 2</i>	134
<i>A.2.1 Perdidas primarias bomba 2</i>	134
<i>A.2.2 Perdidas secundarias bomba 2</i>	136
<i>A.3 Bomba 3</i>	139
<i>A.3.1 Perdidas primarias bomba 3</i>	139
<i>A.3.2 Perdidas secundarias bomba 2</i>	140
<i>A.4 Serie Bombas 1-2</i>	142
<i>A.4.1 Perdidas primarias sistema serie Bombas 1-2</i>	142
<i>A.4.2 Perdidas secundarias Serie B1-2</i>	144
<i>A.5 Paralelo Bombas 2-3</i>	146
<i>A.5.1 Perdidas primarias sistema Paralelo B2-3</i>	146
<i>A.5.2 Perdidas secundarias paralelo 2-3</i>	148
<i>A.6 Mixto B1-2,-3</i>	151
<i>A.6.1 Perdidas primarias sistema Mixto B1-2-3</i>	151
<i>A.6.2 Perdidas secundarias Mixto B1-2-3</i>	153
Anexo B. Secciones y mando para tener en cuenta del banco didáctico	156
<i>B.1 Sección S1</i>	156
<i>B.2 Sección S2</i>	156
<i>B.3 Sección SB1</i>	157
<i>B.4 Sección DB1</i>	157
<i>B.5 Sección SB2</i>	158

<i>B.6 Sección SB3</i>	158
<i>B.7 Sección D1</i>	159
<i>B.8 Sección D2</i>	160
<i>B.9 Sección D3</i>	160
<i>B.10 Sección D1B1</i>	161
<i>B.11 Mando principal (panel de control)</i>	161
Anexo C. Manual de funcionamiento del banco didáctico	162
<i>C.1 Puesta en marcha para pruebas correspondientes</i>	162
<i>C.2 Funcionamiento bomba 1</i>	163
<i>C.3 Funcionamiento bomba 2</i>	164
<i>C.4 Funcionamiento bomba 3</i>	165
<i>C.4 Funcionamiento Serie B1-2</i>	166
<i>C.5 Funcionamiento paralelo B2-3</i>	166
<i>C.6 Funcionamiento Mixto B1-2-3</i>	167
<i>C.7 Funcionamiento paralelo B1-3</i>	156
Anexo D. Guía de laboratorio	158

Lista de tablas Anexos

Tabla A1 Perdidas primarias succión bomba 1	129
Tabla A2 Perdidas primarias descarga Bomba 1	130
Tabla A3 Coeficientes de resistencia para uniones de PVC	131
Tabla A4 Coeficiente de resistencia succión bomba 1	131
Tabla A5 Perdidas secundarias en la succión bomba 1	132
Tabla A6 Coeficiente de resistencia descarga bomba 1	132
Tabla A7 Perdidas secundarias en la descarga bomba 1	133
Tabla A8 Altura útil de la bomba 1	134

Tabla A9 Perdidas primarias succión bomba 2	135
Tabla A10 Perdidas primarias descarga Bomba 2	136
Tabla A11 Coeficiente de resistencia succión bomba 2	136
Tabla A12 Perdidas secundarias en la succión bomba 2	137
Tabla A13 Coeficiente de resistencia descarga bomba 2	137
Tabla A14 Perdidas secundarias en la descarga bomba 2	138
Tabla A15 Altura útil de la bomba 2	138
Tabla A16 Perdidas primarias succión bomba 3	139
Tabla A17 Perdidas primarias descarga Bomba 3	139
Tabla A18 Coeficiente de resistencia succión bomba 3	140
Tabla A19 Perdidas secundarias en la succión bomba 3	140
Tabla A20 Coeficiente de resistencia descarga bomba 3	141
Tabla A21 Perdidas secundarias en la descarga bomba 3	141
Tabla A22 Altura útil de la bomba 3	142
Tabla A23 Perdidas primarias succión serie B1-2	142
Tabla A24 Perdidas primarias descarga serie B1-2	143
Tabla A25 Coeficiente de resistencia succión serie B1-2	144
Tabla A26 Perdidas secundarias en la succión serie B1-2	144
Tabla A27 Coeficiente de resistencia descarga serie B1-2	145
Tabla A28 Perdidas secundarias en la descarga serie B1-2	145
Tabla A29 Altura útil serie B1-2	146
Tabla A30 Perdidas primarias succión paralelo 2-3 (Succión B2)	146
Tabla A31 Perdidas primarias succión paralelo 2-3 (succión B3)	147

Tabla A32 Perdidas primarias descarga paralelo 2-3	147
Tabla A33 Coeficiente de resistencia succión paralelo B2-3	149
Tabla A34 Perdidas secundarias en la succión paralelo B2-3	149
Tabla A35 Coeficiente de resistencia descarga paralelo B2-3	150
Tabla A36 Perdidas secundarias en la descarga paralelo B2-3	150
Tabla A37 Altura útil paralelo B 2-3	151
Tabla A38 Perdidas primarias succión Mixto B1-2-3 (serie B1-2)	151
Tabla A39 Perdidas primarias succión Mixto B1-2,-3 (B3)	152
Tabla A40 Perdidas primarias descarga Mixto B1-2-3	152
Tabla A41 Coeficiente de resistencia succión Mixto 1-2-3	153
Tabla A42 Perdidas secundarias en la succión Mixto B1-2-3	154
Tabla A43 Coeficiente de resistencia descarga Mixto 1-2-3	154
Tabla A44 Perdidas secundarias en la descarga Mixto 1-2-3	154
Tabla A45 Altura útil Mixto 1-2-3	155

Resumen

El siguiente trabajo tiene como propósito la construcción y rediseño de un banco de pruebas para bombas centrifugas existente en la Universidad Antonio Nariño de la sede Tunja, que proporcionaría una gran ayuda para los estudiantes de ingeniería mecánica, principalmente al momento de afianzar los conocimientos adquiridos de forma teórica en diferentes materias relacionadas con mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas, poniéndolos en práctica de forma experimental; de esta manera conocer las ventajas que se pueden obtener y aplicar cuando se conectan dos o más bombas en serie, paralelo y mixto, ya que brinda mejores capacidades este tipo de conexiones y poder brindar al estudiante la capacidad de elegir el sistema que mejor convenga al momento de realizar alguna conexión de este tipo en la industria o en la vida profesional.

Para la realización de este proyecto se deben llevar a cabo diferentes procesos, tales como la construcción del banco de pruebas de bombas centrifugas, teniendo en cuenta los diferentes diseños para una mayor facilidad de manejo, al igual continuar con una serie de pruebas y evaluación del funcionamiento de las conexiones posibles para este banco de pruebas tales como serie, paralelo y mixto, en donde por último se realizará una guía práctica que permitirá al estudiante identificar y acoplar los diferentes componentes del banco de pruebas, respecto al tipo de conexión que se vaya a analizar para las prácticas de laboratorio.

Palabras Clave: Banco de pruebas, rediseño, bombas, serie, paralelo, mixto.

Abstract

The purpose of the following work is the construction and redesign of an existing test bench for centrifugal pumps at the Antonio Nariño University of Tunja, which would provide a great help for mechanical engineering students, mainly at the time of consolidating the knowledge acquired theoretically in different subjects related to fluid mechanics and hydraulic machines, putting them into practice on an experimental basis; In this way, to know the advantages that can be obtained and applied when two or more pumps are connected in series, parallel and mixed, since this type of connection provides better capabilities and to be able to provide the student with the ability to choose the system that best suits when making a connection of this type in the industry or in professional life.

To carry out this project, different processes must be carried out, such as the construction of the centrifugal pump test bench, taking into account the different designs for greater ease of handling, as well as continue with a series of tests and evaluation of the operation of the possible connections for this test bench such as series, parallel and mixed, where finally a practical guide will be made that will allow the student to identify and couple the different components of the test bench, regarding the type of connection that is going to be analyzed for the laboratory practices.

KEYWORDS: Test bench, redesign, pumps, series, parallel, mixed.

Introducción

En la industria se presentan diferentes métodos para el transporte o conducción de líquidos industriales o bien al caso agua, de esta manera con ayuda de bombas centrífugas es posible realizar este procedimiento. Una bomba es una máquina que absorbe energía mecánica y restituye al líquido que la atraviesa en energía hidráulica. Las bombas se emplean para impulsar toda clase de líquidos (agua, aceite de lubricación, combustibles, ácidos, líquidos alimenticios: cerveza, leche, etc.) (García & Suárez, 2013)

El principio fundamental del proyecto es analizar el comportamiento de tres bombas rotodinámicas con diferentes tipos de conexión, de características conocidas (curvas H_B vs. Q y η_B vs. Q) cuando se emplea para impulsar un líquido, en donde H_B es la altura de elevación, Q es el caudal del sistema y η_B la eficiencia que se obtiene del sistema, a través de una instalación simple, desde un depósito de aspiración, precedida por la tubería de aspiración, y seguida de la tubería de impulsión. De estas últimas se conocen su longitud (L), diámetro (D), material, rugosidad (k_s) y los diversos accesorios acoplados en ellas, tales como codos, válvulas, uniones, filtros, etc. Además, se conocen las físicas del líquido a impulsar, tales como densidad (ρ), viscosidad cinemática (ν), peso específico (γ), temperatura (T°). (Marbello, 2007)

Como principal enfoque los bancos de pruebas para bombas centrífugas están destinados para la realización de pruebas de caudal, presión y obtención de las curvas características, pero también existen bancos de pruebas que se centran en el fenómeno de la cavitación (fenómeno causado por el cambio drástico de velocidad del fluido); es pertinente poder mostrar la definición que brinda Cubillos & Sandoval (2021), “La cavitación o aspiración de vacío es un fenómeno hidrodinámico que se produce cuando el agua o cualquier otro fluido pasa a gran velocidad por una arista, produciendo una descompensación del fluido” (p. 21). Teniendo en que para para esto

se ha requerido avances tecnológicos en la instrumentación de estos equipos. (Cubillos & Sandoval, 2021)

Para los procesos industriales se es requerido el funcionamiento de más de una bomba con un sistema de bombeo diferente, que sirva para suplir las necesidades que se pidan al momento de alcanzar más altura de elevación o caudal requerido para mover un líquido de una localización a otra, con grandes ventajas que se obtienen al momento de conectar dos o más bombas. De esta manera se contemplan dos tipos de conexiones entre bombas, tal como la conexión en serie en donde, este tipo de acoplamiento se emplea en casos en los cuales se desea elevar un mismo caudal a distintas alturas, o para impulsar un determinado caudal, venciendo grandes resistencias debidas a grandes longitudes de las conducciones.

En resumen, en este tipo de conexión la tubería de impulsión de una bomba se constituye en la tubería de aspiración de la siguiente unidad, por lo que el caudal bombeado, Q_B , es el mismo para todas ellas, y la altura del conjunto es la suma de las alturas desarrolladas por las bombas individualmente.

Otro tipo de conexión es en paralelo, en donde cada una de las bombas aspira el fluido desde un tanque o depósito común, para reunir sus respectivos caudales impulsados en una tubería de impulsión común para ellas. En este tipo de acoplamiento, el caudal total del acoplamiento es la suma de los caudales individuales, y la altura total es constante e igual a la de cada una de las bombas individualmente. (Marbello, 2007)

Para la conexión en mixto se tiene la posibilidad de conectar dos bombas en serie agregando una en paralelo y de esta manera hacer diferentes pruebas para observar la mejora de este sistema. Como se menciona se pretende realizar un banco de pruebas que, en mejores términos, es una plataforma para experimentación de proyectos que brindan una forma de comprobación rigurosa,

transparente y repetible de gran utilidad en los métodos de enseñanza con importancia relevante en la comprensión de la teoría mediante la implementación (Amores y otros, 2018). Tiene como principal objetivo, evidenciar el funcionamiento de bombas centrífugas al momento de conectarlas en serie, paralelo y mixto; de esta manera realizar pruebas y análisis de los resultados obtenidos en base a esto obtener una mejor practica para las diferentes materias relacionadas con el tema de fluidos haciendo enfoque en los estudiantes de la Universidad Antonio Nariño sede Tunja.

Planteamiento del problema

Para el aprendizaje de la vida profesional y la formación en una carrera universitaria, se ha tenido como propósito el enseñar de forma teórica y a la vez de manera práctica y así formar mejores profesionales en el ámbito al cual se vayan a desempeñar. Es claro que para la parte teórica se tienen las diferentes aulas y del mismo modo para la experimental se tienen los laboratorios, en donde es una parte primordial realizar esta última nombrada ya que allí cada estudiante tiene la posibilidad de realizar, experimentar y de cierta manera aprender más cómo funcionan o sirven los diferentes elementos que se tienen en los laboratorios aplicados para cada tipo de materia o asignatura.

Este proyecto pretende realizar un rediseño y construcción a un banco de pruebas de bombas periféricas conectadas en serie y paralelo existente en el laboratorio de fluidos de la Universidad Antonio Nariño sede Tunja, que a su vez por el tiempo y la falta de mantenimiento del banco, se ha presentado un deterioro en diferentes partes del mismo; esto genera el no uso del mismo por lo anterior nombrado, en consecuencia se ve la necesidad de generar un plan de acción en donde se ponga en funcionamiento un nuevo banco de pruebas para bombas centrifugas conectadas en serie y paralelo y una nueva conexión que no ofrece este banco de pruebas como lo es la conexión mixta. Así pues, este banco es necesario para la realización de pruebas para diferentes materias de la carrera de ingeniería mecánica, como lo son por ejemplo mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas.

Justificación

El llevar a cabo este proyecto es un gran aporte para la parte de los docentes, ya que ayuda para la realización y el entendimiento de cada una de las materias enfocadas en el área de fluidos, sirviendo como apoyo en el entendimiento y conocimiento de una manera más práctica y didáctica a los estudiantes los diferentes funcionamientos de una bomba centrífuga, la caracterización de las mismas y a su vez las ventajas que proporcionan conectar dos o más bombas en serie, paralelo y mixto para el movimiento o transporte de diferentes fluidos tales como agua, aceites de lubricación, combustibles, ácidos, etc. Pero principalmente agua que es el líquido empleado para este banco de pruebas de bombas centrífugas.

Al llevar a cabo este proyecto, generaría una gran repercusión en el aprendizaje de materias relacionadas con fluidos y maquinaria de la parte hidráulica, teniendo la posibilidad de llevar a cabo prácticas y generar más conocimientos y a su vez entendimiento hacia los estudiantes que solo el área teórica no puede brindar; además el poder brindar un manual de uso para el banco de pruebas que puede ser utilizado por los docentes y estudiantes que realicen prácticas en el laboratorio de fluidos de la Universidad Antonio Nariño sede Tunja.

Objetivos

Objetivo general

Rediseñar un banco de bombas periféricas para pruebas de conexión en serie, paralelo y mixto.

Objetivos específicos

- 1) Construir el banco de pruebas de bombas periféricas.
- 2) Evaluar el funcionamiento de las conexiones de las bombas en serie, paralelo y mixto.
- 3) Realizar la guía práctica del banco de pruebas para bombas periféricas con conexión serie paralelo y mixto.

1. MARCO TEORICO

1.1 Bomba Hidráulica

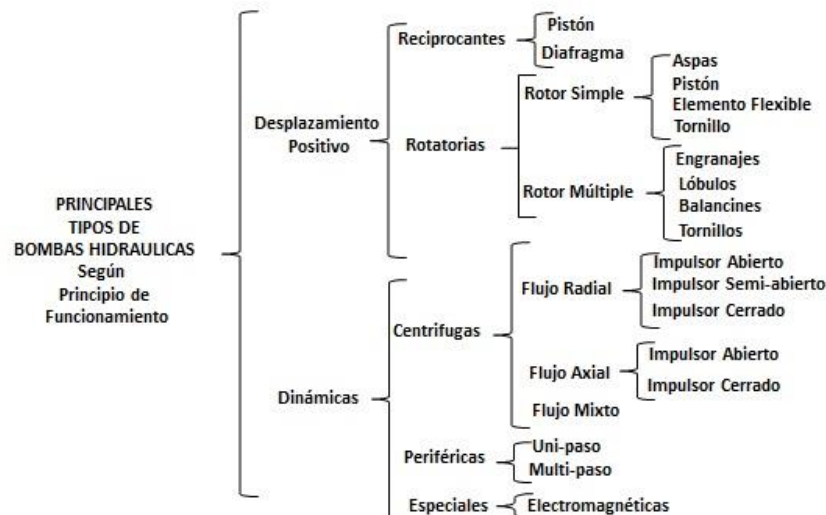
Una bomba es aquella máquina que absorbe (energía mecánica) y restituye al líquido que la atraviesa (energía hidráulica). Las bombas se emplean para bombear toda clase de líquidos (agua, aceites de lubricación, combustibles, ácidos, líquidos alimenticios: cerveza, leche, etc.). También son utilizadas para bombear líquidos espesos con sólidos en suspensión, como pastas de papel, cemento, melazas, desperdicios, etc. (Mataix, 1986)

Las bombas se pueden clasificar en dos tipos:

1. Bombas rotodinámicas, las más conocidas son las turbomáquinas de las cuales se caracterizan por ser siempre rotativas y su funcionamiento se basa en la ecuación de Euler, su órgano transmisor se llama rodete; son llamadas rotodinámicas porque su movimiento es rotativo y la dinámica de la corriente juega un papel esencial en la transmisión de la energía.

Son también denominadas máquinas de corriente, los cambios en la dirección y valor absoluto de la velocidad del fluido juegan un papel esencial.

2. Bombas de desplazamiento positivo, denominadas también máquinas volumétricas, el órgano intercambiador de energía cede energía al fluido o el fluido a él en forma de energía de presión creada por la variación de volumen los cambios en la dirección y valor absoluto de la velocidad del fluido no juegan esencial alguno. (Mataix, 1986)

Figura 1*Clasificación de las bombas hidráulicas*

Fuente: (Tipos de Bombas Hidráulicas)

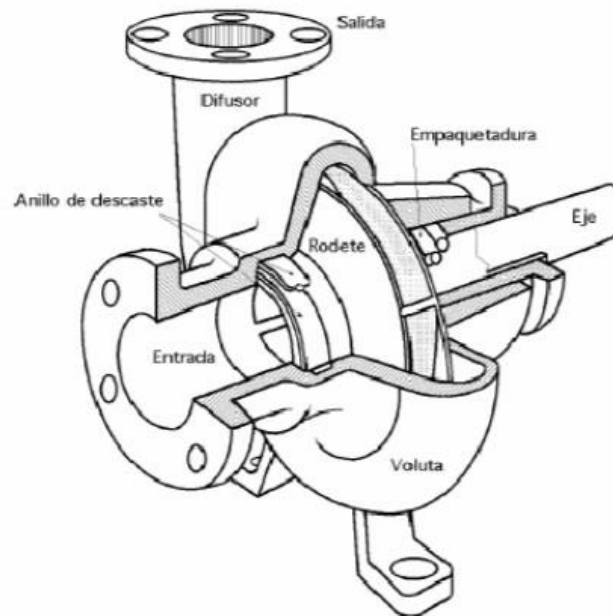
1.2 Bombas centrífugas

Como se mencionaba las bombas roto dinámicas incrementan la energía cinética del fluido mediante la acción de un rodete que gira a gran velocidad, transformando esta energía en energía de presión en la bomba. (I. Martín & R. Font, s. f.)

Una característica principal de este tipo de bombas es que el caudal que proporcionan, además de depender del diseño de la propia bomba, viene condicionado por las características de la instalación en que se encuentren. En las bombas centrífugas, el líquido entra a la bomba por el eje agujero del rodete, aspirado como consecuencia de la disminución inicial de presión que producen sus álabes al girar. A continuación, este líquido es proyectado radialmente a lo largo de los álabes por la acción de la fuerza centrífuga, aumentando considerablemente su energía cinética. A la salida del rodete, esta energía cinética adquirida se transforma en energía de presión. (I. Martín & R. Font, s. f.)

Figura 2

Esquema de una bomba centrífuga



Fuente: (*Bombas centrífugas y su uso en instalaciones hidráulicas*, 2022)

1.2.1 Tipos de bombas centrífugas según el flujo

Bombas centrífugas de flujo radial. La corriente líquida se verifica en planos radiales de esta manera la energía se cede al líquido esencialmente mediante la acción de la fuerza centrífuga en resumen son aquellas las cuales el fluido se mueve perpendicularmente al eje. (Edison Alejandro Ramírez Pozo, s. f.) véase figura 5.3 (a)

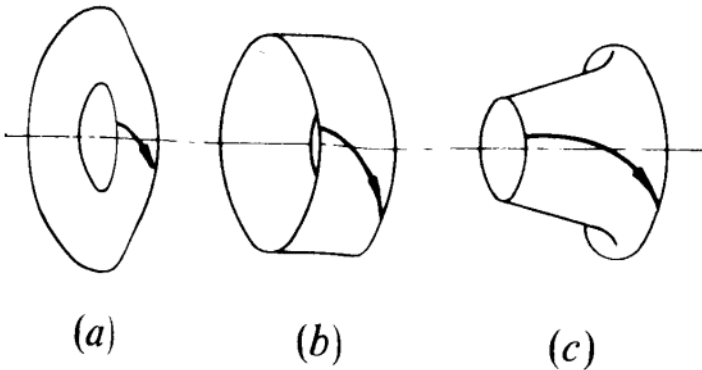
Bombas centrífugas de flujo axial. Para estas bombas el líquido tiende a moverse en la dirección del eje y la energía es cedida al líquido por la impulsión ejercida por los álabes sobre el mismo. (Edison Alejandro Ramírez Pozo, s. f.) véase figura 5.3 (b)

Bombas centrífugas de flujo mixto. Este tipo de bombas combina ambos componentes de tal forma que el fluido se mueve con componentes axial y radial y la energía se cede al líquido

mediante la acción de la fuerza centrífuga y la impulsión ejercida por los álabes sobre el mismo. (Edison Alejandro Ramírez Pozo, s. f.) véase figura 5.3 (c)

Figura 3

Trayectoria de una partícula de fluido en el rodete de una bomba centrífuga



Fuente: (Claudio Mataix, 1982)

1.2.2 Tipos de bombas centrífugas según el tipo de rodete

Rodete o rotor. El rodete o rotor de bombas centrífugas puede tener diferentes formas dependiendo de la función de la bomba, el rodete se acciona gracias a un motor que va unido a un eje y está formado por álabes con forma de curva en una dirección contraria, el líquido entra hasta el rodete cambiando de dirección de forma brusca. («Bombas Centrífugas Funcionamiento - Bombas Intercal», s. f.)

Los rodetes de tipo cerrado. Este tipo de rodete presenta las dos caras cubiertas, con los álabes en su interior el cual reduce las pérdidas por fugas de fluido entre la zona de descarga a mayor presión y la de aspiración a menor presión. (CORREA HAZ, 2016) ver figura 5.4 (a, b)

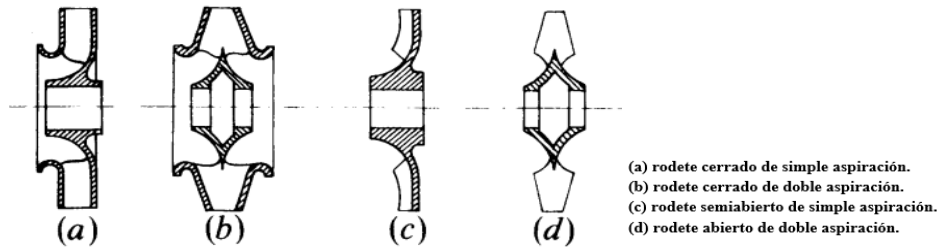
Los rodetes de tipo semiabierto. Este tipo de rodete cuentan con un lado del rotor cerrado, que por lo general es el lado contrario al de la aspiración, aunque se puede presentar al lado de

aspiración de la bomba. Este tipo de rotor tiene una mayor resistencia a esfuerzos que el rodete completamente abierto. (CORREA HAZ, 2016) ver figura 5.4 (c)

Los rodetes de tipo abierto. Por último, este rotor se basa en álabes fijados al lado del eje de la bomba que por consiguiente cuenta con muchas limitaciones mecánicas en cuanto a la resistencia de los materiales y su diseño. (CORREA HAZ, 2016) ver figura 5.4 (d)

Figura 4

Tipos de rodete



Fuente. (Claudio Mataix, 1982)

1.3 Bombas Periféricas

Las bombas periféricas son pequeñas bombas que, debido a sus características propias de construcción, pueden lograr altas presiones por medio de pequeñas potencias y por consiguiente las hace especialmente útiles para equipos de presurización domésticos, circuitos de calefacción o para aplicaciones industriales. Este tipo de bomba funciona formando remolinos en el líquido a través de sus álabes a velocidades muy bastante altas, produciendo por consiguiente mucha fuerza en su impulsor. (*Bombas Periféricas o Tipo Turbina*, s. f.)

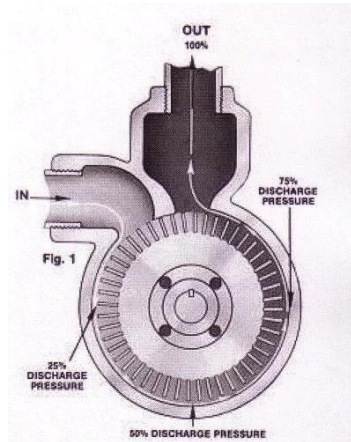
Su funcionamiento se basa de la siguiente manera:

- La turbina gira entre dos anillos dentro de la carcasa, los que tienen cada uno un canal anular en la zona de los álabes, por donde circula el líquido desde la entrada hasta la salida.

- El líquido es arrastrado por los alabes de la turbina, por un efecto de deslizamiento, el que combinado con la acción centrífuga en los alabes, da energía de presión en forma paulatina hasta la descarga. (*Bombas Periféricas o Tipo Turbina*, s. f.)

Figura 5

Turbina y carcasa de una bomba periférica.



Fuente: (<https://www.hidrotecocr.com/bomba-centrifuga-vs-bomba-periferica/>)

1.4 Diferencias entre una bomba centrífuga y una bomba periférica

- La relación entre caudal y presión: las bombas centrífugas entregan un mayor caudal a menor presión mientras tanto las bombas periféricas permiten obtener una mayor presión de circulación, pero a su vez permiten un menor caudal.
- Sus turbinas: el impulsor de la bomba periférica es de menor tamaño en comparación con las turbinas o rodetes de la centrífuga.
- Su forma: las bombas periféricas disponen de un impulsor dentado o turbina, que es por donde circula el agua. En cambio, para las bombas centrífugas el líquido ingresa por un agujero hacia el rodete que es por donde circula el fluido del centro hacia los lados impulsado por unas paletas o alabes curvados que contiene en el interior del rodete.

- Su tamaño: las bombas periféricas son de menor tamaño en comparación con las centrífugas.
- Sus precios: la relación de precio entre una bomba periférica y centrífuga es casi el doble una de la otra, por ende, la bomba periférica posee un menor precio en comparación con la centrífuga. (*Diferencias entre bombas periféricas y centrífugas* / Editores, s. f.)

Figura 6

Bombas centrífugas y periféricas.



Fuente: (<https://zummar.com/wp-content/uploads/2022/06/bomba-centrifuga-periferica-truper.jpg>)

1.5 Fluido

El fluido es aquel cuerpo que posee la capacidad de fluir, no posee rigidez y elasticidad. Y por consiguiente si se somete seguidamente a cualquier fuerza que altere su forma este adoptará la forma del recipiente en donde está contenido. (Casagua & Ortiz, s. f.)

Los fluidos se pueden clasificar en

1.5.1 Fluidos newtonianos

Son aquellos que están sometidos a las leyes de la mecánica simple y poseen viscosidad constante por ejemplo fluidos sencillos como el agua.

1.5.2 Superfluidos

También llamados fluidos perfectos, este tipo de fluidos se caracteriza por no poseer nada de viscosidad, es decir de fluir ante la menor fuerza aplicada sin ofrecer nada de resistencia, el origen de este tipo de fluidos es sintético.

1.5.3 Fluidos no newtonianos

Es un tipo intermedio entre fluido y sólido que depende de factores de temperatura y tensión cortante, dependiendo de la fuerza que impacten sobre dicho fluido cambiará su viscosidad reaccionará como un sólido, ofreciendo resistencia, mientras que si se le deja en reposo fluirá como un líquido más o menos denso. (Luna Gómez, 2020)

1.6 Presión

La presión se define como una fuerza normal ejercida por un fluido por unidad de área. Se habla de presión sólo cuando se trata de un gas o un líquido ya que la presión se define como fuerza por unidad de área, tiene la unidad de newtons por metro cuadrado $\left(\frac{N}{m^2}\right)$ la cual se llama pascal (Pa), para una tubería o canal la diferencia de presión entre dos puntos es el origen del movimiento del fluido llamado caudal. (Yunus Cengel, s. f.)

1.6.1 Presión Atmosférica

La presión atmosférica (P_{atm}) es la fuerza por unidad de superficie que ejerce la atmósfera en un punto específico. Es la consecuencia de la acción de la fuerza de la gravedad sobre la columna de aire situada por encima de este punto. En resumen, a mayor altitud sobre el nivel del mar, menor será la presión atmosférica y viceversa. (*Presión atmosférica*, 2022)

1.6.2 Presión Absoluta

La presión real que se encuentra en una posición dada se llama presión absoluta (P_{abs}), y se mide en relación con el vacío absoluto, en donde no existe presencia de aire, de cierta manera se puede hallar gracias a la suma de la presión manométrica más la atmosférica. (Yunus Cengel, s. f.)

$$P_{abs} = P_{man} + P_{atm} \quad \text{Ecuación 1. Presión absoluta}$$

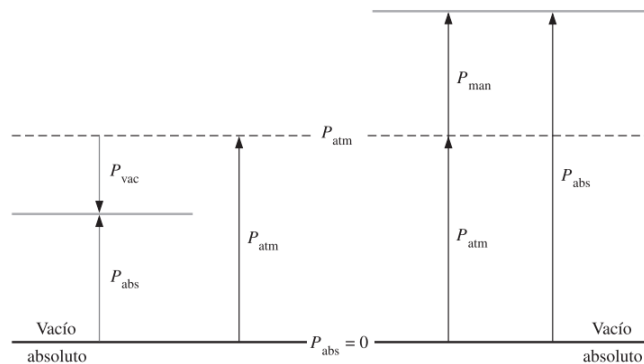
Fuente (Robert Mott, s. f.)

1.6.3 Presión manométrica

Es obtenida gracias a la medición del fluido con ayuda de un instrumento de medición conocido como manómetro es conocida como presión manométrica (P_{man}). También conocida como sobrepresión, es la presión medida en relación con la presión atmosférica esto conlleva a que la presión medida cambia con la altitud y las condiciones climáticas respectivas. (Casagua & Ortiz, s. f.)

Figura 7

Esquema de la relación de presiones



Fuente: (Yunus Cengel, s. f.)

1.7 Velocidad del fluido

El método de cálculo de la velocidad de flujo en un sistema de ductos cerrados depende del principio de continuidad. En donde considerando un conducto el cual circula un fluido con un flujo volumétrico (caudal) constante de la sección 1 a la sección 2. Es decir, la cantidad de fluido que circula a través de cualquier sección en cierta cantidad de tiempo es constante. Esto se conoce como flujo estable. Por ello, si entre las secciones 1 y 2 no se agrega fluido ni se almacena o retira, entonces la masa de fluido que circula por la sección 2 en cierta cantidad de tiempo debe ser similar a la que circula por la sección 1.

$$V = \frac{Q}{A} \quad \text{Ecuación 2. Velocidad del sistema}$$

En donde: $V = \text{velocidad del flujo } \left(\frac{m}{s}\right)$

$$Q = \text{Caudal (Flujo volumetrico)} \left(\frac{L}{\text{min}}\right) \text{ ó } \left(\frac{m^3}{s}\right)$$

$$A = \text{area de la sección } (m^2)$$

Fuente (Robert Mott, s. f.)

1.8 Caudal o Flujo volumétrico

Es el volumen de fluido que circula en una sección por unidad de tiempo o también hace referencia a la cantidad de líquido o fluido que circula a través de un tramo de conducto o tubería.

(Robert Mott, s. f.)

$$Q = V * A \quad \text{Ecuación 3. Caudal}$$

Fuente: (Robert Mott, s. f.)

1.9 Cavitación

Este fenómeno se origina cuando la presión de succión en la entrada de la bomba es demasiado baja, esto es ocasionado cuando el líquido en movimiento entra en rozamiento con una superficie el cual produce una caída de presión local, y de cierta manera puede ocurrir que se alcance la presión de vaporización del líquido y en ese instante se formen burbujas de vapor, estas

burbujas viajan a diferentes zonas de mayor presión y estallan este fenómeno causa ondas de presión que viajan en el líquido y las cuales logran disiparse en la corriente del líquido o pueden chocar con una superficie ocasionando un debilitamiento de la misma, degradando el rendimiento de la bomba, este fenómeno se puede identificar cuando la bomba genera un ruido fuerte de forma intermitente.(Edison Alejandro Ramírez Pozo, s. f.)

1.10 Golpe de ariete

Los pequeños cambios en la densidad de los líquidos correspondientes a cambios grandes en la presión llegar a tener consecuencias importantes, ocasionando el fenómeno conocido como golpe de ariete que se caracteriza por un sonido que semeja al que se produce cuando se “martillea” un tubo. Éste se presenta cuando un líquido en una red de tuberías encuentra una restricción abrupta del flujo por ejemplo una válvula cerrada y se comprime de manera local. Las ondas acústicas producidas chocan con las superficies del tubo, codos y válvulas conforme se propagan y se reflejan a lo largo de éste, haciéndolo vibrar ocasionando el sonido mencionado anteriormente.(Yunus Cengel, s. f.)

1.11 Cebado de una bomba

El cebado es una operación que se debe llevar con anterioridad al momento en el que se ponen en funcionamiento las bombas. Es un proceso que se le aplica a los conductos de cámara de succión y de la carcasa con el mismo líquido que se bombeará. Uno de los principales objetivos de este procedimiento es asegurar el correcto funcionamiento de la bomba, el papel primordial que juega el líquido que se utiliza para el cebado es el de reemplazar el aire, gas o vapor que se puedan localizar en los conductos de las bombas. («¿Qué significa cebar una bomba?», 2021)

Este proceso se puede llevar a cabo por medio dos casos

1.11.1 Proceso de cebado en caso de carga de succión positiva:

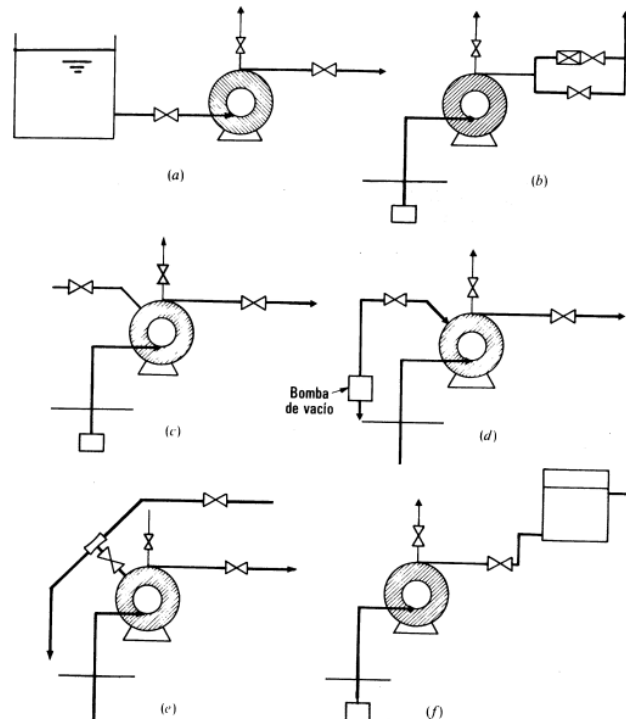
Se pueden seguir las indicaciones para este tipo de carga, por lo general para este tipo carga el eje de la bomba se ubica por debajo por el nivel del dispositivo de aspiración.

- Se realiza la apertura de todas las válvulas de succión permitiendo que el líquido entre a la tubería de succión y a la carcasa de la bomba.
- Se abre la válvula de alivio de aire o válvula de purga que por lo general se encuentra ubicada en la parte superior de la carcasa.
- Por último, la bomba estará completamente cebada cuando el líquido empiece a salir de forma continua por la válvula de alivio, es decir sin burbujas de aire. («¿Qué significa cebar una bomba?», 2021)

1.11.2 Proceso de cebado cuando se tiene una carga negativa de succión

Se pueden seguir las indicaciones para este tipo de carga, por lo general para este tipo carga el eje de la bomba se encuentra por encima por el nivel del dispositivo de aspiración.

- Para este tipo de situaciones se recomienda hacer es usar un By Pass o peso lateral sobre la válvula check de descarga, lo que permitiría el uso del líquido en la misma línea de liberación.
- Utilizar una válvula de aspiración o válvula antirretorno. Este tipo de válvula ayudará a retener el líquido presente en la tubería de succión y en la carcasa de la bomba, una vez esta haya sido inicialmente cebada. («¿Qué significa cebar una bomba?», 2021)

Figura 8*Esquemas para el cebado de bombas*

Fuente: (Claudio Mataix, 1982)

a) La bomba se ceba abriendo la válvula dispuesta en la línea de aspiración; b) En la tubería de impulsión en paralelo con la válvula de impulsión y de retención se dispone la válvula de cebado, gracias a la válvula de retención, la tubería retiene el líquido cuando la bomba se detiene, posee válvula antirretorno; c) la válvula situada a la izquierda es la válvula de cebado y la válvula dispuesta en vertical es un grifo de purga que deja escapar el agua durante el cebado, posee válvula antirretorno; d) cebado con ayuda de bomba de vacío; e) cebado con eyector; f) depósito

intercalado en la tubería de impulsión que retiene el líquido necesario para el cebado. Fuente: (Claudio Mataix, 1982)

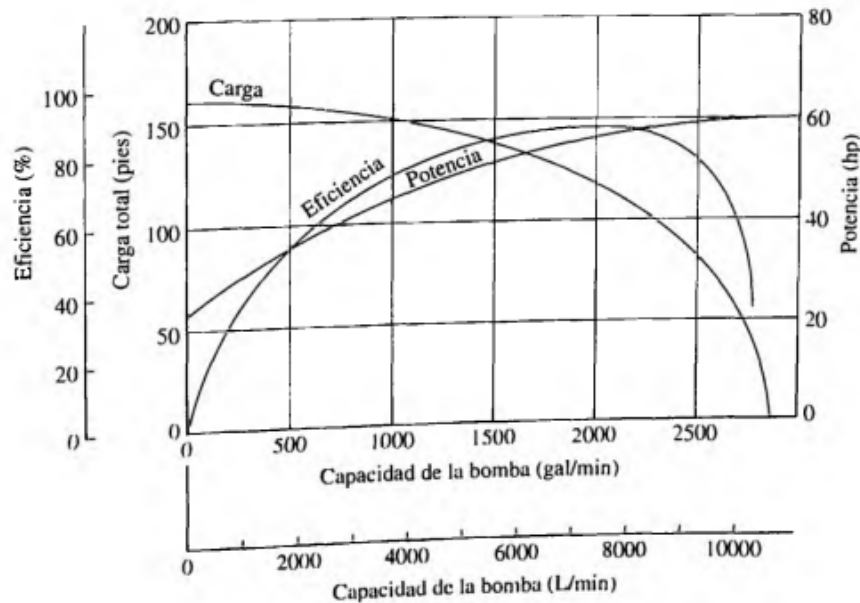
1.12 Curvas características de una bomba

La curva característica de una bomba centrífuga, es aquella representación gráfica, donde la relación única de Carga o altura hidráulica es capaz de levantar la bomba ubicada en el eje Y, Vs el Caudal ubicado en el eje X, que garantiza el equipo de bombeo a cierta velocidad de giro de su impulsor.

Cada fabricante genera para cada uno de sus modelos, catálogos donde se pueden seleccionar diversas curvas características de la bomba teniendo en cuenta el punto de operación necesario a cumplir en la instalación. (*Interpretación básica de La Curva Característica de Bomba Centrífuga. – Fesmex, s. f.*)

Figura 9

Curvas características de una bomba centrífuga



Fuente: (Robert Mott, s. f.)

Se tiene presente que una bomba centrífuga, es capaz de entregar un caudal desde 0 hasta un determinado valor máximo dependiendo del tipo y tamaño de la bomba y teniendo en cuenta las diferentes condiciones de aspiración.

A partir de la Figura 9 la curva de carga (altura vs caudal) de una bomba se representa la energía total que desarrolla la bomba en función del caudal proporcionado por la misma, a una velocidad de rotación constante.

La curva de eficiencia (eficiencia vs caudal), hace referencia a la relación entre la potencia hidráulica que se entrega al fluido proveniente de la bomba y la potencia eléctrica consumida por el motor. Para esta curva se analiza que la eficiencia es 0 cuando el caudal es 0, de esta manera a medida que el caudal aumenta la eficiencia incrementa al valor máximo, conocido como punto de máxima potencia. Pero después de ese preciso momento, a medida que incrementa el caudal, la eficiencia disminuye gradualmente.

Una última curva hace referencia a la curva de potencia (potencia vs caudal), que es de tipo ascendente, de modo que, al impulsar un caudal de líquido superior, la energía que se debe proporcionar sobre el eje de la bomba asimismo debe ser mayor considerando las diferentes pérdidas que producen las bombas como: pérdidas mecánicas, pérdidas de volumen y pérdidas hidráulicas.(Casagua & Ortiz, s. f.)

1.13 Curva del sistema

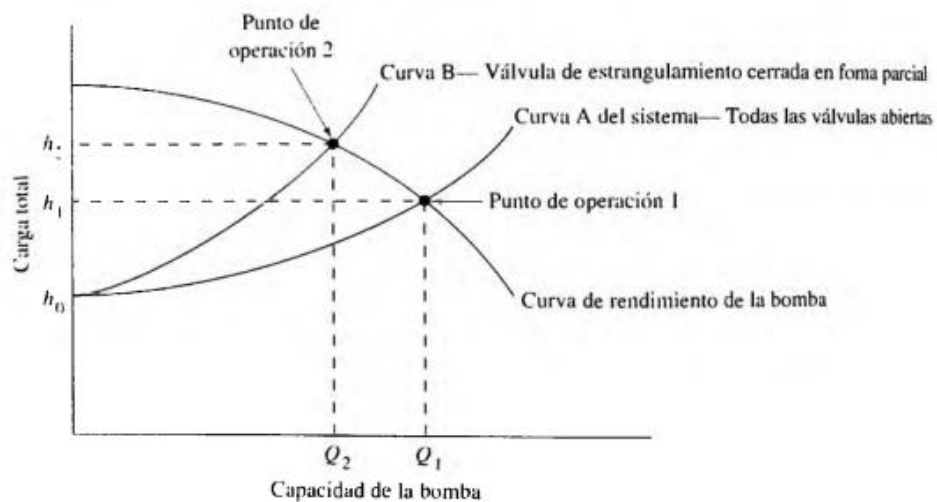
La curva de un sistema permite obtener una imagen gráfica correspondiente a la altura de descarga que es requerida para mover el fluido alrededor del sistema propuesto. Para la curva del sistema se tiene como consideración la altura requerida de la bomba del sistema que se halla gracias a la altura con la que la bomba debe entregar el fluido más la caída de presión total en todo el sistema.

1.13.1 Punto de operación para una bomba

El punto de operación de una bomba se define como el flujo volumétrico que enviara cuando se instale en un sistema dado. La carga total que desarrolla la bomba se determina por medio de la resistencia del sistema que corresponde a la misma del flujo volumétrico, en resumen, es el punto en donde las dos curvas se cruzan el cual determinaran el caudal y la presión que será producido por el sistema. (Robert Mott, s. f.)

Figura 10

Punto de operación de una bomba



Fuente: (Robert Mott, s. f.)

1.14 Sistemas de conexión para bombas

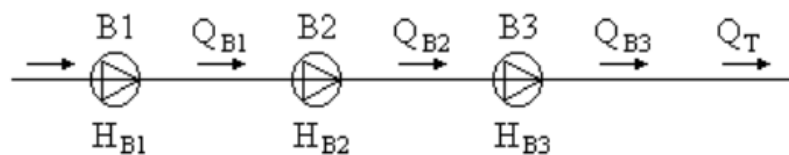
Los sistemas de conexión se pueden dar entre dos o más bombas, por lo general en serie y paralelo, también existe la conexión de forma mixta en la cual es necesario tener tres bombas mínimo. Estos sistemas son usados para facilitar un diseño de bombeo de manera que sirvan para aumentar la altura manométrica o también aumentar el caudal.

1.14.1 Sistema de conexión en serie

Este tipo de acoplamiento consiste en la conexión de dos o más bombas y se emplea en casos en los cuales se desea elevar un mismo caudal a distintas alturas, venciendo grandes resistencias debidas a grandes longitudes de las conducciones de diferentes líquidos, en donde la tubería de impulsión de una bomba se convierte en la tubería de aspiración de la siguiente bomba, por lo que el caudal bombeado es el mismo para todas ellas, y la altura del conjunto es la suma de las alturas desarrolladas por las bombas individualmente. (Marbello Pérez, 2007)

Figura 11

Conexión de bombas en serie



$$Q_T = Q_{\text{conjunto serie}} = Q_{B1} = Q_{B2} = Q_{B3} = \dots = Q_{Bn}$$

$$H_{BT} = H_{B1} + H_{B2} + H_{B3} + \dots + H_{Bn}$$

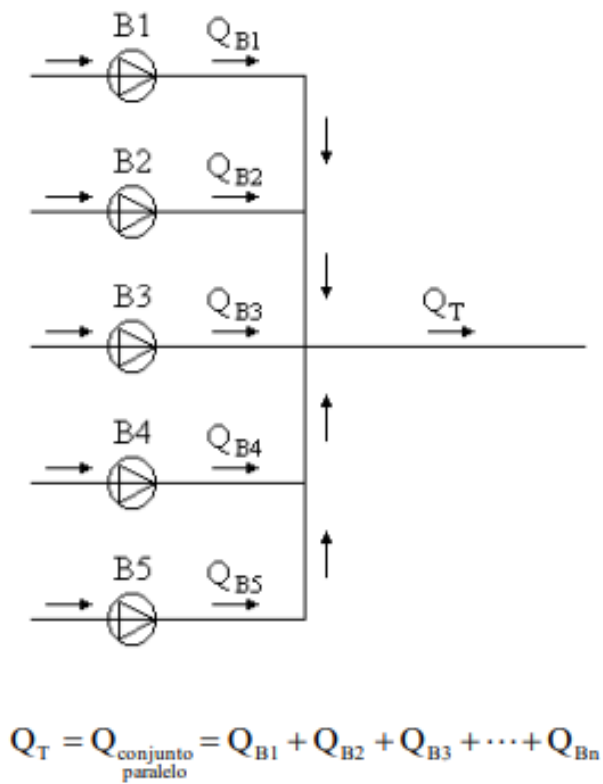
Fuente: (Marbello Pérez, 2007)

1.14.2 Sistema de conexión en paralelo

Cuando se acoplan dos o más bombas en paralelo, cada una de éstas aspira el fluido desde un tanque o depósito común, para reunir sus respectivos caudales impulsados y suministrar dicho caudal a una tubería de impulsión común para ellas, para este tipo de acoplamiento, el caudal total del sistema es la suma de los caudales individuales proporcionados por cada bomba, y la altura total es constante e igual a la de cada una de las bombas individualmente. (Marbello Pérez, 2007)

Figura 12

Conexión de bombas en paralelo



$$H_{BT} = H_{B1} = H_{B2} = H_{B3} = \dots = H_{Bn}$$

Fuente: (Marbello Pérez, 2007)

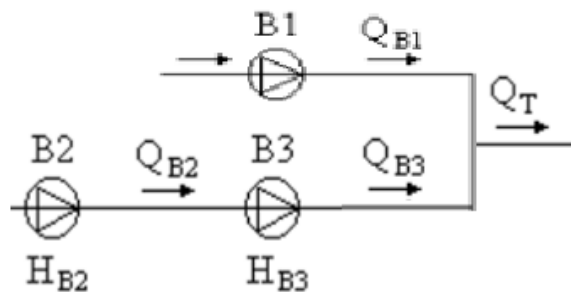
1.14.3 Sistema de conexión mixto

Para este tipo de conexión es necesario mínimo la unión de tres bombas en donde se tiene la disposición de conectar dos en serie y agregar una tercera para conectarla en paralelo con la

salida de las bombas en serie y suministrar el caudal obtenido a una tubería en común para todas; de esta manera, se logra obtener mayor altura de elevación con en el sistema en serie y a su vez incrementar el caudal con el sistema en paralelo.

Figura 13

Sistema de conexión mixto



Fuente: (Marbello Pérez, 2007)

1.15 Ecuación de Continuidad

Esta ecuación se centra en el Principio de conservación de la Masa, estableciendo que para un fluido incompresible la masa total de un fluido que circula por un tubo, sin contemplar pérdidas ni ganancias, se mantiene de manera constante; es decir que la masa se conserva sin cambios a medida que el fluido se conduce por la tubería, se obtiene la siguiente formula:

$$m_1 = m_2$$

$$m = \rho * A * v$$

$$\rho_1 * A_1 * V_1 = \rho_2 * A_2 * V_2 \quad \text{se tiene que } \rho \text{ es la densidad del fluido}$$

$$\text{que para este caso permanece igual } \rho_1 = \rho_2$$

De esta manera la Ecuación de continuidad queda de la siguiente manera

$A_1 * V_1 = A_2 * V_2$ **Ecuación 4.** Ecuación de continuidad

En donde $A = \text{área [m}^2\text{]}$; $V = \text{velocidad del fluido } \left[\frac{m}{s}\right]$

Haciendo correlación con la Ec. 3 se tiene que el caudal es igual el que entra al que sale

$$Q_1 = Q_2$$

1.16 Ecuación de Bernoulli

El teorema de Bernoulli es una forma de expresión de la Ley de Conservación de la Energía para el flujo de fluidos en un conducto. Esta ecuación hace relación a un balance de energía entre dos secciones de flujo en un conducto.

En cada sección de flujo existen energías correspondientes a la presión, velocidad y a su posición, de esta forma la energía total existente en una sección de flujo. La ecuación de Bernoulli no tiene presente los tipos de pérdidas que se puedan generar en un sistema, y asocia que la energía que posee un fluido ideal (sin viscosidad ni fricción) permanece de manera constante durante todo el proceso de circulación. (Edison Alejandro Ramírez Pozo, s. f.)

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Ecuación 5. Ecuación de Bernoulli.

En donde: $P = \text{presión del fluido [KPa]}$

$z_1 = \text{Altura estatica de succion};$ $z_2 = \text{Altura estatica de descarga [m]}$

$\gamma = \text{peso especifico del fluido } \left[\frac{KN}{m^2}\right];$ $g = \text{gravedad } \left[\frac{m}{s^2}\right]$

$\frac{V^2}{2g} = \text{Altura cinetica (m)}$

1.17 Ecuación general de la energía

Es una expansión de la ecuación de Bernoulli, que nos permite resolver problemas en los cuales se presentan pérdidas y adiciones de energía en sistema cerrado de tuberías que se presentan para problemas reales.

Ecuación 6. Ecuación de la energía

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_L - h_R = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Fuente: (Robert Mott, s. f.)

En donde se agregan los términos de h_A y h_L respecto a la ecuación principal de Bernoulli

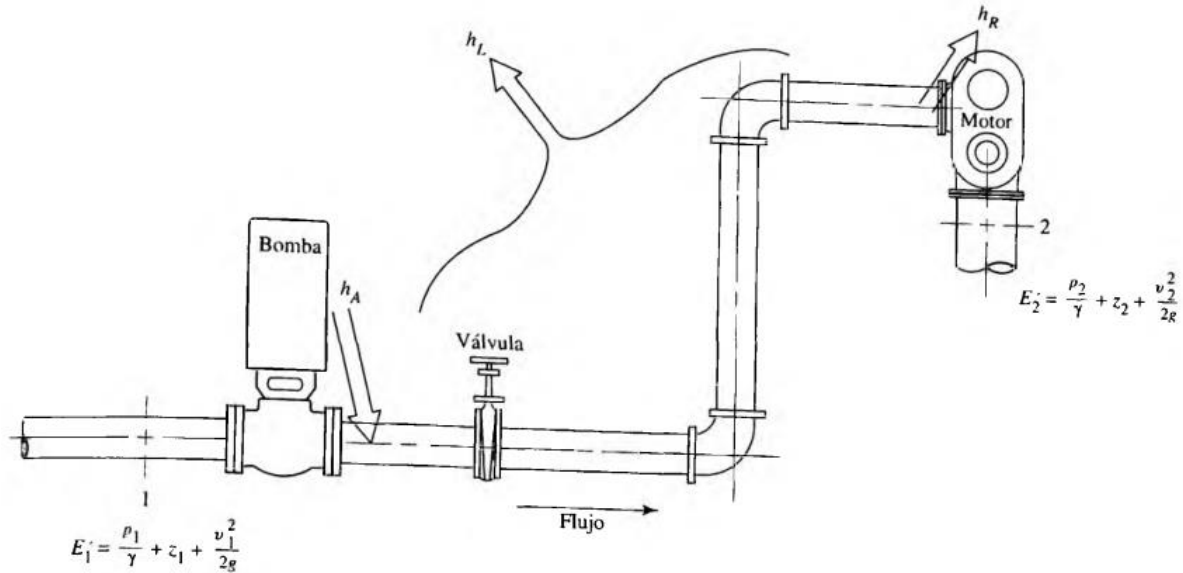
h_A = Es la energía que se agrega al fluido con un dispositivo mecánico, como una bomba; denominado también como carga total sobre la bomba.

h_L = Son las pérdidas de energía del sistema por la fricción en las tuberías, o pérdidas menores por válvulas y otros accesorios.

h_R = Es la energía que se remueve del fluido por medio de un dispositivo mecánico, como un motor de fluido.

Figura 14

Sistema de flujo del fluido que identifica la ecuación de la energía



Fuente: (Robert Mott, s. f.)

1.18 Pérdidas de energía en un sistema de bombeo h_L

En los sistemas de tuberías se pueden encontrar dos tipos de pérdidas que se dividen en pérdidas primarias y secundarias.

Ecuación 7. Perdida de carga total

$$h_L = h_p + h_s$$

En donde: $h_p =$ *perdidas primarias*

$h_s =$ *peridas secundarias*

Fuente: (Robert Mott, s. f.)

1.18.1 Pérdidas de carga primarias (h_p)

Hacen referencia a las pérdidas por fricción, lo que se debe a que un fluido en movimiento presenta resistencia por fricción al fluir y parte de la energía del sistema se convierte en energía térmica, que se disipa a través de las paredes de la tubería por la que circula el fluido. La magnitud de la energía que se pierde depende de las propiedades del fluido y de la tubería tales como velocidad, tamaño, acabado de la pared de la tubería y longitud de esta. (Robert Mott, s. f.)

Ecuación 8. Pérdidas de carga primarias (h_p)

$$h_p = f \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

En donde: f = *factor de fricción (adimensional)*

L = *Longitud de la tubería (m)*

D = *Diametro de la tubería (m)*

V = *Velocidad del flujo ($\frac{m}{s}$)*

g = *Gravedad ($\frac{m}{s^2}$)*

Fuente: (Robert Mott, s. f.)

1.18.2 Pérdidas de carga secundarias (h_s)

Son las pérdidas de forma y hacen referencia a las transición y estrechamientos de la corriente debido a los accesorios presentes en la tubería. Es habitual que los diferentes elementos que controlan la dirección o el flujo volumétrico del fluido en un sistema generen turbulencia local en éste, ocasionando que la energía se disipe como calor. Siempre que hay una restricción; Por lo general este tipo de pérdidas es pequeña en comparación con las pérdidas por fricción en las tuberías. Por tanto, dichas pérdidas reciben el nombre de pérdidas menores. (Robert Mott, s. f.)

Ecuación 9. Pérdidas de carga secundaria (h_s)

$$h_s = K \frac{V^2}{2g}$$

En donde: K = *coeficiente de resistencia (adimensional)*

V = *Velocidad del fluido ($\frac{m}{s}$)*

g = *Gravedad ($\frac{m}{s^2}$)*

Fuente: (Robert Mott, s. f.)

2. DISEÑO Y DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

2.1 Selección de las bombas

Para la selección de las bombas a utilizar en el banco de pruebas de bombas con diferentes tipos de conexión, se deben tener presente diferentes puntos y referencias para tener en cuenta para la selección de estas, gracias a la información brindada por el libro “mecánica de fluidos de Robert L. Mott- sexta edición” se tienen los siguientes ítems:

1. Naturaleza del líquido a bombear.
2. Capacidad requerida (flujo volumétrico o caudal).
3. Condiciones del lado de succión de la bomba.
4. Condiciones del lado de descarga de la bomba.
5. Carga total sobre la bomba.
6. Tipo de sistema donde la bomba impulsa el fluido.
7. Tipo de fuente de potencia.
8. Limitaciones de espacio, peso y posición
9. Condiciones ambientales.
10. Costo de adquisición e instalación de la bomba.
11. Costo de operación de la bomba.
12. Códigos y estándares gubernamentales.

Para la selección de las bombas centrifugas a utilizar, se tuvo en cuenta el líquido a bombear que para este caso es agua, así como también los tipos de sistema donde la bomba impulsara el fluido, el espacio en donde serán utilizadas y a su vez el costo de adquisición de estas, ya que las bombas no van a ser utilizadas para mover una gran cantidad de agua o trasportar el

fluido a grandes distancias no se necesita que sean de gran tamaño o una capacidad de flujo volumétrico alto, de esta manera se procede a la adquisición de 3 bombas periféricas de las mismas características que son usualmente utilizadas en el área domestica con las siguientes características.

Bomba periférica Pretul de ½ Hp de la referencia BOAP-1/2P3 de uso agrícola y domestico para transporte de agua limpia.

Figura 15

Bomba BOAP-1/3P3



Fuente : (*ficha tecnica BOAP1/2P3.pdf, (s. f.)*)

La bomba posee un rodete de latón, motor eléctrico con bobinas en aluminio cerrado con ventilación externa, un capacitor de trabajo continuo y protecciones térmicas.

Figura 16

Impulsor de latón de alabes radiales bomba periférica.

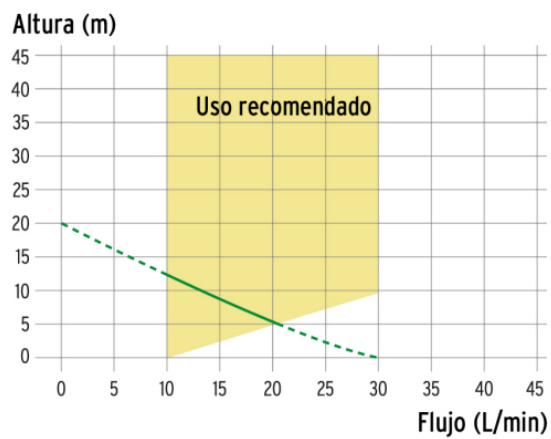


Fuente: autor

La ficha técnica proporciona la curva característica de la bomba periférica a utilizar en el banco de pruebas.

Figura 17

Curva característica bomba BOAP-1/2P3



 BOAP-1/2P3

Fuente: (*ficha tecnica BOAP1/2P3.pdf* (s. f.))

Las características que ofrece la bomba son las siguientes:

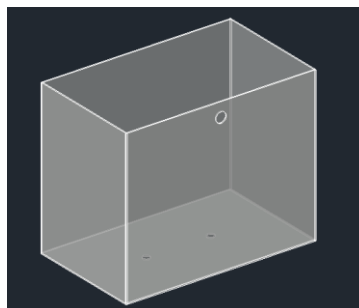
Tabla 1*Especificaciones de la bomba periférica*

Especificaciones	
Potencia	1/2 HP
Altura máxima	20 m
Flujo máximo	30 L/min
Profundidad máxima de succión	8 m
Diámetro de Entrada / Salida	1" NPT
Velocidad	3,450 rpm
Material del embobinado de motor	Aluminio
Ciclo de trabajo	20 minutos de trabajo por 15 minutos de descanso. Máximo diario 6 horas
Tensión /Frecuencia	127 V / 60 Hz
Consumo	3 A
Dimensiones (Base x Altura x Fondo)	12 x 15 x 24 cm
Peso	3.4 kg
Empaque individual	Caja

Fuente: *ficha tecnica BOAP1/2P3.pdf* (s. f.)

2.2 Tanque o depósito para agua

Para llevar a cabo el diseño del tanque, se tomaron en cuenta la capacidad mínima que debe tener el tanque para un correcto funcionamiento del banco de pruebas, pero a su vez se fabricó un tanque de mayor tamaño por si a futuro es requerido mayor capacidad de este para nuevas pruebas que se puedan llegar a requerir a futuro, se llevó a cabo un diseño en el software AutoCAD (véase la figura 18)

Figura 18*Diseño tanque AutoCAD*

Fuente: Autor

Diámetro de la tubería PVC: 0.02151 m (3/4 pulg.)

Área de la tubería $A = \pi \frac{D^2}{4}$ **Ecuación 10**

. Cálculo del área para una tubería

$$A = \pi \frac{(0.02151m)^2}{4} \longrightarrow A = 3.634 \times 10^{-4} m^2$$

El volumen total de la tubería se calcula multiplicando la longitud total de la tubería por el área calculada. $L_t = 6m$

$$V_t = L_t * A \longrightarrow V_t = (6m) * (3.634 \times 10^{-4} m^2)$$

$$V_t = 2.1804 \times 10^{-3} m^3 = 2.1804 L$$

Haciendo uso de la información teórica de cada bomba se tiene que cada una logra tener un flujo máximo de $30 \frac{L}{min}$ ($0.0005 \frac{m^3}{s}$) de esta manera de manera teórica se obtiene un flujo total de $60 \frac{L}{min}$ ($0.0010 \frac{m^3}{s}$) requerido por las bombas.

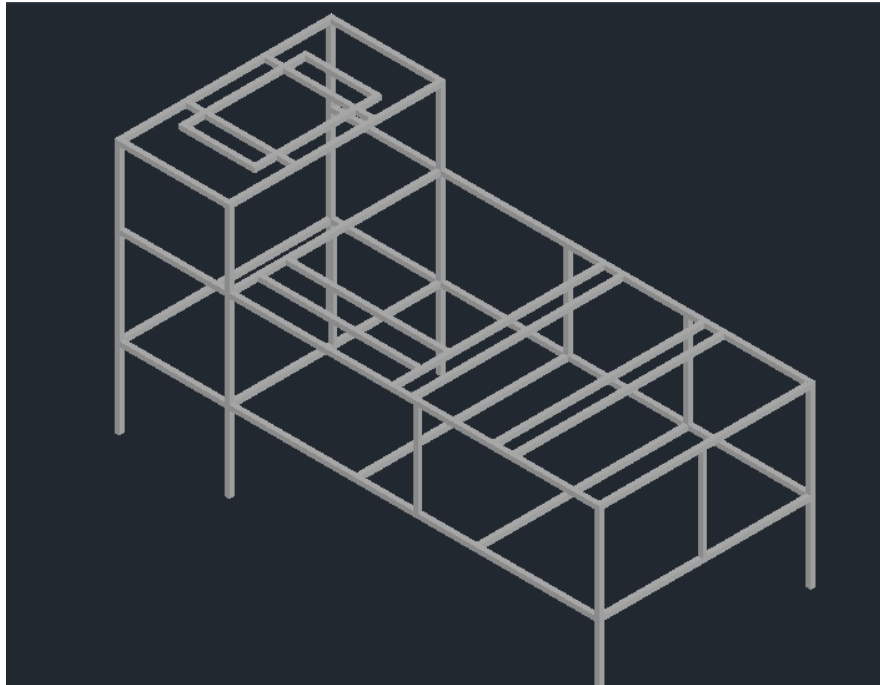
Teniendo en cuenta lo anterior nombrado se diseñó y fabrico un tanque de medias 30 cm de ancho, 50 cm de largo y 40 cm de alto para una capacidad neta de 60 litros, cabe resaltar que la capacidad de llenado es de 52.5 litros de agua ya que en la parte superior del tanque se encuentra la tubería de retorno de todo el sistema

2.3 Diseño de la estructura

Para el diseño de la estructura, se ha tenido en cuenta las dimensiones de los diferentes componentes que debe tener el banco de pruebas y de esta manera realizar una distribución apropiada para obtener un uso más efectivo a la hora de realizar prácticas en el laboratorio, con la ayuda de AutoCAD se realiza un diseño previo a la construcción (véase figura 19). Teniendo en cuenta lo anterior, la orientación del banco de pruebas, la colocación del tanque y las bombas para un mejor desempeño del sistema se presenta un diseño conceptual del banco de pruebas.

Figura 19

Diseño en AutoCAD de la estructura



Fuente: Autor

2.4 Accesorios

El sistema requiere de varios accesorios para realizar las diferentes conexiones y mediciones al momento de realizar pruebas, de esta manera a continuación se enlistan y se especifican cada uno de los elementos utilizados en este proyecto. Véase Tabla 2.

Tabla 2*Accesorios e instrumentos del banco didáctico*

Accesorio	Cantidad
Tubo PVC $\frac{3}{4}$ pulg.	3 unidades x 6 m
Adaptador hembra $\frac{3}{4}$ pulg.	2 unidades
Adaptador macho 1 pulg	8 unidades
Reductor de 1 pulg a $\frac{3}{4}$ pulg	8 unidades
Válvula de bola $\frac{3}{4}$ pulg.	7 unidades
Tees $\frac{3}{4}$ pulg.	3 unidades
Codos 90° $\frac{3}{4}$ pulg.	18 unidades
Codo 45° $\frac{3}{4}$ pulg.	1 unidad
Adaptador universal $\frac{3}{4}$ pulg.	14 unidades
Uniones $\frac{3}{4}$ pulg	8 unidades
Manómetros	5 unidades
Vacuómetro	2 unidades
Caudalímetro	1 unidad
Interruptor Balancín con Piloto	3 unidades
Fusible Largo en Vidrio 3A	3 unidades
Porta fusible	3 unidades
Dimmer 2000W - Variador de Voltaje AC	3 unidades
Voltímetro digital	3 unidades
Cable encauchetado 2x16	
Alambre de cobre aislado	

Fuente: Autor

Figura 20

Accesorios utilizados en el proyecto



Fuente: Autor

2.4.1 Tubo PVC

El banco de pruebas utiliza tubería para el transporte de agua a través del sistema que se requiere en las pruebas. Para este proyecto se utilizó en su totalidad tubería de PVC (policloruro de vinilo) con una medida de $\frac{3}{4}$ de pulgada clasificada según tubería comercial con RDE 11, este tipo de tubería favorece en temas de costos y previene la corrosión interna de la misma.

Figura 21

Tubería PVC



Fuente: Tubos y accesorios CELTA, s. f.

Tabla 3

Medidas de la tubería de PVC Anexos

COLOR BLANCO										
Tubo RDE	Presión de trabajo a 23°C	REFERENCIA	Diámetro nominal		Diámetro exterior		Diámetro interior mínimo aproximado		Espesor de pared mínimo	
			pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm
9	500 psi = 35,15 kg/cm ²	2900267*	1/2	21	0,840	21,34	0,641	16,29	0,093	2,36
11	400 psi = 28,12 kg/cm ²	2900211*	3/4	26	1,050	26,67	0,847	21,51	0,095	2,41
13,5	315 psi = 22,15 kg/cm ²	2900217	1/2	21	0,840	21,34	0,708	17,98	0,062	1,57
		2900214	1	33	1,320	33,40	1,108	28,14	0,097	2,46
21	200 psi = 14,06 kg/cm ²	2900238	3/4	26	1,050	26,67	0,922	23,42	0,060	1,52
		2900221	1	33	1,315	33,40	1,180	29,98	0,063	1,60
		2900226	1-1/4	42	1,660	42,16	1,490	37,86	0,079	2,01
		2900223	1-1/2	48	1,900	48,26	1,707	43,36	0,090	2,29
		2900228	2	60	2,375	60,32	2,133	54,18	0,113	2,87
		2900231	2-1/2	73	2,875	73,02	2,582	65,57	0,137	3,48
		2900234	3	88	3,500	88,90	3,143	79,83	0,167	4,24
26	160 psi = 11,25 kg/cm ²	2900241	4	114	4,500	114,30	4,042	102,66	0,214	5,44
		2900243	1	33	1,315	33,40	1,187	30,15	0,060	1,52
26	160 psi = 11,25 kg/cm ²	2902456	1-1/4	42	1,660	42,16	1,523	38,67	0,064	1,63
		2902455	1-1/2	48	1,900	48,26	1,744	44,30	0,073	1,85
		2900247	2	60	2,375	60,32	2,180	55,38	0,091	2,31
		2900252	3	88	3,500	88,90	3,211	81,56	0,135	3,43

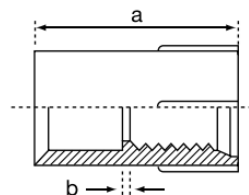
Fuente: Tubos y accesorios CELTA, s. f.

2.4.2 Adaptador Hembra

Permite acoplar y conectar las 2 salidas del depósito de agua con el sistema de tuberías del banco de pruebas. (véase en la figura 22)

Figura 22

Accesorio (adaptador hembra)



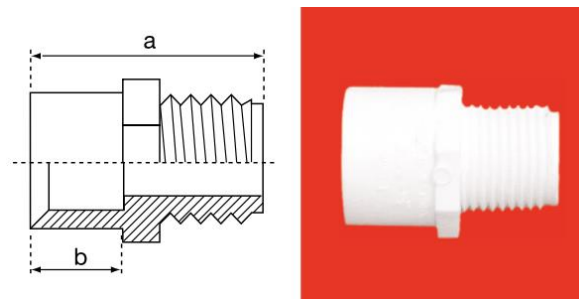
Fuente: Tubos y accesorios CELTA, s. f.

2.4.3 Adaptador macho

Son utilizados en las entradas y salidas de cada bomba periférica, al igual que en el caudalímetro, (véase las figura 23) la medida de este accesorio es de 1 pulgada, pero son conectados a bujes reductores de 1 pulgada a $\frac{3}{4}$ de pulgada para permitir que toda la tubería tenga la misma medida.

Figura 23

Accesorio (adaptador macho)



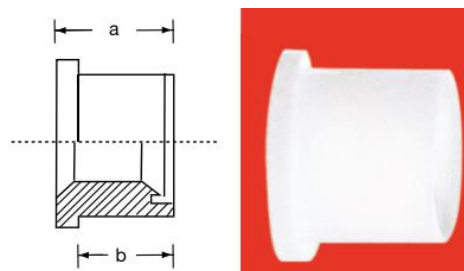
Fuente: Tubos y accesorios CELTA, s. f.

2.4.4 Buje reductor

Permiten la reducción al paso de un conducto, para este caso se utilizaron bujes de PVC de 1 pulg. a $\frac{3}{4}$ de pulg. en los elementos nombrados anteriormente, permitiendo un paso constante de agua en todo el sistema.

Figura 24

Accesorio (Buje reductor)



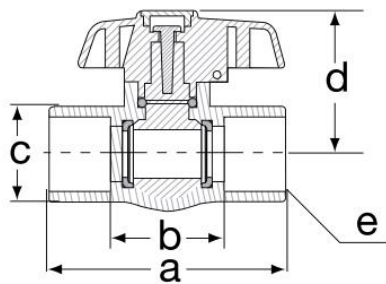
Fuente: Tubos y accesorios CELTA, s. f.

2.4.5 Válvula de bola

Permiten restringir o habilitar el paso del agua para las diferentes conexiones del sistema, ya sean en serie, paralelo o mixto y de esta manera lograr que el líquido circule por la tubería que sea necesaria para retornar de nuevo al depósito de agua.

Figura 25

Accesorio (válvula de bola)



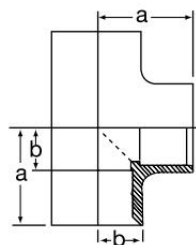
Fuente: Tubos y accesorios CELTA, s. f.

2.4.6 Tees

Son utilizadas para la combinación de los sistemas de serie, paralelo y mixto, permitiendo que llegue solo una tubería de retorno al depósito de agua.

Figura 26

Accesorio (Tee)



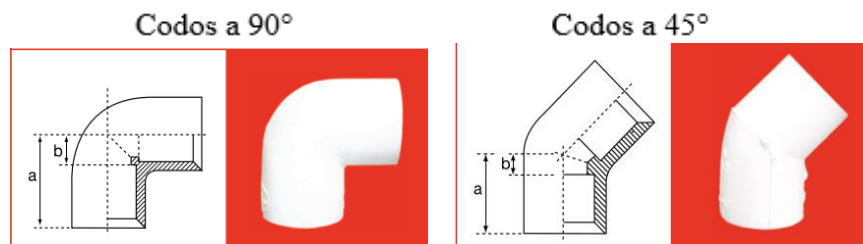
Fuente: Tubos y accesorios CELTA, s. f.

2.4.7 Codos

Este tipo de accesorio permite el cambio de la trayectoria en la tubería, de esta manera poder modificar el sentido al que va direccionado el agua y así realizar un sistema cíclico en el que se absorbe y recorre agua a través de los elementos del banco y se deposita de nuevo al tanque. Para este sistema de conexiones en serie, paralelo y mixto se utilizaron dos clases de codos a 90° y a 45° .

Figura 27

Accesorio (Codos)



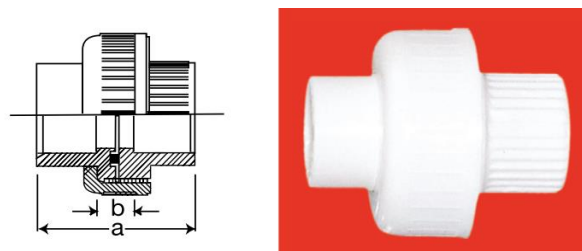
Fuente: Tubos y accesorios CELTA, s. f.

2.4.8 Adaptador universal

Se utilizan principalmente para acoplar o separar tramos de tubería, que permiten realizar las diferentes conexiones del sistema como lo son serie, paralelo y mixto y también permiten facilitar el desmontaje de los acoples que posee el banco de pruebas.

Figura 28

Accesorio (adaptador universal)



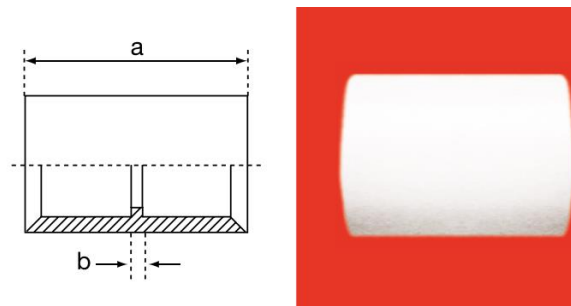
Fuente: Tubos y accesorios CELTA, s. f.

2.4.9 Uniones

Este tipo de conexión se ubicó de tal forma que permitieron conectar los manómetros y vacuómetro al sistema de tuberías en el banco de pruebas, para así tomar los valores necesarios en las pruebas requeridas.

Figura 29

Accesorio (Unión)

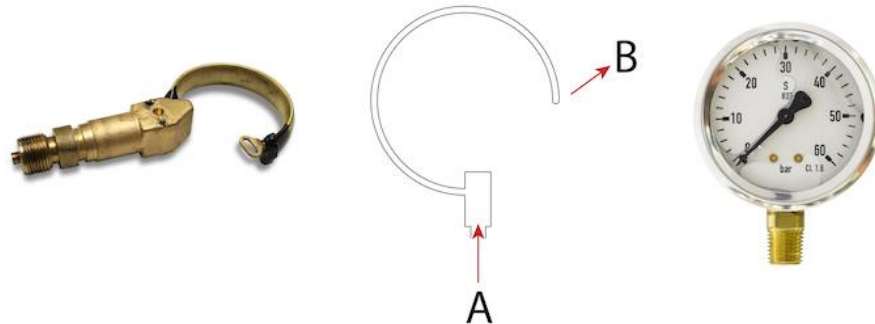


Fuente: Tubos y accesorios CELTA, s. f.

2.4.10 Manómetro

Es un dispositivo encargado de medir la presión de un fluido o gas en circuitos cerrados, estos dispositivos calculan la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica, obteniendo una presión manométrica o relativa, que es aquel valor de sobrepresión que existe sobre el valor de la presión atmosférica, por lo tanto, en un valor positivo.

Para este proyecto se utilizaron 4 manómetros a la salida de cada bomba y 1 en la tubería de retorno final; todos los manómetros manejan un rango de (0 a 15 psi), son de tipo tubo Bourdon que es una clase de manómetro, cuya presión que se va a medir se aplica a un tubo interior aplanado y un extremo cerrado que por lo general tiene forma de C, espiral o como un gancho doblado. El incremento de la presión dentro del tubo hace que se estire un poco y así, el movimiento del extremo del tubo se transmite por medio de una unión que hace girar el puntero. (Robert Mott, s. f.)

Figura 30*Manómetro*

Fuente: recuperado de la página web <https://tameson.es/pages/manometro-como-funciona>

2.4.11 Vacuómetro

Es un instrumento que permite medir cómo cae la presión en un entorno establecido. De esta manera, se obtiene un valor menor a la presión atmosférica. Por consiguiente, un vacuómetro sirve para medir el vacío.

Se utilizaron 2 vacuómetros entre la salida del tanque y la tubería de succión de las bombas principales con un rango de (0 a -30 in Hg).

Figura 31*Vacuómetro*

Fuente: recuperado de la página web <https://es.linkedin.com/pulse/para-que-sirve-un-vacu%C3%B3metro-alfredo-corsini-olmos>

2.4.12 Caudalímetro (Rotámetro)

Instrumento utilizado para determinar el caudal de líquidos y gases. Posee una forma cilíndrica y de área variable y en su interior presenta un flotador. Su principio de medición se basa en la capacidad que posee el flujo de un fluido para desplazar verticalmente dicho flotador y así incrementar su área de paso; de esta manera se permite alcanzar una altura directamente proporcional al flujo y obtener así dicha medición de caudal.

Se empleó 1 rotámetro en la tubería final del banco de pruebas que conecta en la parte superior del depósito de agua.

Figura 32

Caudalímetro (Rotámetro)



Fuente: recuperado de la página web <https://purewater.com.co/product/rotametro-caudalimetro/>

2.4.13 Interruptor balancín con piloto

Es un dispositivo que permite conectar/desconectar (ON/OFF) la corriente eléctrica en un circuito, permitiendo así el encendido y apagado de cada una de las bombas, se emplearon 3 interruptores de balancín con piloto (véase figura 43) que permiten determinar el encendido de cada bomba con la luz indicadora.

Figura 33

Interruptor balancín con piloto.



Fuente: *Ferretrónica - Suministro de Componentes Electrónicos*, s. f.

2.4.14 Fusible Largo en Vidrio 3A

Es un dispositivo utilizado para proteger de una sobre corriente y voltaje a dispositivos eléctricos y electrónicos. Para este proyecto se utilizaron fusibles largos de vidrio de referencia F3AL250V (véase figura 44), permitiendo una protección adecuada a cada dispositivo empleado en este banco de pruebas.

Figura 34

Fusible largo F3AL250V



Fuente: *Ferretrónica - Suministro de Componentes Electrónicos*, s. f.

2.4.15 Porta fusible

Es el encargado de preservar en su interior el fusible, asegurando su correcto funcionamiento en cualquier tipo de circunstancias (véase figura 45), de esta manera sirve de base, donde se va a incrustar un fusible.

Figura 35

Porta fusible.



Fuente: *Ferretrónica - Suministro de Componentes Electrónicos*, s. f.

2.4.16 Dimmer 2000W - Variador de Voltaje AC

Es un módulo regulador de voltaje y/o intensidad, funciona mediante la conexión con algún electrodoméstico o circuito eléctrico, girando la perilla (véase figura 46) se puede regular la velocidad, el voltaje de la bomba periférica.

Figura 36

Dimmer (variador de voltaje)



Fuente: *Ferretrónica - Suministro de Componentes Electrónicos*, s. f.

2.4.17 Voltímetro digital

Permite visualizar el valor del voltaje al que se está sometiendo la bomba (véase figura 47), de esta manera también se conoce el voltaje que está recibiendo la bomba al momento de accionar el Dimmer.

Figura 37

Voltímetro digital



Fuente: recuperado de la página web <https://yrobotics.co/producto/voltimetro-digital-70v-500v-ac-0-56-pulgadas-color-azul>

2.4.18 Cableado

Encargado en el sistema eléctrico de conectar las bombas y el panel de control que controla las mismas a corriente de 110V. Para este proyecto se utilizó cable de cobre encauchado 2X16 (calibre 16) para la conexión de las bombas (véase figura 48), al igual que para las conexiones en el panel de control se usó alambre de cobre aislado de calibre 16 (véase figura 49).

Figura 38

Cable encauchado 2X16



Fuente: recuperado de la página web <https://ingecomsas.com/producto/cable-encauchado-2x16-centelsa/>

Figura 39

Alambre de cobre aislado



Fuente: recuperado de la página web

<https://www.nexans.co/es/products/Construcci%C3%B3n/Cables-de-Cobre-de-Baja-Tensi%C3%B3n-Aislados/Cable-THHN-THWN-2/Cable-Type24144.html>

3. DISEÑO DE LOS SISTEMAS EN SERIE, PARALELO Y MIXTO.

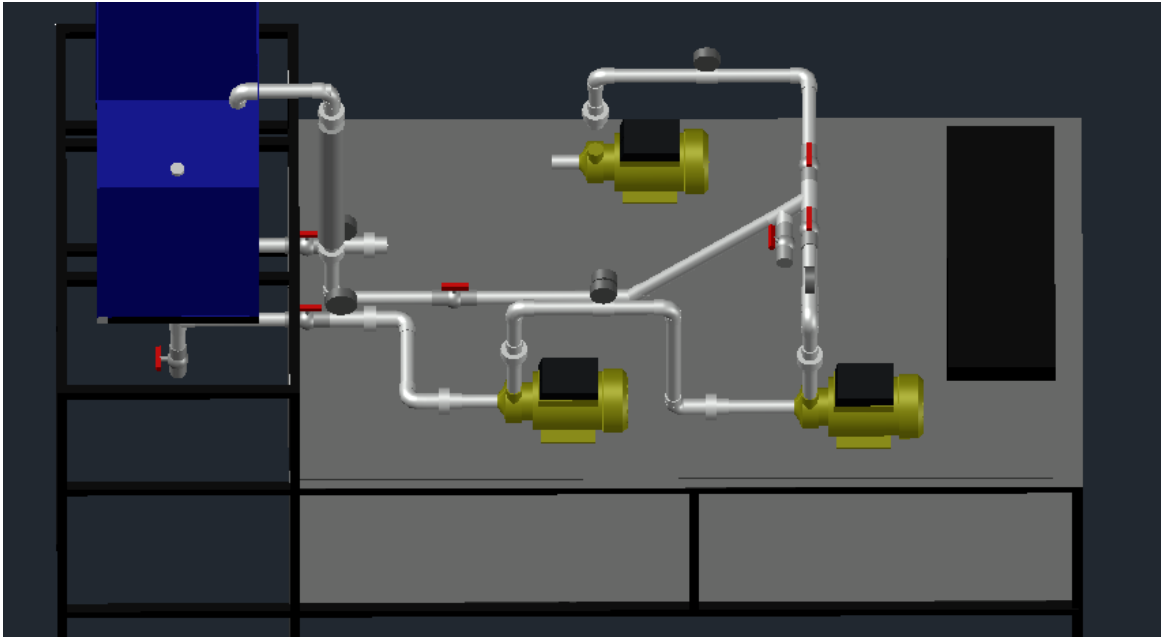
A partir de los diseños planteados en AutoCAD, se realiza la disposición y el ajuste para un mejor manejo del banco de pruebas, en donde se pueda verificar qué tipo de conexiones realizar y qué secciones se pueden formar. A continuación, se identifica en las figuras 40, 41 y 42 los diseños planteados para el banco de pruebas.

3.1 Diseño del sistema en serie.

El sistema en serie está formado a partir de las bombas 1 y 2 para este banco de pruebas, el diseño propuesto se expone en la figura 40.

Figura 40

Diseño en AutoCAD (Sistema en serie)



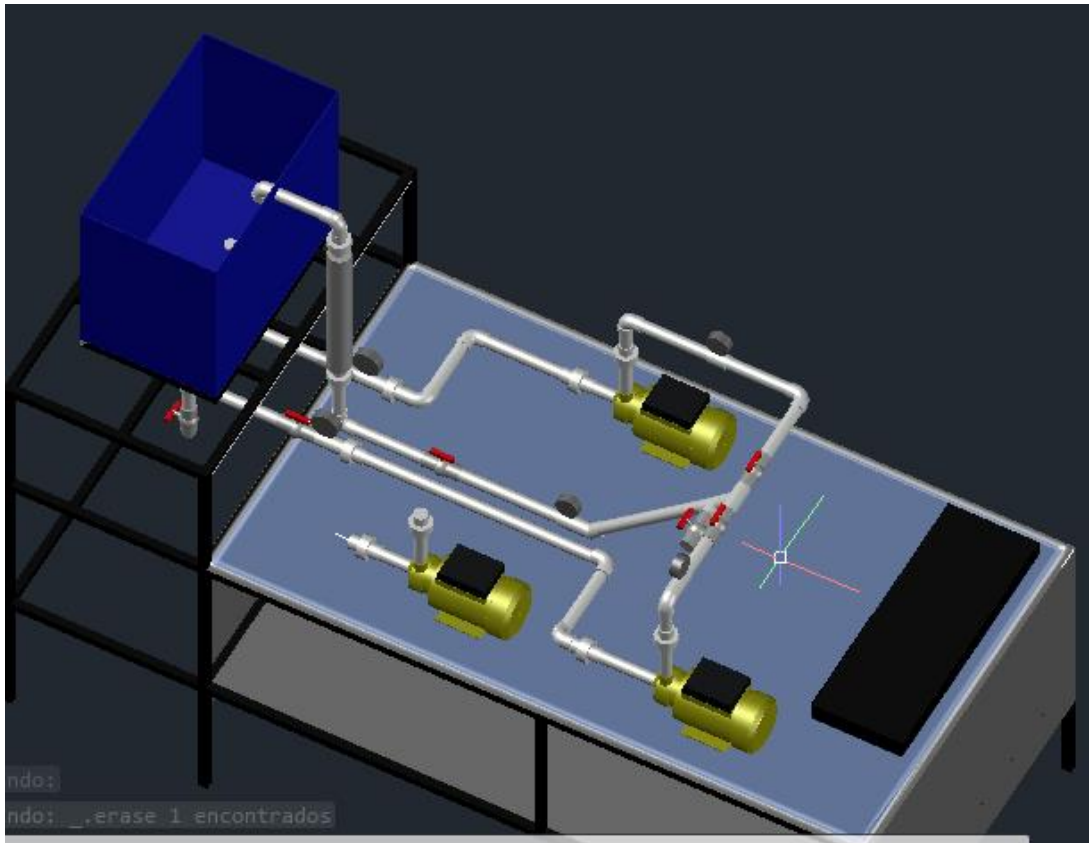
Fuente: Autor

3.2 Diseño del sistema en paralelo

El sistema en paralelo está formado a partir de las bombas 2 y 3 para este banco de pruebas, el diseño propuesto se expone en la figura 41.

Figura 41

Diseño en AutoCAD (Sistema en paralelo)



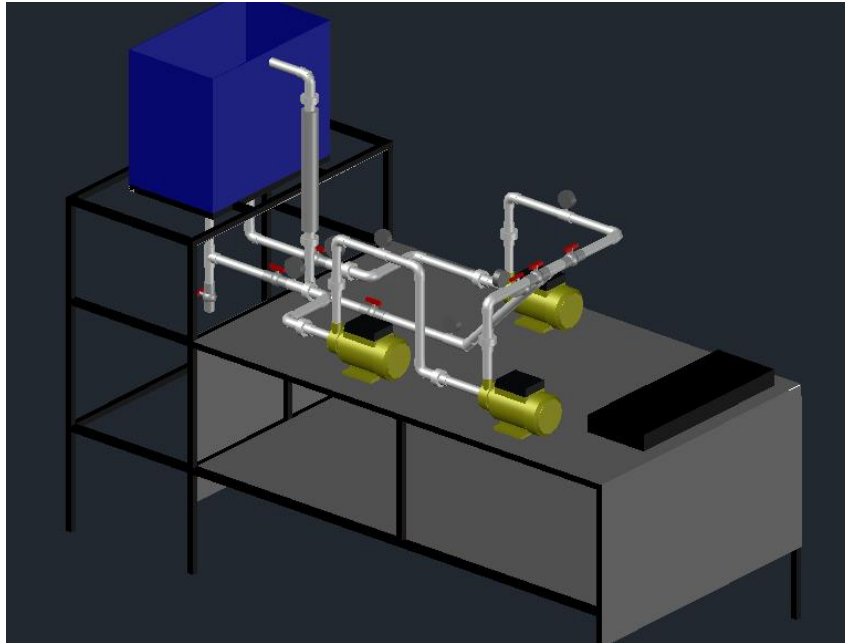
Fuente: Autor

3.3 Diseño del sistema mixto

El sistema mixto está formado a partir de las bombas 1, 2 y 3 para este banco de pruebas, conectadas (1 y 2) y en serie y su vez en paralelo con la bomba 3, el diseño propuesto se expone en la figura 42.

Figura 42

Diseño en AutoCAD (Sistema Mixto)



Fuente: Autor

4. FABRICACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

La fabricación del banco de pruebas se llevó a cabo en 5 fases, las cuales son la construcción de la estructura, construcción del depósito de agua, el montaje del sistema hidráulico, acabados visuales de la estructura y el montaje del sistema eléctrico.

4.1 Fase 1: Construcción de la estructura

La estructura se fabricó a partir de tubo cuadrado de acero de medida de $\frac{3}{4}$ de pulgada, soldado a partir de MIG y teniendo en cuenta las medidas propuestas en el diseño de AutoCAD con un tamaño a lo largo de 1.90 m un ancho de 0.85 m y una altura para la base en donde va soportado el tanque de 1 m; cuenta con ruedas en las bases para una mejor movilidad y desplazamiento de esta. A continuación, se muestra el proceso requerido para la terminación de la estructura en las figuras 43, 44 y 45.

Figura 43

Fabricación de la estructura 1 (cortes de tubería y unión previa)



Fuente: Autor

Figura 44

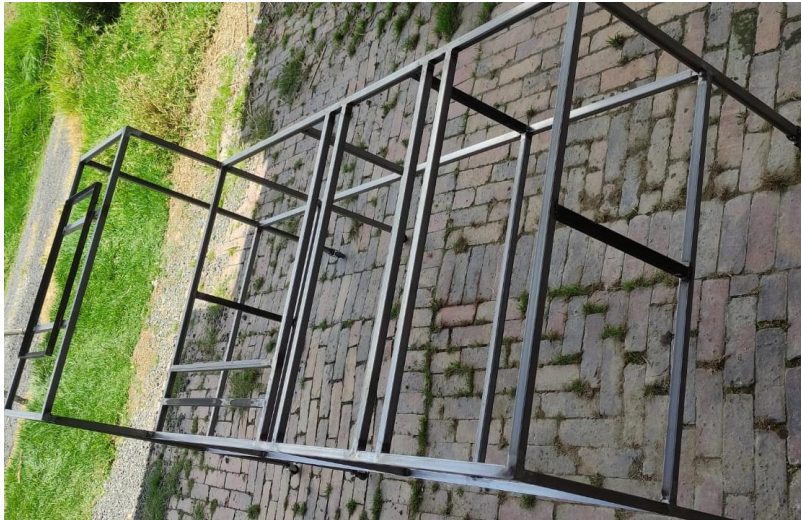
Fabricación de la estructura 2 (soldadura y presentación previa de la estructura)



Fuente: Autor

Figura 45

Fabricación de la estructura 3 (esqueleto finalizado de la estructura).



Fuente: Autor

El armazón de la estructura se fabricó con tubería de acero, se requirió aplicar pintura anticorrosiva que permitiera proteger la estructura y que no se fuera a corroer, ya que va a estar expuesta a liquido como lo es el agua; de esta manera se aplicaron diferentes capas de pintura como se muestra en la figura 46.

Figura 46

Fabricación de la estructura 4 (aplicación de la pintura anticorrosiva)

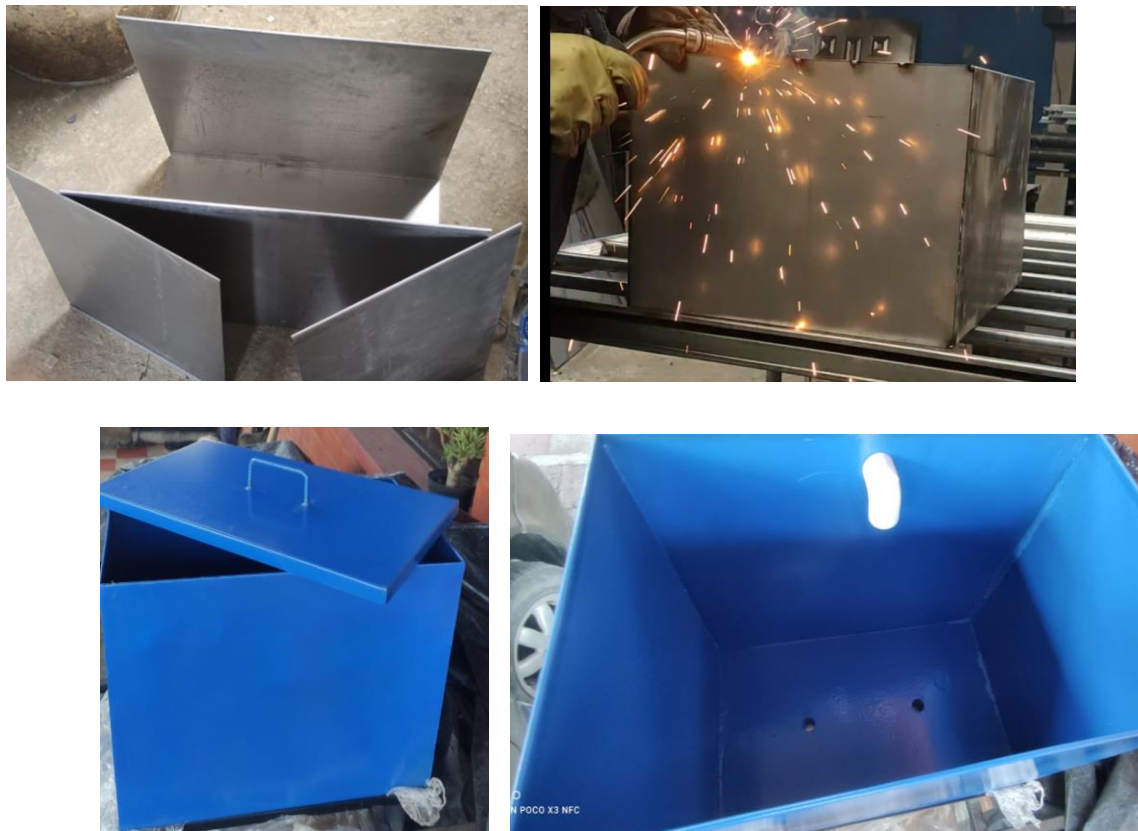


Fuente: Autor

4.2 Fase 2: Construcción del depósito de agua

El tanque se realizó a partir de lámina de acero cold rolled calibre 20, obtenida por laminación en frío, el método industrial de laminación o rolado que hace referencia a la presión que se ejerce por medio de rodillos, el cual adelgaza o se reduce el espesor de bobinas o bandas de acero.

Los diferentes pliegues del tanque se realizaron con la ayuda de una dobladora industrial de lámina mostradora en la figura 47.



4.3 Fase 3: Montaje del sistema hidráulico

Esta fase se basó en elaborar las diferentes conexiones de la tubería y accesorios que se aprecian en el diseño descrito en las figuras 40, 41 y 42, al igual que la instalación de las bombas

periféricas requeridas para el banco de pruebas, haciendo uso de los elementos descritos en el apartado 2.4.

Se procedió a asegurar las bombas a la estructura en las posiciones planteadas en el diseño como se ve en la figura 47, y a partir de eso tomar medidas con la ayuda de un metro para así proceder a cortar la tubería con una segueta. Primero se tuvo en cuenta el diseño planteado y segundo tomando medidas con la estructura hecha para así asegurar que no se pierda material, se armó el sistema con los diferentes accesorios sin aplicar soldadura de tubos (véase las figuras 48 y 49).

Figura 47

Colocación de bombas en la estructura



Fuente: Autor

Figura 48

Medición y corte de tubería y accesorios



Fuente: Autor

Figura 49*Unión provisional de tubería*

Fuente: Autor

Los elementos de medición tales como los manómetros y vacuómetros, fueron colocados con ayuda de un taladro y de un adaptador sds plus (véase la figura 50) para hacer los agujeros y la rosca en los accesorios de tipo unión, que es donde van ubicados estos elementos de medición mostrados en la figura 51 que para evitar fugas se colocó también teflón alrededor de la rosca.

Figura 50

Adaptador sds plus



Fuente: Autor

Figura 51

Manómetro colocado en la tubería



Fuente: Autor

Por último, se realizó la unión con soldadura de tubería y accesorios de forma parcial; de esta manera se obtiene una visualización previa al banco de pruebas como se ve en la figura 52.

Figura 52

Visualización previa del banco de pruebas



Fuente: Autor

4.4 Fase 4. Acabados visuales de la estructura

Para una mejor presentación del banco de pruebas se cubrió con lámina galvanizada calibre 26 para la parte central superior y la parte de las gavetas ubicada debajo del sistema hidráulico y de las bombas, que permite guardar las partes desmontables del banco de pruebas y lámina galvanizada calibre 30 para los costados de esta; la lámina se aseguró con la ayuda de remaches permitiendo así una mejor vista del banco de pruebas, en la figura 53,54 se puede observar el procedimiento y resultado al momento de cubrir la estructura del banco de pruebas.

Figura 53

Colocación de las láminas



Fuente: Autor

Figura 54

Banco de pruebas sin la instalación eléctrica



Fuente: Autor

4.5 Fase 5: Montaje del sistema eléctrico

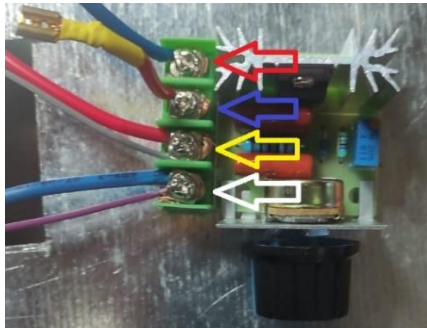
El sistema maneja corriente monofásica y teniendo en cuenta el apartado 6.6, se realizan las diferentes conexiones necesarias para un correcto funcionamiento del banco de prueba. El banco de pruebas es controlado desde un mando principal en la parte izquierda, en donde se puede encontrar los interruptores de encendido de cada bomba, un indicador de voltaje que al igual permite ser variado con una perilla graduable. El módulo de cada bomba está conformado por un Dimmer, un interruptor, un indicador de voltaje, un fusible, cableado que permite la entrada y la salida de corriente.

A continuación, se explican las diferentes conexiones que se presentaron:

Las conexiones con el Dimmer se realizaron como se muestra en la figura 55. La flecha roja es la entrada de corriente (fase) pasando primero por el interruptor, el cableado de la flecha azul va conectado al porta fusible que también es una entrada de corriente (neutro); lo que permite proteger el sistema de una sobretensión. Las flechas amarilla y blanca son las salidas hacia la bomba que a la vez permiten la conexión con el voltímetro para verificar qué voltaje se le está entregando a cada bomba.

Figura 55

Conexiones Dimmer

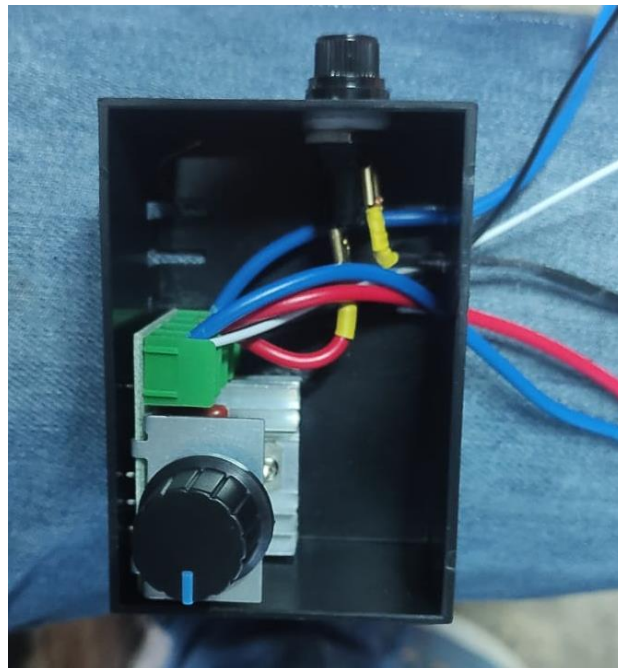


Fuente: Autor

El sistema anterior está protegido dentro de una carcasa plástica, que permite que no haya algún tipo de conexión del Dimmer con la lámina (véase figura 56), ya que ésta es conductora y puede provocar un corto circuito que puede causar daños en los demás dispositivos y también protegerla de la humedad que se pueda presentar sobre el banco de pruebas debido al manejo del líquido en el mismo.

Figura 56

Carcasa protectora del sistema eléctrico.



Fuente: Autor

Los tres módulos de cada bomba son almacenados en una carcasa de lámina (véase figura 57), allí se ubican los módulos y las diferentes conexiones de cableado para que funcione óptimamente el sistema eléctrico del banco de pruebas.

Figura 57

Mando principal del eléctrico.



Fuente: Autor

En la figura 58 se muestra finalizado el banco de pruebas de bombas periféricas, el cual tiene demarcado cada sección y cada accesorio que posee el sistema de bombas centrifugas para identificar mejor al momento de armar o desarmar el mecanismo gracias a la guía de laboratorio que se adjuntara después de las pruebas realizadas. En este banco de pruebas se podrán realizar las diferentes pruebas y análisis propuestos en el documento, para un mejor aprendizaje en materias como mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas de los estudiantes de la Universidad Antonio Nariño Sede Tunja.

Figura 58

Banco didáctico para conexión de bombas en serie, paralelo y mixto para el laboratorio de fluidos de la Universidad Antonio Nariño sede Tunja



Fuente: Autor

5. PRUEBAS EXPERIMENTALES

En primer lugar, se realizó una prueba general a todo el sistema, que permite evaluar las conexiones realizadas y aparatos de medición implicados en el banco de pruebas. Como primera medida para verificar el correcto funcionamiento y permitir identificar algún tipo de fugas al momento de poner en marcha por primera vez todo sistema, al igual evidenciar el correcto funcionamiento de las bombas y que no existiera una vibración excesiva en las tuberías.

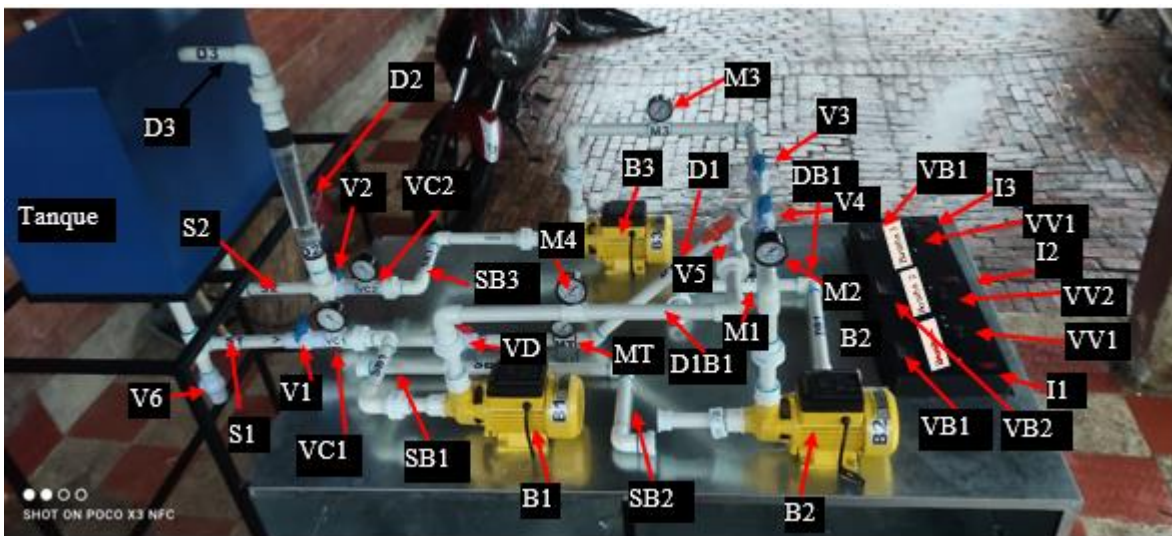
En este apartado se presentan las pruebas realizadas en el banco de pruebas de bombas periféricas, que se basan en obtener las curvas características de las bombas y las curvas características para cada tipo de conexión como lo son serie, paralelo y mixto. Cabe resaltar que a partir de dichas pruebas se realiza la guía de laboratorio, en donde se explica los ensayos y datos

a tomar para realizar las curvas características al igual se adjunta la guía de instalación y operación que requiere el sistema para realizar las conexiones requeridas.

En la figura 59, se delimita los componentes que se deben tener en cuenta al momento de poner en marcha el banco de pruebas y realizar las pruebas necesarias, al igual que en la tabla 4 se encuentran las especificaciones de cada componente.

Figura 59

Elementos del banco didáctico para conexión de bombas en serie, paralelo y mixto para el laboratorio de fluidos de la Universidad Antonio Nariño sede Tunja



Fuente: Autor

Tabla 4

Abreviaturas de los elementos del banco didáctico de pruebas.

Abreviatura	Elemento
B1	Bomba 1 (1/2 HP)
B2	Bomba 2 (1/2 HP)
B3	Bomba 3 (1/2 HP)
Tanque	Depósito de agua
S1	Tubería salida tanque para bombas 1-2
SB1	Tubería succión bomba 1
S2	Tubería salida tanque bomba 3
SB2	Tubería succión bomba 2
SB3	Tubería succión bomba 3
DB1	Tubería descarga-succión bombas 1-2
D1B1	Tubería descarga bomba 1
D1	Tubería descarga total bombas 1-2-3
D2	Caudalímetro
D3	Tubería final del sistema
V1	Válvula entrada bombas 1-2
V2	Válvula entrada bomba 3
V3	Válvula salida bomba 3
V4	Válvula salida bomba 2
V5	Válvula salida bomba 1
VT	Válvula final del sistema
VC1	Vacuómetro entrada bombas 1-2
VC2	Vacuómetro entrada bomba 3
M1	Manómetro salida bomba 1 entrada bomba 2
M2	Manómetro salida bomba 2, sistema en serie
M3	Manómetro salida bomba 3
M4	Manómetro salida bomba 1

MT	Manometro total del sistema
I1	Interruptor bomba 1
I2	Interruptor bomba 2
I3	Interruptor bomba 3
VB1	Medidor de voltaje bomba 1
VB2	Medidor de voltaje bomba 2
VB3	Medidor de voltaje bomba 3
VV1	Variador de voltaje bomba 1
VV2	Variador de voltaje bomba 2
VV3	Variador de voltaje bomba 3

En la etapa de pruebas se desea calcular la altura útil, la potencia y rendimiento de cada bomba al igual que con los diferentes tipos de conexión como lo son serie, paralelo y mixto, con el fin de evidenciar y comprobar los beneficios que nos brindan este tipo de conexiones. A continuación, se explica las diferentes ecuaciones utilizadas para hallar los datos necesarios para cada prueba.

A partir de la ecuación de la energía (**ecuación 6**)

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_L - h_R = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Al realizar el balance de energía se obtiene:

- Los puntos de referencia están expuestos a la atmosfera por lo tanto $P_1, P_2 = 0$.
- La velocidad 1 (V_1) es aproximada a 0 teniendo como referencia el punto 1 a nivel del agua en el depósito.
- Z_1 es 0 ya que este se toma como punto de referencia.
- h_R es la energía removida del fluido a causa de una turbina, pero como en este caso en el sistema no hay ningún tipo de turbina se cancela.

Al despejar la altura útil obtenemos como resultado la siguiente ecuación:

$$h_A = \frac{V^2}{2g} + Z_2 + h_L \quad \textbf{Ecuación 11. Altura util de la bomba}$$

La potencia hidráulica del sistema se calcula a partir de la ecuación 12.

$$P_h = \gamma QH \quad \textbf{Ecuación 12. Potencia hidráulica}$$

En donde:

$P_h =$ Potencia hidráulica (watts)

$$\gamma = \text{peso específico} \frac{N}{m^3}$$

$$Q = \text{Caudal} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$H =$ Altura total del sistema (m)

Fuente: (Robert Mott, s. f.)

La eficiencia total del sistema se calcula a partir de la ecuación 13.

$$\eta = \frac{P_h}{P_e} \quad \textbf{Ecuación 13. eficiencia del sistema}$$

En donde:

$\eta =$ Eficiencia del sistema (%)

$P_h =$ Potencia hidráulica (watts)

$P_e =$ Potencia eléctrica (watts)

Fuente: (Robert Mott, s. f.)

Como primer análisis se debe realizar el cálculo de pérdidas de carga que existen en el sistema, esto se realiza con ayuda de la ecuación 7 ($h_L = h_p + h_s$), de la cual se derivan las pérdidas primarias y secundarias obtenidas a partir de las ecuaciones 8 y 9 respectivamente.

Para el cálculo de cada dato se tiene como referencia las cifras implicadas en la tabla 4

Tabla 5*Datos de referencia*

Área tubería (m ²)	0,00036339
Diámetro (m)	0,02151
viscosidad cinemática del agua a 15°C (m ² /s) (Tabla A-1 mott)	1,15X10-06
Gravedad (m/s ²)	9,81
Rugosidad relativa ϵ (m)	1,50X10-06
Peso específico del agua a 15°C (N/m ³)	9810
Potencia (HP)	0,5
Potencia (Watts)	372,85

Fuente: Autor**5.1 Cálculo pérdidas de carga primarias**

Basándonos en la ecuación 8 se procede a hallar cada termino que establece dicha ecuación y de esta manera poder encontrar el valor a las pérdidas por fricción en las tuberías

Ecuación 8. Pérdidas de carga primarias

$$h_p = f \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

En donde: f = factor de fricción (adimensional) L = Longitud de la tubería (m) D = Diámetro de la tubería (m) V = Velocidad del flujo $\left(\frac{m}{s}\right)$ g = Gravedad $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

Fuente: (Robert Mott, s. f.)

Este tipo de pérdidas implica conocer si el flujo que circula es laminar o turbulento para así poder utilizar de una manera adecuada el factor de fricción correspondiente, esto se consigue a partir del cálculo del Número de Reynolds (ecuación 12), para flujo laminar ($Re < 2000$), el factor de fricción se calcula con la ecuación 13 y para un flujo turbulento ($Re > 4000$) el factor de fricción se calcula con la ecuación 14.

Ecuación 14. Numero de Reynolds

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad \text{Laminar } Re \leq 2000, \text{ turbulento } \geq 4000$$

En donde:

$Re =$ Numero de Reynolds (adimensional)

$V =$ Velocidad promedio del fluido $\left(\frac{m}{s}\right)$

$D =$ Diametro interno de la tubería (m)

$\nu =$ viscosidad cinemática del fluido $\left(\frac{m^2}{s}\right)$ Fuente: (Robert Mott, s. f.)

Ecuación 15. Factor de fricción flujo laminar

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

En donde:

$f =$ factor de fricción

$R =$ Numero de Reynolds

Fuente: (Robert Mott, s. f.)

Ecuación 16. Factor de fricción flujo turbulento

$$f = \frac{0,25}{\left[\text{Log} \left(\frac{1}{3,7 \frac{D}{\varepsilon}} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2}$$

En donde:

$f =$ factor de fricción

$D =$ Diametro interno de la tubería m

$\varepsilon =$ Rugosidad absoluta de la tubería m

$Re =$ Numero de Reynolds

La rugosidad relativa de la tubería de PVC es de $1,5 \times 10^{-6}$ m

Fuente: (Robert Mott, s. f.)

5.2 Cálculo perdidas de carga secundarias

A partir de la ecuación 9 se podrán encontrar los valores requeridos para las perdidas por accesorios que posee el sistema.

Ecuacion 9. perdidas de carga secundarias

$$h_s = K \frac{V^2}{2g}$$

En donde: $K =$ coeficiente de resistencia (adimensional)

$V =$ Velocidad del fluido $\left(\frac{m}{s}\right)$

$g =$ Gravedad $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

Fuente: (Robert Mott, s. f.)

El valor del coeficiente de resistencia lo encontramos a partir de la búsqueda en libros y cálculos experimentales en una tesis (Anexo Tabla A-1). En la tabla 4 se adjuntan los valores correspondientes los accesorios que están incluidos en el sistema que generan perdidas.

Tabla 6*Coefficientes de pérdidas de los accesorios.*

Accesorio	Coefficiente K
Unión hembra (mixta)	0,8457
Unión universal (roscada)	0,4058
Unión lisa (simple)	0,2394
Tee flujo lateral	1
Tee flujo bilateral	3
Tee flujo directo	0,2
Codo 90°	0,9
Codo 45°	0,4
Válvula de bola	10
Condición de flujo a la entrada de la tubería	0,5
Condición de flujo a la salida de la tubería	1,0

Fuente: Autor

5.3 Curvas características bomba 1

Para la toma de los datos correspondientes a la bomba 1 se dejan abiertas las válvulas 1 y 5 al igual que la válvula total encargada de cambiar el paso del fluido para realizar diferentes muestras; las demás válvulas permanecen cerradas al igual que a la salida del tanque S1 debe estar conectado la sección SB1 que permite la conexión de la bomba 1 con el tanque, los datos se consolidan en la tabla 7.

Tabla 7*Datos iniciales bomba 1*

Datos	Bomba 1				
	Q (L/min)	Q (m ³ /s)	Pe1 (inHg)	Ps1 (psi)	Ps1 (Pa)
1	23,1	0,000385008	0	2	13789,52
2	22,7	0,000378341	0	3	20684,28
3	22	0,000366674	0	4	27579,04
4	20	0,000333334	0	5	34473,8
5	19,3	0,000321673	0	6	41368,56
6	18,9	0,000315006	0	7	48263,32
7	17,4	0,000290006	0	8	55158,08
8	16,6	0,000276672	0	9	62052,84
9	15,1	0,000251672	0	11	75842,36
10	12,5	0,000208338	0	13	89631,88

Fuente: Autor

De acuerdo con la tabla 7, se realiza el cálculo para pérdidas primarias (h_p) haciendo uso de las ecuaciones 2, 8, 14 y 16, teniendo en cuenta que se debe realizar el cálculo para la succión y descarga de cada bomba. de esta manera se consolidan los datos en la tabla 8. Cada cálculo realizado al detalle se puede encontrar en el Anexo A-1.

Continuando se realiza el cálculo para las perdidas secundarias, al igual que en el anterior caso se tiene en cuenta las tuberías de succión y descarga de la bomba 1. Para las perdidas secundarias en la succión, se obtuvo un coeficiente $K = 15,1967$ y en la descarga un coeficiente de $K = 29,2614$. Esto permitió encontrar de manera más precisa en valor correspondiente a las perdidas secundarias.

Tabla 8

Perdidas primarias y secundarias en la succión y descarga de la bomba 1

Bomba 1						
Datos	hp (m) Succión	hs (m) Succión	hl (m) Succión	hp (m) Descarga	hs (m) Descarga	hl (m) Descarga
1	0,075014465	0,86945621	0,94447067	0,20026798	1,67414675	1,87441473
2	0,072758321	0,83960587	0,91236419	0,19424469	1,61666963	1,81091432
3	0,068882932	0,78862241	0,85750534	0,18389847	1,51850045	1,70239892
4	0,05832622	0,65175406	0,71008028	0,15571495	1,25495905	1,41067401
5	0,054813873	0,60692967	0,66174355	0,14633795	1,16864924	1,3149872
6	0,052849747	0,58203267	0,63488242	0,14109428	1,12070981	1,26180409
7	0,045764935	0,49331265	0,53907758	0,12217978	0,94987851	1,07205829
8	0,042169412	0,44899337	0,49116278	0,11258072	0,86454129	0,97712202
9	0,035776281	0,37151611	0,40729239	0,09551282	0,71535803	0,81087086
10	0,025795502	0,25459143	0,28038693	0,06886689	0,49021838	0,55908527

Fuente: Autor

Para las tuberías de succión y descarga se maneja la misma velocidad ya que la tubería es del mismo diámetro en donde la tubería de succión de la bomba 1 tiene un total de 1,09 m y la descarga 2,91 m.

De esta manera se aplica la ecuación de la energía y calculamos la altura útil a partir de la ecuación 11, junto con la potencia y rendimiento de las bombas en el sistema. Cabe resaltar que el paso del fluido por la bomba en funcionamiento genera una ganancia (altura) (h_B), que se halla con la ayuda del caudal obtenido en las pruebas y la curva característica de la bomba, dando un valor aproximado que da la bomba respecto al caudal que se está generando. De esta manera se puede hallar la altura total que ofrece el sistema, la ecuación 11 queda modificada de la siguiente manera.

$$h_A = \frac{V^2}{2g} + Z_2 + h_L \text{ Succión} + h_L \text{ Descarga} + h_B$$

Z_2 es la elevación que se tiene respecto al punto de referencia 1 (Z_1) este valor es de 0,22 m respecto del nivel del agua en el tanque con la tubería de retorno que ingresa al tanque, en la tabla 9 se realiza el cálculo de los valores requeridos para caracterizar el sistema de la bomba 1.

Tabla 9

Caracterización del sistema con la bomba 1

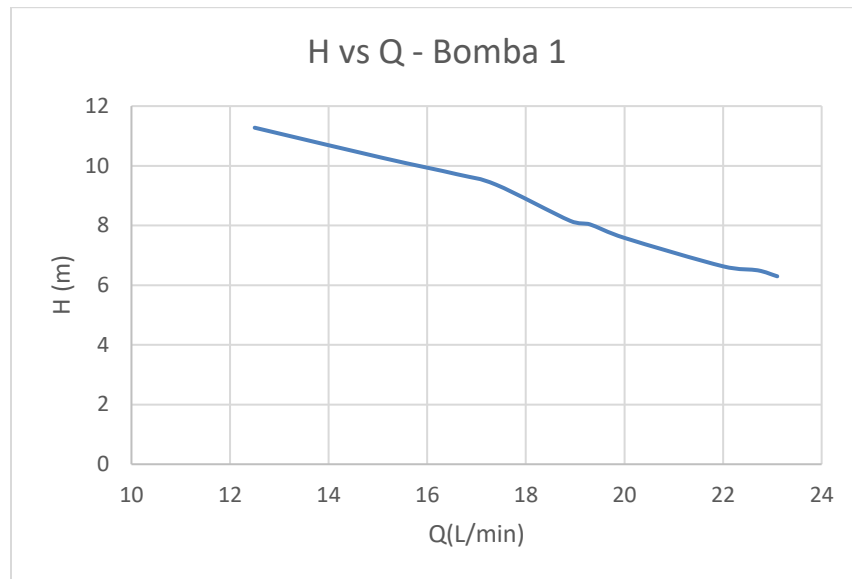
Bomba 1					
Datos	Q (L/min)	h(real bomba 1) (m)	Hb B1 (m)	P_h B1 (Watts)	ef (%) B1
1	23,1	3,2	6,29609889	23,77989668	6,37787225
2	22,7	3,5	6,49852774	24,11944314	6,46894009
3	22	4	6,63179859	23,85505662	6,39803047
4	20	5,2	7,58364215	24,79900581	6,65120177
5	19,3	5,8	8,036669	25,36061806	6,80182863
6	18,9	6	8,15498644	25,20063535	6,75892057
7	17,4	7,6	9,3635977	26,63903186	7,1447048
8	16,6	8,2	9,71783025	26,37569059	7,07407552
9	15,1	8,8	10,2626104	25,33735243	6,79558869
10	12,5	10,2	11,2762253	23,04624632	6,18110401

Fuente: Autor

De acuerdo con la tabla 9, se grafican las curvas características de las cuales la relación que existe entre la altura útil y el caudal se refleja a partir de la figura 60, de la que se tiene que para la bomba altura máxima obtenida para esta bomba es de 11,28 m aproximadamente, la potencia hidráulica máxima de la bomba 1 es de 26,64 Watts, aunque se mantiene en promedio expresado a partir de la figura 61 que a su vez permite comparar el caudal contra la potencia obtenida. Por último, se verifica la eficiencia de la bomba 1 especificada en la figura 62, que se halla a partir de potencia hidráulica sobre la potencia de entrada a la bomba de esta manera se permite determinar el porcentaje de eficiencia máximo para esta bomba que es aproximadamente 7,14 %.

Figura 60

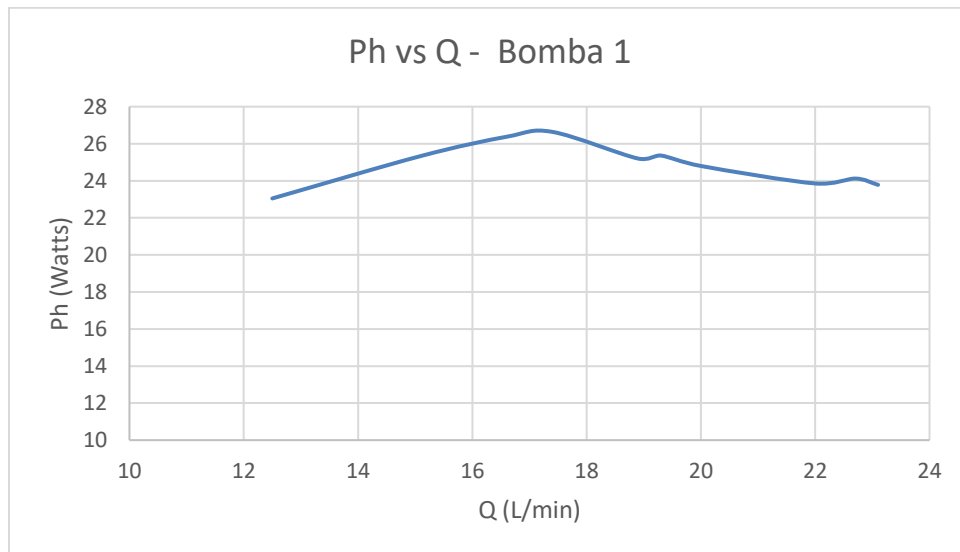
Curva experimental H vs Q, Bomba 1



Fuente: Autor

Figura 61

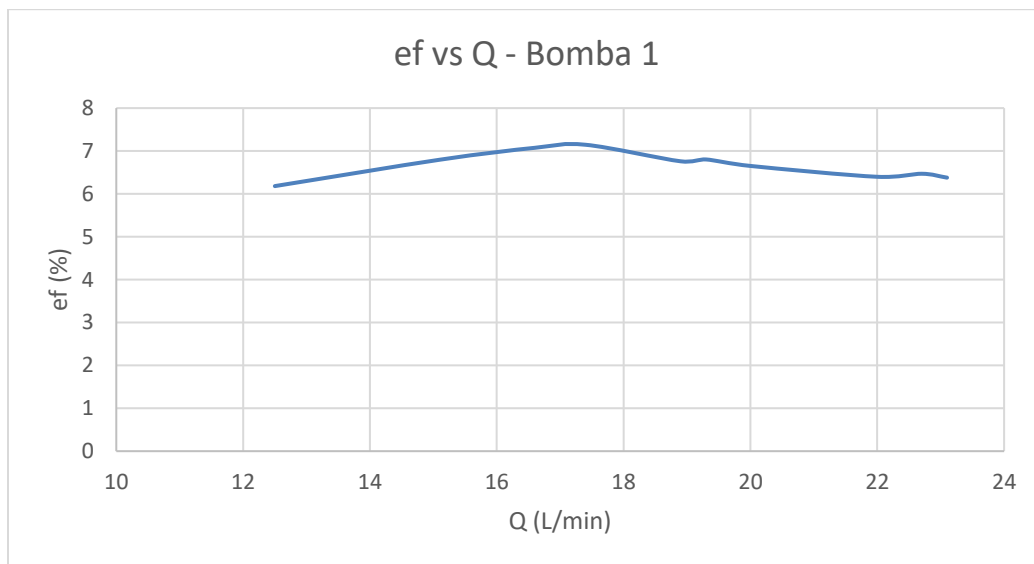
Curva experimental Ph vs Q, Bomba 1



Fuente: Autor

Figura 62

Curva experimental ef vs Q, Bomba 1



Fuente: Autor

5.4 Curvas características bomba 2

Para la toma de los datos correspondientes a la bomba 2 se dejan abiertas las válvulas 1 y 4 al igual que la válvula total que permite cambiar el paso del fluido para realizar diferentes muestras, las demás válvulas permanecen cerradas al igual que a la salida del tanque S1 debe estar conectado la sección SB2 que permite la conexión de la bomba 2 con el tanque, anexados en la tabla 10.

Tabla 10*Datos iniciales bomba 2*

Bomba 2					
Datos	Q(L/min)	Q (m3/s)	Pe2	Ps2 (psi)	Ps2 (Pa)
1	23	0,000383341	0	2	13789,52
2	22,7	0,000378341	0	3	20684,28
3	22	0,000366674	0	4	27579,04
4	21	0,000350007	0	5	34473,8
5	20	0,000333334	0	5,9	40679,084
6	19,5	0,000325007	0	6,9	47573,844
7	19	0,000316673	0	7,8	53779,128
8	17	0,000283339	0	9,8	67568,648
9	15,5	0,000258339	0	11,7	80668,692
10	15,1	0,000251672	0	12,8	88252,928

Fuente: Autor

De acuerdo con la tabla 10, se realiza el cálculo para pérdidas primarias (h_p) igual que en el anterior caso se tiene en cuenta las tuberías de succión y descarga de la bomba 2, estos datos se consolidan en la tabla 11. Para las pérdidas secundarias (h_s) en la succión se obtuvo un coeficiente $K = 15,1967$ y en la descarga un coeficiente de $K = 28,1556$. Esto permitió encontrar de manera más precisa en valor correspondiente a las pérdidas secundarias. Cada calculo se expresa en el Anexo A-2 del cual se desprenden los datos implicados a continuación.

Tabla 11*Perdidas primarias y secundarias en la succión y descarga de la bomba 2*

Bomba 2						
Datos	hp (m) Succión	hs (m) Succión	hl (m) Succión	hp (m) Descarga	hs (m) Descarga	hl (m) Descarga
1	0,11372041	0,86194474	0,97566516	0,16562883	1,59696325	1,76259208
2	0,11114	0,83960587	0,95074588	0,16187058	1,55557503	1,71744561
3	0,10522026	0,78862241	0,89384267	0,15324873	1,46111571	1,61436444
4	0,09701076	0,71855885	0,81556961	0,14129195	1,33130585	1,4725978
5	0,08909464	0,65175406	0,7408487	0,12976246	1,20753365	1,33729611
6	0,08524749	0,6195737	0,70482119	0,12415925	1,14791167	1,27207093
7	0,08147478	0,58820804	0,66968281	0,11866446	1,08979912	1,20846358
8	0,06713637	0,47089231	0,53802868	0,0977812	0,87244306	0,97022427
9	0,05718483	0,39145978	0,44864461	0,08328721	0,7252749	0,80856211
10	0,05464909	0,37151611	0,4261652	0,07959402	0,68832437	0,76791839

Fuente: Autor

Para las tuberías de succión y descarga se maneja la misma velocidad ya que la tubería es del mismo diámetro en donde la tubería de succión de la bomba 2 tiene un total de 1,665 m y la descarga 2,435 m.

Z_2 es la elevación que se tiene respecto al punto de referencia 1 (Z_1) este valor es de 0,22 m respecto del nivel del agua en el tanque con la tubería de retorno que ingresa al tanque, en la tabla 12 se realiza el cálculo de los valores requeridos para caracterizar el sistema de la bomba 2.

Tabla 12*Caracterización del sistema con la bomba 2*

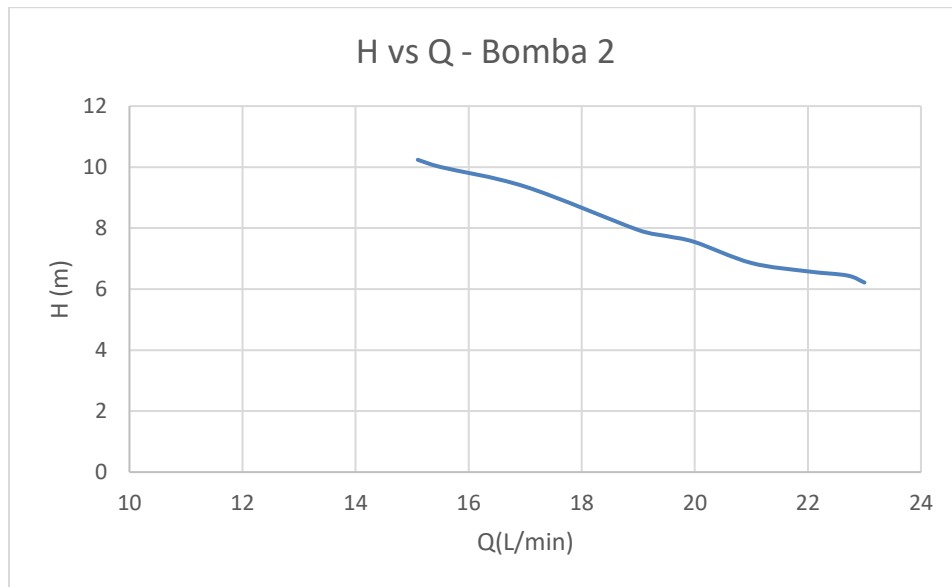
Bomba 2					
Datos	Q (L/min)	h(real bomba 2) (m)	Hb (m) B2	P_h (Watts) B2	ef (%) B2
1	23	3,2	6,21497645	24,0557671	6,45186191
2	22,7	3,5	6,44344071	24,5253486	6,57780572
3	22	3,8	6,58010143	26,0733018	6,99297354
4	21	4,3	6,85545128	24,7850482	6,64745828
5	20	5,2	7,54103268	25,3568416	6,80081578
6	19,5	5,5	7,7376624	25,202207	6,75934211
7	19	5,8	7,9368527	26,0302681	6,98143169
8	17	7,6	9,35923943	26,7359256	7,17069213
9	15,5	8,5	10,0029662	26,0693025	6,99190091
10	15,1	8,8	10,2385307	25,1672565	6,74996821

Fuente: Autor

De acuerdo con la tabla 12, se grafican las curvas características de las cuales la relación que existe entre la altura útil y el caudal se refleja a partir de la figura 63, de la que se obtiene una altura máxima para la bomba 2 de 10,24 m aproximadamente, la potencia hidráulica de la bomba máxima es de 26,74 Watts, aunque se mantiene en promedio expresado a partir de la figura 64 que a su vez permite comparar el caudal contra la potencia obtenida. Por último, se verifica la eficiencia de la bomba 2 especificada en la figura 65, que se halla a partir de potencia hidráulica sobre la potencia de entrada a la bomba; de esta manera se permite determinar el porcentaje de eficiencia máximo para esta bomba es aproximadamente 7,2 %.

Figura 63

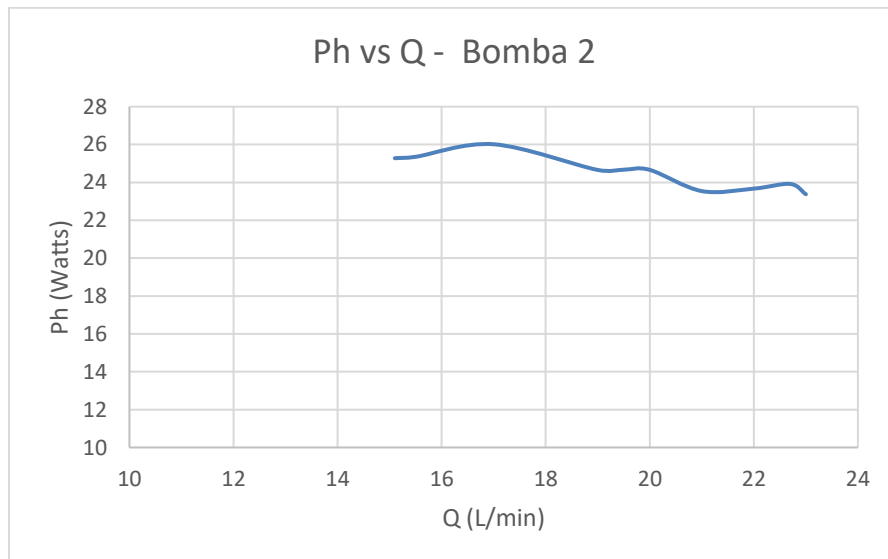
Curva experimental H vs Q, Bomba 2



Fuente: Autor

Figura 64

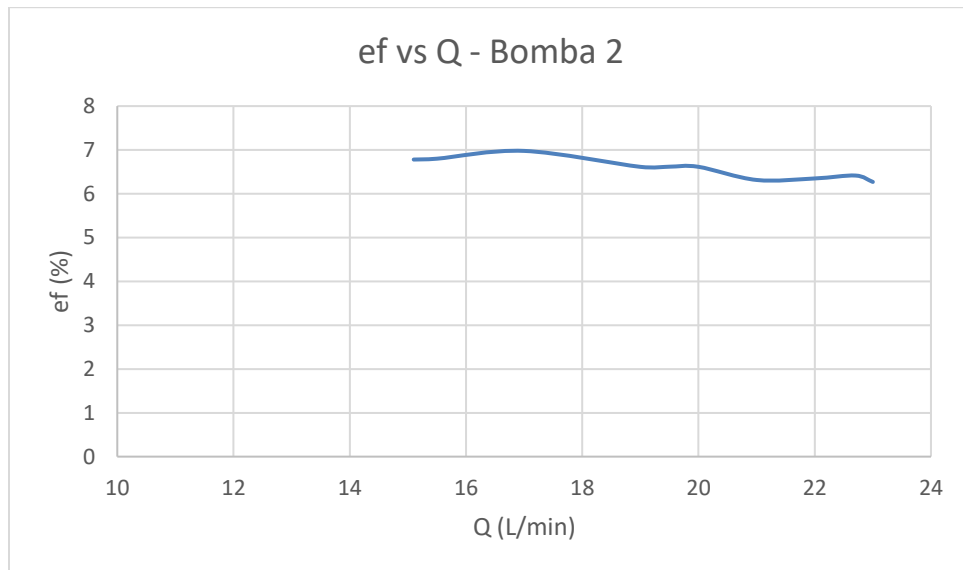
Curva experimental Ph vs Q, Bomba 2



Fuente: Autor

Figura 65

Curva experimental ef vs Q , Bomba 2



Fuente: Autor

5.5 Curvas características bomba 3

Para la toma de los datos correspondientes a la bomba 3, se dejan abiertas las válvulas 2 y 3, al igual que la válvula total que es la que permite cambiar el paso del fluido para realizar diferentes muestras, las demás válvulas permanecen cerradas al igual que a la salida del tanque S2 debe estar conectado la sección SB3 que permite la conexión de la bomba 3 con el tanque, en la tabla 13.

Tabla 13*Datos iniciales bomba 3*

Bomba 3					
Datos	Q(L/min)	Q (m ³ /s)	Pe3	Ps3 (psi)	Ps3 (Pa)
1	23,5	0,000391675	0	1,6	11031,616
2	23	0,000383341	0	3	20684,28
3	21	0,000350007	0	4	27579,04
4	20,5	0,000341674	0	5	34473,8
5	20	0,000333334	0	6	41368,56
6	19	0,000316673	0	7	48263,32
7	18,5	0,00030834	0	8	55158,08
8	17	0,000283339	0	9	62052,84
9	15	0,000250005	0	11	75842,36
10	13	0,000216671	0	13	89631,88

Fuente: Autor

De acuerdo con la tabla 13, se realiza el cálculo para pérdidas primarias (h_p) igual que en el caso anterior, se tiene en cuenta las tuberías de succión y descarga de la bomba 3. Para las pérdidas secundarias (h_s) en la succión se obtuvo un coeficiente $K = 15,0967$ y en la descarga un coeficiente de $K = 29,0556$. Esto permitió encontrar de manera más precisa en valor correspondiente a las pérdidas secundarias, anexado en la tabla 14. Cada cálculo se expresa en el Anexo A-3 del cual se desprenden los datos implicados a continuación.

Tabla 14*Perdidas primarias y secundarias en la succión y descarga de la bomba 3*

Bomba 3						
Datos	hp (m) Succión	hs (m) Succión	hl (m) Succión	hp (m) Descarga	hs (m) Descarga	hl (m) Descarga
1	0,08156	0,89390674	0,97546259	0,20034371	1,07083799	1,2711817
2	0,07855	0,85627282	0,93481845	0,19294905	1,02852337	1,22147243
3	0,067	0,71383046	0,78083489	0,16459784	0,9003309	1,06492874
4	0,06425	0,6802432	0,74448839	0,15781969	0,74845847	0,90627816
5	0,06154	0,64746527	0,70900211	0,15116658	0,71409511	0,86526169
6	0,05627	0,58433741	0,64061128	0,13823798	0,67869871	0,8169367
7	0,05372	0,55398747	0,60770725	0,1319638	0,61060504	0,74256884
8	0,04637	0,46779366	0,51416413	0,11391006	0,54693544	0,66084551
9	0,03731	0,36419922	0,40151239	0,09166062	0,45686995	0,54853058
10	0,02912	0,27355408	0,30267816	0,07154394	0,40132483	0,47286877

Fuente: Autor

Para las tuberías de succión y descarga se maneja la misma velocidad ya que la tubería es del mismo diámetro en donde la tubería de succión de la bomba 3 tiene un total de 1,15 m y la descarga 2,825 m.

Z_2 es la elevación que se tiene respecto al punto de referencia 1 (Z_1) este valor es de 0,22 m respecto del nivel del agua en el tanque con la tubería de retorno que ingresa al tanque, en la tabla 15 se realiza el cálculo de los valores requeridos para caracterizar el sistema de la bomba 3.

Tabla 15*Caracterización del sistema con la bomba 3*

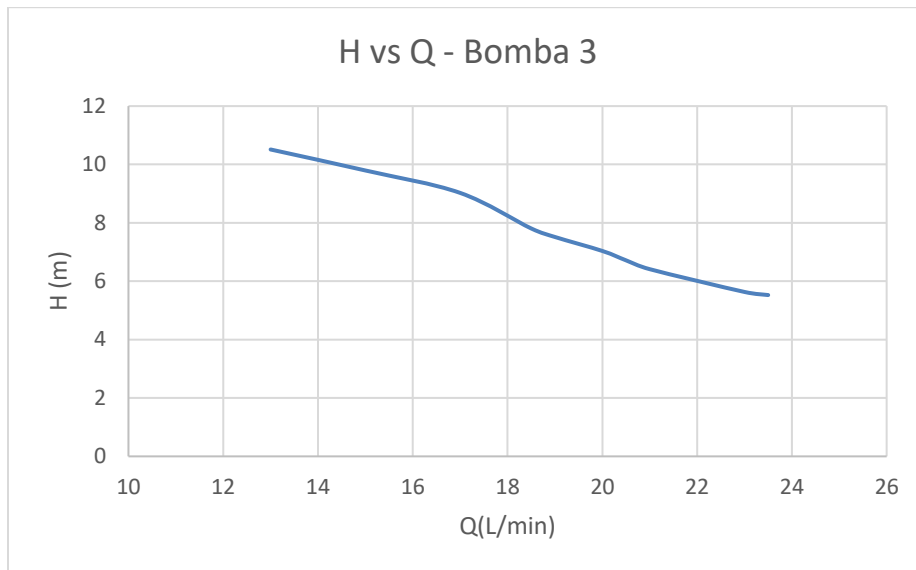
Bomba3					
Datos	Q(L/min)	h(real)	Hb B1 (m)	Ph (Watts)	ef (%)
1	23,5	3	5,52585636	21,2321462	5,69455444
2	23	3,2	5,63301009	21,1833581	5,68146925
3	21	4,3	6,4130475	22,019639	5,90576344
4	20,5	4,8	6,71582561	22,5102187	6,03733906
5	20	5,2	7,03715167	23,0119462	6,17190457
6	19	5,8	7,51625428	23,3497109	6,26249454
7	18,5	6,2	7,80697203	23,6146109	6,33354188
8	17	7,6	9,02599612	25,088258	6,72878047
9	15	8,6	9,79416739	24,0206759	6,4424503
10	13	9,5	10,5136671	22,3472463	5,99362915

Fuente: Autor

De acuerdo con la tabla 15, se grafican las curvas características de las cuales la relación que existe entre la altura útil y el caudal se refleja a partir de la figura 66, de la que se obtiene una altura máxima para la bomba 3 de 10,5 m aproximadamente, la potencia hidráulica de la bomba máxima es de 25,1 watts aunque se mantiene en promedio expresado a partir de la figura 67 que a su vez permite comparar el caudal contra la potencia obtenida, por último se verifica la eficiencia de la bomba especificada en la figura 68, que se halla a partir de potencia hidráulica sobre la potencia de entrada a la bomba de esta manera se permite determinar el porcentaje de eficiencia máxima para esta bomba de aproximadamente 6,7%.

Figura 66

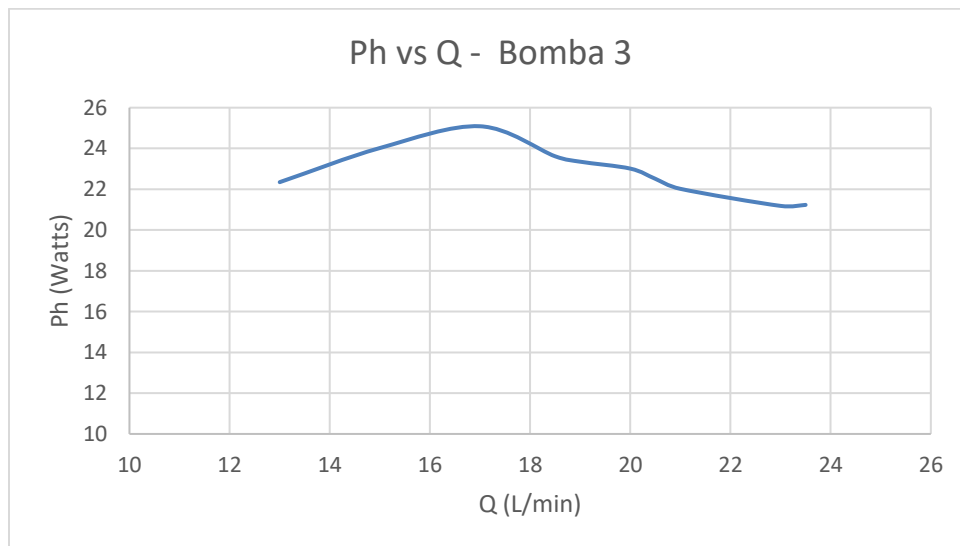
Curva experimental H vs Q, Bomba 3



Fuente: Autor

Figura 67

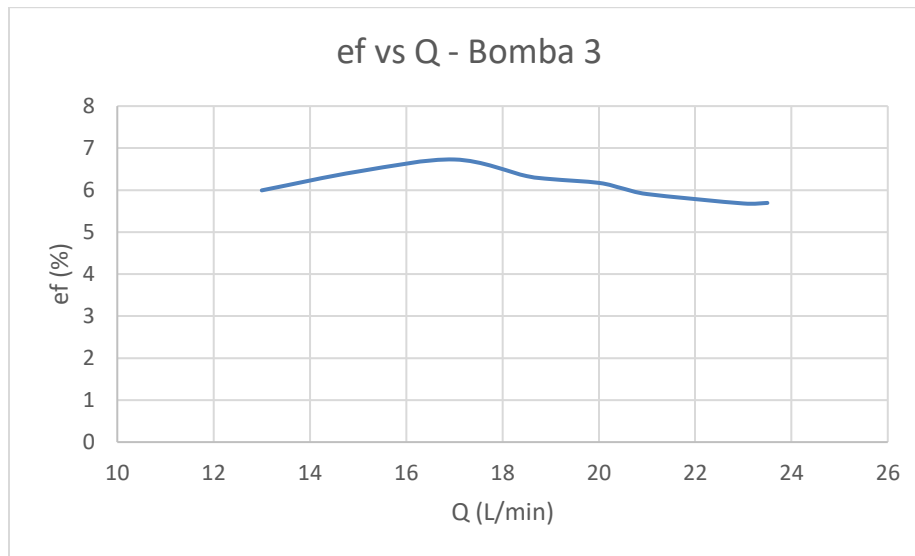
Curva experimental Ph vs Q, Bomba 3



Fuente: Autor

Figura 68

Curva experimental ef vs Q, Bomba 3



Fuente: Autor

5.6 Curvas características circuito en Serie (Bombas 1-2)

Para la toma de los datos correspondientes al sistema en serie, se dejan abiertas las válvulas 1 y 4 al igual que la válvula total que es la que permite cambiar el paso del fluido para realizar diferentes muestras, las demás válvulas permanecen cerradas (2,3,5), al igual que a la salida del tanque S1 debe estar conectado la sección SB1 que permite la conexión de la bomba 1 con el tanque y la sección DB1 debe conectarse a la salida de la bomba 1 la cual esta sección es la encargada de la unión con la bomba 2, en la tabla 15.

Tabla 16*Datos iniciales bombas 1-2 en serie*

Serie B1- B2									
Datos	Q (L/min)	Q (m ³ /s)	Pe1	Ps1- Pe2 (psi)	Pe2(Pa)	Ps2 (psi)	Ps2(Pa)	PT (psi)	PT (Pa)
1	25	0,000416675	0	0,8	5515,808	2,2	15168,472	2	13789,52
2	24,5	0,000408342	0	1,1	7584,236	3	20684,28	3	20684,28
3	23	0,000383341	0	2	13789,52	5	34473,8	5	34473,8
4	22,7	0,000378341	0	2,4	16547,424	6	41368,56	6	41368,56
5	22	0,000366674	0	3,4	23442,184	8	55158,08	8	55158,08
6	21	0,000350007	0	3,8	26200,088	9	62052,84	9	62052,84
7	20,5	0,000341674	0	4,4	30336,944	10	68947,6	10	68947,6
8	20	0,00033334	0	4,9	33784,324	11	75842,36	11	75842,36
9	19,5	0,000325007	0	5,2	35852,752	11,8	81358,168	12	82737,12
10	19	0,000316673	0	6	41368,56	12,8	88252,928	13	89631,88

Fuente: Autor

De acuerdo con la tabla 16, se realiza el cálculo para pérdidas primarias (h_p) igual que en el anterior caso se tiene en cuenta las tuberías de succión y descarga de las bombas 1-2, en donde la tubería de succión va desde la salida del tanque a través de las sección S1 y SB1 a la bomba 1.

Para las pérdidas secundarias (h_s) en la succión se obtuvo un coeficiente $K = 15,6025$ y en la descarga un coeficiente de $K = 31,5004$. Esto permitió encontrar de manera más precisa en valor correspondiente a las pérdidas secundarias, anexado en la tabla 17. Cada calculo se expresa en el Anexo A-4 del cual se desprenden los datos implicados a continuación.

Tabla 17

Perdidas primarias y secundarias en la succión y descarga serie Bombas 1-2

Serie Bombas 1-2						
Datos	hp (m) Succión	hs (m) Succión	hl (m) Succión	hp (m) Descarga	hs (m) Descarga	hl (m) Descarga
1	0,08614116	1,04555931	1,13170047	0,2742292	2,11091404	2,38514324
2	0,08314773	1,00415516	1,08730289	0,26469966	2,02732185	2,29202151
3	0,0744476	0,8849614	0,959409	0,23700291	1,78667765	2,02368055
4	0,07275832	0,86202601	0,93478433	0,23162511	1,74037264	1,97199775
5	0,06888293	0,80968113	0,87856406	0,21928787	1,63469184	1,8539797
6	0,06350855	0,73774665	0,80125519	0,20217858	1,48946095	1,69163953
7	0,06089326	0,70303408	0,76392734	0,19385286	1,4193786	1,61323146
8	0,05832622	0,66915796	0,72748418	0,18568072	1,35098499	1,53666571
9	0,05580766	0,63611828	0,69192595	0,17766293	1,2842801	1,46194303
10	0,05333784	0,60391506	0,6572529	0,16980028	1,21926395	1,38906424

Fuente: Autor

Para las tuberías de succión y descarga se maneja la misma velocidad ya que la tubería es del mismo diámetro en donde la tubería de succión del sistema en serie tiene un total de 1,09 m y la descarga 3,47 m.

Z_2 es la elevación que se tiene respecto al punto de referencia 1 (Z_1) este valor es de 0,15 m respecto del nivel del agua en el tanque con la tubería de retorno que ingresa al tanque, para este sistema se requiere que el tanque este por lo menos lleno a la mitad para evitar cavitación, en la tabla 18 se realiza el cálculo de los valores requeridos para caracterizar el sistema en serie de las bombas 1 y 2.

Tabla 18

Caracterización del sistema en serie Bombas 1-2

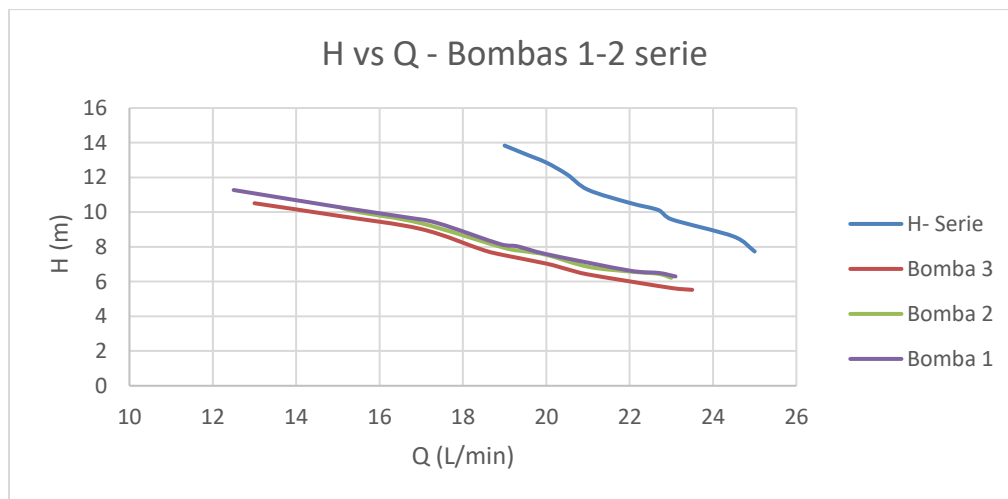
Serie Bombas 1-2					
Datos	Q(L/min)	H(m) real	Hb serie (m)	Ph (Watts)	ef (%)
1	25	2	7,733856	31,61276864	8,478682752
2	24,5	2,5	8,593683008	34,42483419	9,232891027
3	23	3,2	9,589808754	36,06319707	9,672307113
4	22,7	3,5	10,1120313	37,53104918	10,06599147
5	22	3,8	10,53443808	37,89313163	10,16310356
6	21	4,3	11,2901786	38,76560353	10,39710434
7	20,5	4,8	12,17221787	40,79904719	10,94248282
8	20	5,2	12,85703775	42,04335429	11,27621142
9	19,5	5,5	13,34463926	42,54689704	11,41126379
10	19	5,8	13,83502343	42,97935986	11,52725221

Fuente: Autor

De acuerdo con la tabla 18 las curvas características para el sistema en serie son las siguientes, expresadas en las figuras 69, 70 y 71 respectivamente, en la parte inferior se encuentra el análisis respectivo de este sistema.

Figura 69

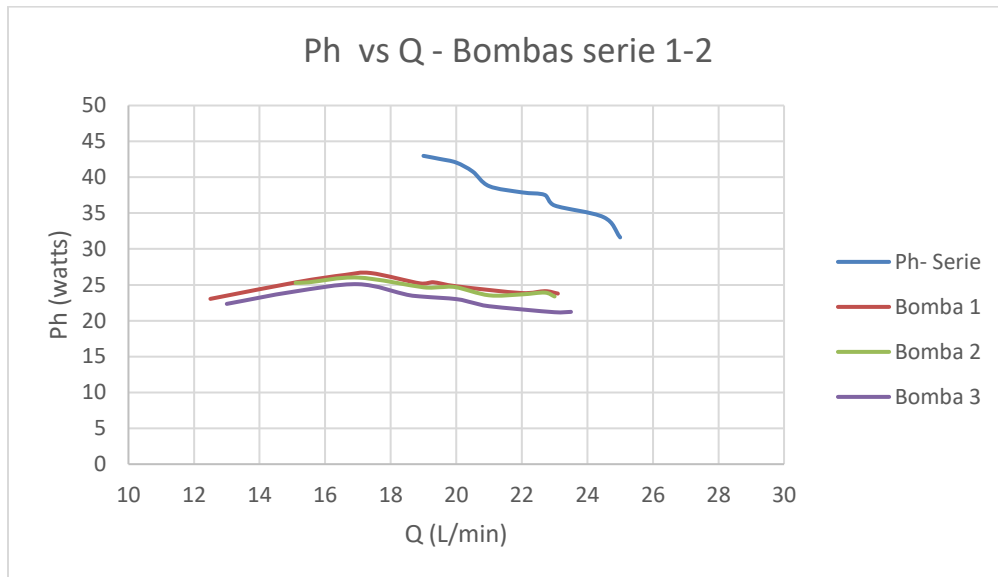
Curva experimental H vs Q, Serie Bombas 1-2



Fuente: Autor

Figura 70

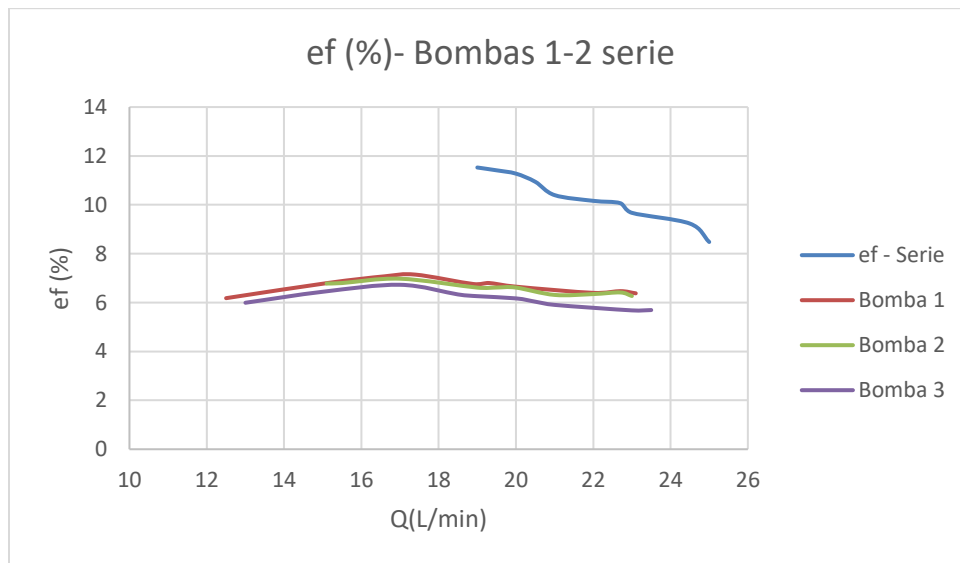
Curva experimental Ph vs Q , Serie Bombas 1-2



Fuente: Autor

Figura 71

Curva experimental ef vs Q , Serie Bombas 1-2



Fuente: Autor

5.6.1 Análisis sistema serie

En base a la teoría se puede confirmar y dar como primera conclusión, para el sistema en serie se mantiene un caudal promedio ofrecido por una bomba entre 20 y 25 L/min determinado en los datos obtenidos de cada bomba y al compararlo con el sistema en serie, se conserva este mismo caudal dando como primera afirmación de la teoría que el caudal debe permanecer aproximadamente igual. Como segunda conclusión, se establece que la altura útil debe aumentar en comparación a lo que nos ofrece una sola bomba; para este caso se obtuvo una altura útil máxima aproximada de 14 m mostrada en la figura 69, en el sistema en serie en correlación con lo que ofrece 1 sola bomba que son aproximadamente 10 m afirmando lo expuesto de forma teórica, de tal manera también se obtiene una mayor potencia para las bombas y a su vez una mayor eficiencia con un valor aproximado de 43 Watts y 11,5 % respectivamente, expuestos en las figuras 70 y 71.

5.7 Curvas características circuito en paralelo (Bombas 2-3)

Para la toma de los datos correspondientes al sistema en paralelo, se dejan abiertas las válvulas 1,2,3 y 4 al igual que la válvula total que es la que permite cambiar el paso del fluido para realizar diferentes muestras, la válvula 5 permanece cerrada, al igual que a la salida del tanque S1 debe estar conectado la sección SB2 que permite la conexión de la bomba 2 con el tanque y la salida del tanque S2 debe conectarse a la sección SB3, conectados a la sección D1, los datos experimentales se adjuntan en la tabla 19

Tabla 19

Datos iniciales bombas 2-3 en paralelo

Paralelo B2- B3									
Datos	Q (L/min)	Q(m3/s)	Pe2 - Pe3 (psi)	Ps2 (psi)	Ps2 (Pa)	Ps3 (psi)	Ps3 (Pa)	PT (psi)	PT (Pa)
1	43	0,000716681	0	4,8	33094,848	4,2	28957,992	3,8	26200,088
2	41	0,000683347	0	6	41368,56	5,3	36542,228	5	34473,8
3	39	0,000650013	0	6,8	46884,368	6,2	42747,512	6	41368,56
4	37,8	0,000630013	0	7,8	53779,128	7	48263,32	7	48263,32
5	35,8	0,000596679	0	8,6	59294,936	8	55158,08	8	55158,08
6	35	0,000583345	0	9,4	64810,744	8,8	60673,888	9	62052,84
7	33	0,000550011	0	10,5	72394,98	9,8	67568,648	10	68947,6
8	30,5	0,000508344	0	11,5	79289,74	10,8	74463,408	11	75842,36
9	29	0,000483343	0	12,4	85495,024	11,6	79979,216	12	82737,12
10	27	0,000450009	0	13,3	91700,308	12,4	85495,024	13	89631,88

Fuente: Autor

De acuerdo con la tabla 19, se realiza el cálculo para pérdidas primarias (h_p) igual que en el anterior caso se tiene en cuenta las tuberías de succión y descarga de la bombas 2-3, para las tuberías de succión se tiene presente la tuberías al inicio de las bombas 2-3 y para la descarga la sección general D1.

Para las pérdidas secundarias (h_s) en la succión se obtuvo un coeficiente $K = 30,2934$ y en la descarga un coeficiente de $K= 42,6004$. Esto permitió encontrar de manera más precisa en valor correspondiente a las pérdidas secundarias, anexado en la tabla 20. Cada calculo se expresa en el Anexo A-5 del cual se desprenden los datos implicados a continuación.

Tabla 20

Perdidas primarias y secundarias en la succión y descarga paralelo Bombas 2-3

Paralelo Bombas 2-3								
Datos	hp Succión B2	hp Succión B3	hp B2-3	hs Succión	hL Succión	hp Descarga	hs Descarga	hL Descarga
1	0,34159	0,23593	0,5775186	6,00564	6,58315996	0,675	8,44549388	9,12
2	0,31403	0,2169	0,53092733	5,45997	5,99089657	0,6205	7,67813695	8,299
3	0,2875	0,19858	0,48607812	4,94028	5,42635963	0,5681	6,94732082	7,515
4	0,27209	0,18793	0,46001164	4,64094	5,10095301	0,5376	6,52637073	7,064
5	0,24723	0,17076	0,41798466	4,16283	4,58081332	0,4885	5,85401989	6,343
6	0,23758	0,16409	0,4016733	3,97886	4,3805325	0,4695	5,59531098	6,065
7	0,2142	0,14795	0,36215432	3,53712	3,89927896	0,4233	4,97411727	5,397
8	0,1865	0,12881	0,31531144	3,0215	3,3368084	0,3685	4,24901065	4,618
9	0,17069	0,11789	0,28858545	2,73161	3,02019409	0,3373	3,84135227	4,179
10	0,15058	0,104	0,25458154	2,36783	2,62240877	0,2975	3,32978098	3,627

Fuente: Autor

Para las tuberías de succión y descarga se maneja la misma velocidad, ya que la tubería es del mismo diámetro en donde la tubería de succión del sistema en paralelo tiene un total de 2,815 m y la descarga 3,29 m. $Z_1 - Z_2$ es igual a 0,15 m. En la tabla 21 se realiza el cálculo de los valores requeridos para caracterizar el sistema en paralelo de las bombas 2 y 3. La altura real que nos ofrece las bombas con base en la figura 20 de la caracterización de la bomba periférica se halla en base a dividir el caudal en dos ya que al momento de conectar en paralelo el caudal se nos duplicara.

Tabla 21*Caracterización del sistema en paralelo Bombas 2-3*

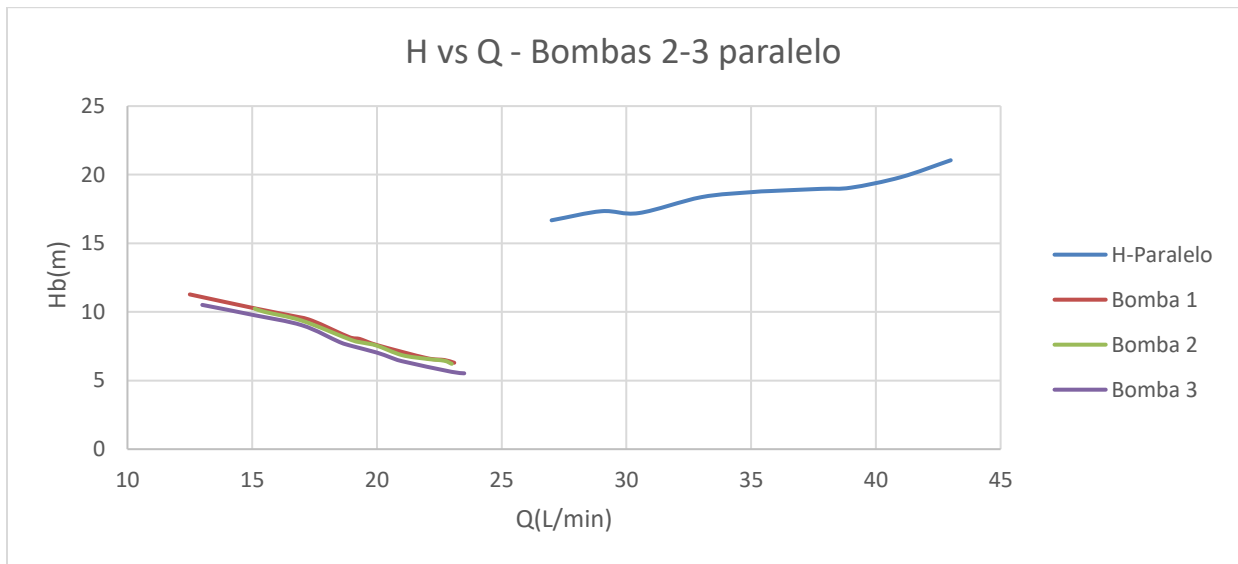
Paralelo Bombas 2-3					
Datos	Q(L/min)	h(real)	Hb serie (m)	P_h (Watts)	ef (%)
1	43	5	21,05187147	148,0081425	39,6964309
2	41	5,2	19,8197852	132,8645874	35,6348632
3	39	5,8	19,05485998	121,5057447	32,5883719
4	37,8	6,5	18,96815699	117,2312452	31,4419325
5	35,8	7,6	18,81076516	110,1072538	29,5312468
6	35	8	18,72663879	107,1653337	28,742211
7	33	8,8	18,3634223	99,0818266	26,5741791
8	30,5	9	17,2040769	85,79414631	23,0103651
9	29	9,9	17,33899914	82,2145087	22,0502907
10	27	10,2	16,67789224	73,62602777	19,7468225

Fuente: Autor

De acuerdo con la tabla 21, las curvas características para el sistema en paralelo son las siguientes, y por consiguiente en la parte inferior se encuentra un análisis respectivo de este sistema.

Figura 72

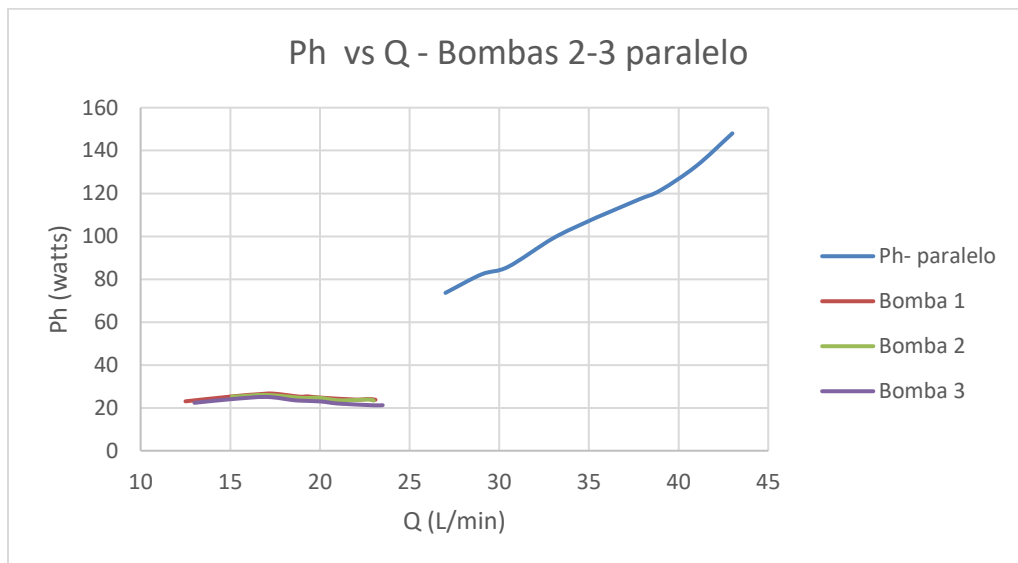
Curva experimental H vs Q, paralelo Bombas 2-3



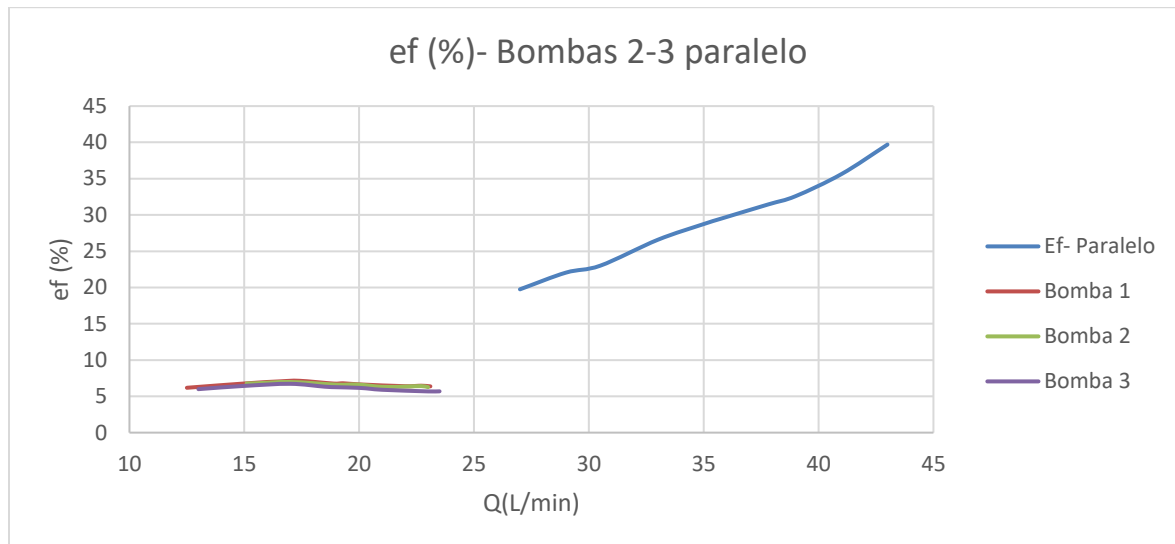
Fuente: Autor

Figura 73

Curva experimental Ph vs Q, paralelo Bombas 2-3



Fuente: Autor

Figura 74*Curva experimental ef vs Q, paralelo Bombas 2-3*

Fuente: Autor

5.7.1 Análisis sistema paralelo

En base a la teoría se puede dar como conclusión que para el sistema en paralelo se incrementa aproximadamente el doble el caudal ofrecido por 1 sola bomba entre 20 y 25 L/min, el cual para el experimento realizado entre las bombas 2 y 3 en paralelo se obtuvo un caudal máximo de 43 L/min mostrado en la figura 72 afirmando lo expuesto en la teoría, por consiguiente también se obtiene una mayor potencia para las bombas y a su vez una mayor eficiencia con un valor aproximado de 148 Watts y 40 % respectivamente, expuestos en las figuras 73 y 74.

5.8 Curvas características circuito mixto (Bombas 1-2-3)

Para la toma de los datos correspondientes al sistema mixto, se dejan abiertas las válvulas 1,2,3 y 4 al igual que la válvula total que permite cambiar el paso del fluido para realizar diferentes muestras; la válvula 5 permanece cerrada, al igual que a la salida del tanque S1 debe estar conectado la sección SB1 que permite la conexión de la bomba 1 con el tanque, después

pasa de la bomba 1 a la bomba 2 a través de la sección DB1 y la salida del tanque S2 debe conectarse a la sección SB3, conectados de manera general a las sección D1 que es la sección de retorno del sistema, los datos experimentales se adjuntan en la tabla 22

Tabla 22

Datos iniciales sistema mixto Bombas 1-2-3

Mixto B1-B2-B3								
Datos	Q(L/min)	Q(m3/s)	Pe1 - Pe3 (psi)	Ps1- Pe2 (Pa)	Ps2 (Pa)	Ps3 (Pa)	PT (psi)	PT (Pa)
1	45,4	0,00075668	0	16547,424	35163,276	31715,896	4	27579,04
2	43,5	0,00072501	0	17926,376	41368,56	37921,18	5	34473,8
3	41,6	0,00069335	0	20684,28	48263,32	42747,512	6	41368,56
4	41	0,00068335	0	24131,66	53779,128	50331,748	7	48263,32
5	40	0,00066668	0	26889,564	60673,888	55847,556	8	55158,08
6	37,8	0,00063001	0	29647,468	66189,696	62052,84	9	62052,84
7	37	0,00061668	0	33094,848	73084,456	68947,6	10	68947,6
8	35	0,00058335	0	36542,228	78600,264	74463,408	11	75842,36
9	34	0,00056668	0	39300,132	85495,024	81358,168	12	82737,12
10	32	0,00053334	0	43436,988	92389,784	88252,928	13	89631,88

Fuente: Autor

De acuerdo con la tabla 22, se realiza el cálculo para pérdidas primarias (h_p) igual que en el anterior caso se tiene en cuenta las tuberías de succión y descarga de la bombas 1-2-3, en donde la tubería de succión va desde la salida del tanque S1 a la bomba 2 a través de las secciones (SB1-Bomba 1-DB1-Bomba 2) y para la bomba 3 a partir de la salida del tanque S2 con la sección SB3, la tubería de descarga es general a partir de la sección D1.

Para las pérdidas secundarias (h_s) en la succión se obtuvo un coeficiente $K = 35,0444$ y en la descarga un coeficiente de $K = 42,6004$. Esto permitió encontrar de manera más precisa en valor correspondiente a las pérdidas secundarias, anexado en la tabla 23.

Cada calculo se expresa en el Anexo A-6 del cual se desprenden los datos implicados a continuación.

Tabla 23

Perdidas primarias y secundarias en la succión y descarga mixto Bombas 1-2-3

Mixto Bombas 1-2-3								
Datos	hp Succión B2	hp Succión B3	hp Succión total	hs Succión	hl Succión	hp Descarga	hs Descarga	hl Descarga
1	0,246153	0,25970219	0,5059	7,74470354	8,25055825	0,97896435	9,41455607	10,3935204
2	0,228237	0,2408001	0,469	7,11003283	7,57906955	0,90771169	8,64304262	9,55075431
3	0,210923	0,22253318	0,4335	6,50249091	6,93594684	0,83885333	7,90450724	8,74336057
4	0,205581	0,21689749	0,4225	6,31627174	6,73875032	0,81760922	7,67813695	8,49574617
5	0,196813	0,20764709	0,4045	6,01191837	6,41637878	0,78273924	7,30816128	8,09090052
6	0,178122	0,1879266	0,366	5,3687934	5,73484174	0,70840158	6,52637073	7,23477231
7	0,17153	0,18097182	0,3525	5,14394765	5,49644929	0,68218509	6,2530455	6,93523059
8	0,155532	0,16409389	0,3196	4,602875	4,92250135	0,61856261	5,59531098	6,21387359
9	0,147794	0,15592944	0,3037	4,34361102	4,64733446	0,58778621	5,28014653	5,86793274
10	0,132842	0,14015472	0,273	3,84762776	4,12062477	0,52832236	4,67722322	5,20554558

Fuente: Autor

Para las tuberías de succión y descarga se maneja la misma velocidad, ya que la tubería es del mismo diámetro en donde la tubería de succión del sistema en mixto tiene un total de 2,24 m y la descarga 4,335 m. Z_2 es igual a 0,15 m; en la tabla 24 se realiza el cálculo de los valores requeridos para caracterizar el sistema mixto. La altura real que ofrece cada bomba con base en la figura 20 de la caracterización de la bomba periférica, se halla en base a dividir el caudal total en dos ya que, al momento de conectar en mixto, el caudal se duplicara.

Tabla 24

Caracterización del sistema mixto Bombas 1-2-3

Mixto Bombas 1-2-3					
Datos	Q(L/min)	h(real)	Hb (m) mixto	P_h (Watts) mixto	ef (%) mixto
1	45,4	3,5	26,01507556	193,1111665	51,7932591
2	43,5	4	25,48271028	181,243031	48,6101733
3	41,6	4,5	25,01485748	170,1444575	45,6334873

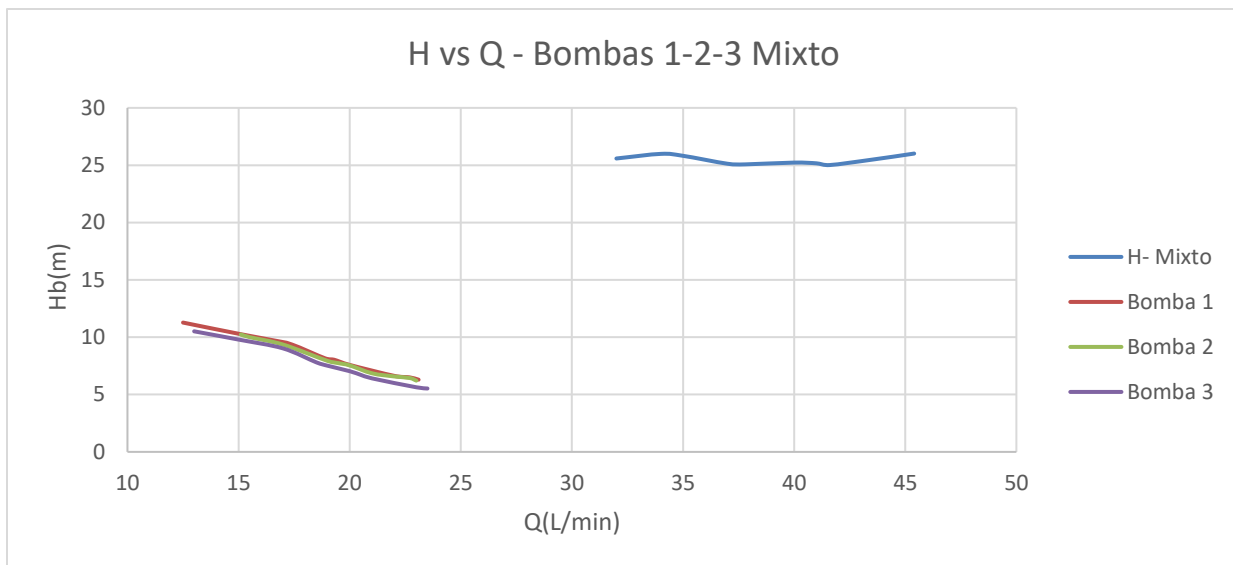
4	41	4,8	25,16473275	168,6951599	45,2447794
5	40	5,2	25,22883077	164,9998532	44,253682
6	37,8	5,9	25,0728138	154,9606103	41,5611131
7	37	6,2	25,1284636	152,0176809	40,7718066
8	35	7,2	25,81771904	147,744852	39,6258152
9	34	7,6	25,98921314	144,4769253	38,749343
10	32	8	25,58596329	133,8684373	35,9041001

Fuente: Autor

De acuerdo con la tabla 24, las curvas características para el sistema en paralelo son las siguientes que por consiguiente al finalizar estas figuras se encontrara el análisis respectivo.

Figura 75

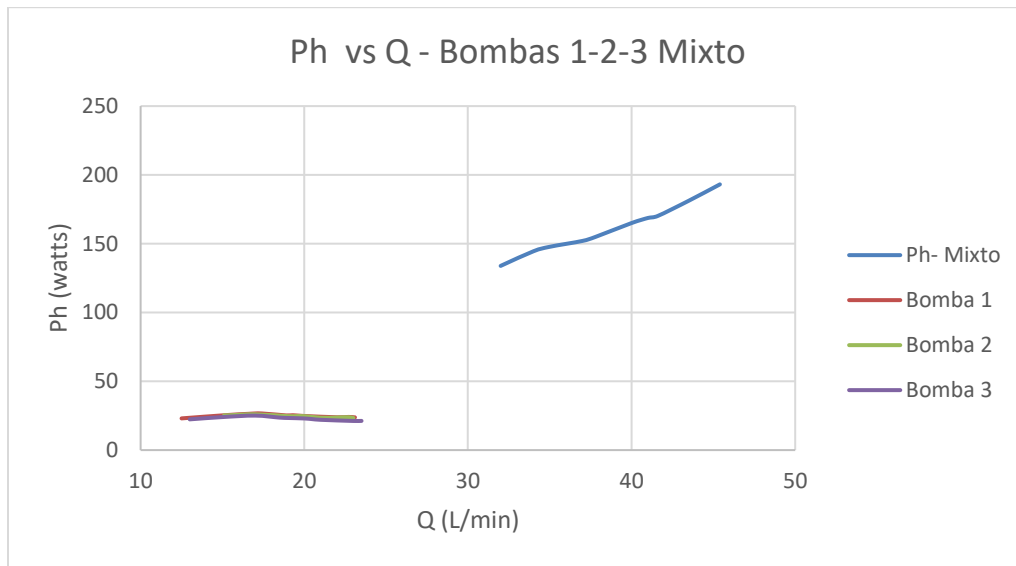
Curva experimental H vs Q, mixto bombas 1-2-3



Fuente: Autor

Figura 76

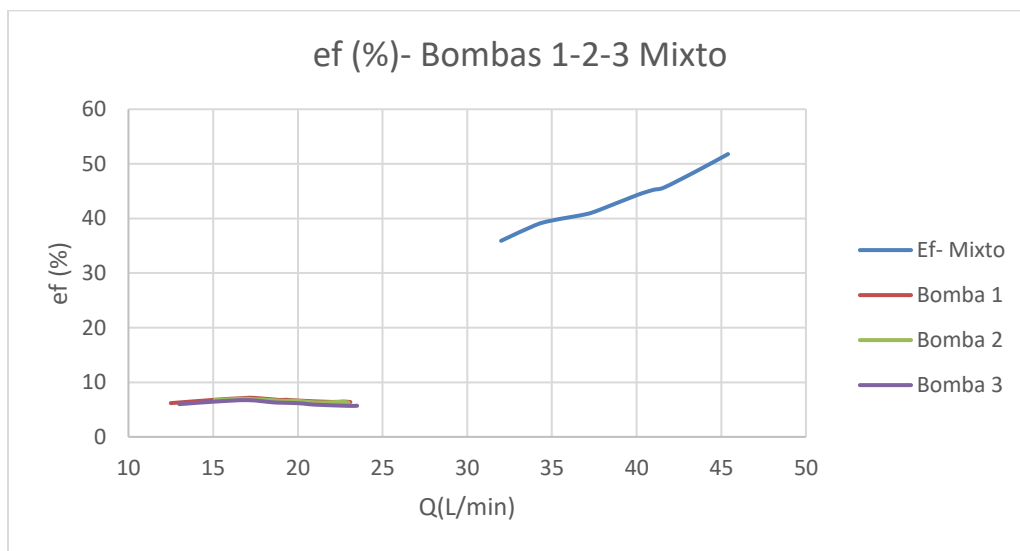
Curva experimental Ph vs Q, mixto bombas 1-2-3



Fuente: Autor

Figura 77

Curva experimental ef vs Q, mixto bombas 1-2-3



Fuente: Autor

5.8.1 Análisis sistema mixto

En base a la teoría se puede dar como primera conclusión, que obtenemos una mayor altura de elevación a través del sistema en serie de las bombas 1-2 hallando una altura máxima aproximada de 26 m y como segunda conclusión, se obtiene el doble del caudal que ofrece una sola bomba al conectar la bomba 3 en paralelo con la descarga del sistema en serie se logró hallar un caudal máximo de 45 L/min esto en base a la figura 75. Comparando con los demás sistemas debemos obtener una mejor potencia ofrecida por la bomba y a su vez una mayor altura dando por hecho que estos valores incrementaron aproximadamente hasta una potencia de 193 Watts y una eficiencia del 52 % en comparación con lo ofrecido por una sola bomba que es en promedio de 24 watts y una eficiencia del 7 % obteniendo resultados satisfactorios y cumpliendo con lo expuesto en la teoría.

6. CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó un banco didáctico para conexión de bombas en serie, paralelo y mixto para el laboratorio de fluidos de la Universidad Antonio Nariño sede Tunja.
- Se realizaron pruebas prácticas en el banco didáctico que permitieron comparar y demostrar de manera experimental lo expuesto en la teoría, hallando las curvas características de cada bomba utilizada en el sistema y analizando el comportamiento de las bombas con respecto con los diferentes tipos de conexión que permite realizar este banco didáctico (serie, paralelo y mixto).
- Se realizó la guía de laboratorio que contiene las practicas a realizar para la toma de datos con las diferentes conexiones que ofrece el banco didáctico la cual incluye la guía para el correcto funcionamiento y operatividad de las secciones de tuberías que se utilizan en el banco de pruebas.
- Este banco de pruebas didáctico servirá como herramienta a los estudiantes de la Universidad Antonio Nariño sede Tunja al permitir adquirir conocimientos de manera experimental en materias como lo son máquinas hidráulicas y mecánica de fluidos.

7. RECOMENDACIONES Y MEJORAS

Implementar dos sistemas de conexión a los existentes, haciendo uso de las tres bombas que posee el banco, que por consiguiente se puede llevar a un sistema en serie con conexión de tres bombas o también un sistema en paralelo con tres bombas a la vez, ya que este proyecto de basa en la conexión de solamente de dos bombas en serie o paralelo o las tres en mixto.

Realizar pruebas al banco obteniendo nuevos datos gracias al variador de voltaje que cada bomba posee y así obtener nuevas curvas características, y a su vez poder verificar y obtener a cuantas rpm están trabajando dichas bombas en cuanto se varía el voltaje de entrada.

Implementar un dispositivo capaz de medir la velocidad directamente del agua en base a las conexiones que se estén presentando.

Mantener el banco de pruebas desocupado cuando no se estén realizando pruebas, es decir sin almacenamiento de agua en el tanque y las tuberías ya que esto genera corrosión en los dispositivos y a su vez contaminación en el medio ambiente por estancamiento de agua.

Tener presente la puesta en marcha del banco de pruebas indicado en el manual de funcionamiento ya que esto evitara una mala manipulación del banco de pruebas, y proporcionara un mejor manejo del mismo.

8. ANEXOS

Anexo A. Cálculos requeridos para hallar curvas características de las bombas

En base a las tablas iniciales de cada bomba se realizan y adjuntan los datos calculados a partir de las fórmulas indicadas en el documento, los datos de referencia se toman a partir de la tabla 4 del presente documento.

A.1 Bomba 1

Los datos iniciales para la bomba 1 se adjuntan en la tabla 7 del presente documento, a partir de allí se realizan los siguientes cálculos.

A.1.1 Perdidas primarias bomba 1

En la tabla A1 se adjuntan los datos para las perdidas primarias en la succión de la bomba 1.

Tabla A1

Perdidas primarias succión bomba 1

Longitud (m)	Q (m ³ /s)	velocidad (m/s)	Numero de Reynolds (Re)	Factor de fricción (f)	Perdida Primaria succión (hp S) (m)
1,09	0,000385008	1,059494516	19817,15395	0,025873817	0,075014465
1,09	0,000378341	1,041148291	19473,99977	0,025987853	0,072758321
1,09	0,000366674	1,009042396	18873,47995	0,026194235	0,068882932
1,09	0,000333334	0,917311269	17157,70905	0,026837576	0,05832622
1,09	0,000321673	0,885205375	16557,18923	0,027084157	0,054813873
1,09	0,000315006	0,86685915	16214,03505	0,027230697	0,052849747
1,09	0,000290006	0,798060804	14927,20687	0,027821068	0,045764935
1,09	0,000276672	0,761368354	14240,89851	0,028165718	0,042169412
1,09	0,000251672	0,692570008	12954,07033	0,028878906	0,035776281
1,09	0,000208338	0,573319543	10723,56815	0,030385291	0,025795502

Fuente: Autor

En base a que el número de Reynolds es superior >4000 el flujo es turbulento de esta manera se utiliza la ecuación 16 del presente documento.

En la tabla A2 se adjuntan los datos para las perdidas primarias en la descarga de la bomba 1.

Tabla A1

Perdidas primarias descarga Bomba 1

Longitud (m)	Q (m ³ /s)	velocidad (m/s)	Numero de Reynolds (Re)	Factor de fricción (f)	Perdida Primaria descarga (hp D) (m)
2,91	0,000385008	1,059494516	19817,15395	0,025873817	0,200267976
2,91	0,000378341	1,041148291	19473,99977	0,025987853	0,194244691
2,91	0,000366674	1,009042396	18873,47995	0,026194235	0,183898471
2,91	0,000333334	0,917311269	17157,70905	0,026837576	0,155714953
2,91	0,000321673	0,885205375	16557,18923	0,027084157	0,146337953
2,91	0,000315006	0,86685915	16214,03505	0,027230697	0,141094278
2,91	0,000290006	0,798060804	14927,20687	0,027821068	0,122179781
2,91	0,000276672	0,761368354	14240,89851	0,028165718	0,112580725
2,91	0,000251672	0,692570008	12954,07033	0,028878906	0,095512822
2,91	0,000208338	0,573319543	10723,56815	0,030385291	0,068866889

Fuente: Autor

A.1.2 Perdidas secundarias bomba 1

Dado que se tiene un coeficiente de resistencia estipulado para cada accesorio, se procedió a especificar y denotar en la tabla 5 del presente documento el valor del coeficiente de las uniones, encontrándose de forma directa en la tesis (*Carolayn_Tesis_bachiller_2016.pdf*, s. f.), que se basa en el análisis comparativo de los valores “k”, de pérdida de carga local en accesorios de 3/4”, 1/2” y de 1” que para este caso se tiene presente los valores halladas para las uniones de PVC de 3/4” adjuntos en la tabla A3.

Tabla A2

Coefficientes de resistencia para uniones de PVC

CAUDAL (Lt/hr)				500	600	700	800	900	1000	RECOMENDADO
TIPO	MATERIAL	DIÁMETRO (pulg)	ACCESORIO	K	K	K	K	K	K	K
Presión	PVC	3/4"	RED 11: Unión Simple	0.3738	0.2995	0.2201	0.1910	0.1864	0.1653	0.2394
Rosca	PVC	3/4"	RED 15: Unión Simple	0.2880	0.4000	0.3918	0.3825	0.4148	0.4080	0.3808
Mixto	PVC	3/4"	RED 15: Unión	0.8059	0.7995	0.9398	0.8994	0.8528	0.7771	0.8457
Rosca	PVC	3/4"	RED 15: Unión Universal	0.3840	0.4000	0.3918	0.3825	0.4444	0.4320	0.4058

Fuente: (Carolayn_Tesis_bachiller_2016.pdf, s. f.)

A partir de lo anterior, se realizan los cálculos requeridos para pérdidas primarias en las tuberías de succión y descarga de la bomba 1.

Tabla A3

Coefficiente de resistencia succión bomba 1

Accesorio	Unidades	K	Total
Condición flujo de entrada, borde ahusado	1	0,5	0,5
Unión hembra (mixta)	1	0,8457	0,8457
Tee flujo derivado	1	1	1
Válvula de bola	1	10	10
Unión universal (roscada)	2	0,4058	0,8116
Unión lisa (simple)	1	0,2394	0,2394
codos 90°	2	0,9	1,8
		Total	15,1967

Fuente: Autor

Tabla A4

Perdidas secundarias en la succión bomba 1

Velocidad (m/s)	coeficiente de resistencia K	Perdidas secundarias (hs S) (m)
1,059494516	15,1967	0,869456209
1,041148291	15,1967	0,839605873
1,009042396	15,1967	0,788622412
0,917311269	15,1967	0,65175406
0,885205375	15,1967	0,606929674
0,86685915	15,1967	0,582032669
0,798060804	15,1967	0,493312648
0,761368354	15,1967	0,448993372
0,692570008	15,1967	0,371516108
0,573319543	15,1967	0,25459143

Fuente: Autor

Tabla A5

Coefficiente de resistencia descarga bomba 1

Accesorio	unidades	K	Total
Unión universal (roscada)	4	0,4058	1,6232
Codos 90°	5	0,9	4,5
Codos 45°	1	0,42	0,42
Unión lisa (simple)	3	0,2394	0,7182
Tee flujo derivado	1	1	1
Válvula de bola	2	10	20
Condición flujo a la salida	1	1	1
Total			29,2614

Fuente: Autor

Tabla A6*Perdidas secundarias en la descarga bomba 1*

Velocidad (m/s)	coeficiente de resistencia K	Perdidas secundarias (hs D) (m)
1,059494516	29,2614	1,67414675
1,041148291	29,2614	1,616669626
1,009042396	29,2614	1,518500454
0,917311269	29,2614	1,254959053
0,885205375	29,2614	1,168649244
0,86685915	29,2614	1,120709808
0,798060804	29,2614	0,949878507
0,761368354	29,2614	0,864541292
0,692570008	29,2614	0,715358034
0,573319543	29,2614	0,49021838

Fuente: Autor

Para el cálculo de la altura útil se tiene en resultados totales de las perdidas, la altura que nos ofrece la bomba de manera real respecto a la figura 10 de caracterización de la bomba, la altura geométrica es la altura a la cual logra o deberá elevarse el agua para llegar a cierto destino. En la tabla A9 se registran dichos datos.

Tabla A7*Altura útil de la bomba 1*

h (real bomba)	$V^2/2g$	Z2-Z1 (m)	hl_s (m)	hl_d (m)	Hb B1 (m)
3,2	0,057213488	0,22	0,944470675	1,874414727	6,296098889
3,5	0,055249223	0,22	0,912364194	1,810914317	6,498527735
3,8	0,05189432	0,22	0,857505344	1,702398925	6,631798589
5,2	0,042887868	0,22	0,710080279	1,410674006	7,583642153
5,8	0,039938255	0,22	0,661743547	1,314987197	8,036668999
6	0,038299938	0,22	0,634882416	1,261804086	8,15498644
7,5	0,032461827	0,22	0,539077583	1,072058288	9,363597698
8	0,029545452	0,22	0,491162784	0,977122016	9,717830252
8,8	0,024447157	0,22	0,407292388	0,810870857	10,2626104
10,2	0,016753073	0,22	0,280386931	0,559085269	11,27622527

Fuente: Autor

A partir de la obtención de estos datos se puede realizar el cálculo de la altura útil y de la eficiencia registrados en la **Tabla 9** del presente documento.

A.2 Bomba 2

Los Datos iniciales para la bomba 2 se adjuntan en la tabla 10 del presente documento, a partir de ahí se proceden a realizar los cálculos.

A.2.1 Perdidas primarias bomba 2

En la tabla A9 se adjuntan los datos para las perdidas primarias en la succión de la bomba 2.

Tabla A8*Perdidas primarias succión bomba 2*

Longitud (m)	Q (m ³ /s)	velocidad (m/s)	Numero de Reynolds (Re)	Factor de fricción (f)	Perdidas Primarias succión (hp S) (m)
1,665	0,000383341	1,05490796	19731,3654	0,02590207	0,113720414
1,665	0,000378341	1,041148291	19473,99977	0,025987853	0,111140004
1,665	0,000366674	1,009042396	18873,47995	0,026194235	0,105220259
1,665	0,000350007	0,963176833	18015,5945	0,026505319	0,097010762
1,665	0,000333334	0,917311269	17157,70905	0,026837576	0,089094638
1,665	0,000325007	0,894378488	16728,76632	0,027012456	0,085247486
1,665	0,000316673	0,871445706	16299,82359	0,027193661	0,081474775
1,665	0,000283339	0,779714579	14584,05269	0,02799057	0,067136373
1,665	0,000258339	0,710916234	13297,22451	0,028679339	0,057184828
1,665	0,000251672	0,692570008	12954,07033	0,028878906	0,054649089

Fuente: Autor

En base a que el número de Reynolds es superior >4000 el flujo es turbulento de esta manera se utiliza la ecuación 16 del presente documento.

En la tabla A10 se adjuntan los datos para las perdidas primarias en la descarga de la bomba 2.

Tabla A9

Perdidas primarias descarga Bomba 2

Longitud (m)	Q (m ³ /s)	velocidad (m/s)	Numero de Reynolds (Re)	Factor de fricción (f)	Perdidas Primarias descarga (hp D) (m)
2,425	0,000383341	1,05490796	19731,3654	0,02590207	0,165628832
2,425	0,000378341	1,041148291	19473,99977	0,025987853	0,161870576
2,425	0,000366674	1,009042396	18873,47995	0,026194235	0,153248726
2,425	0,000350007	0,963176833	18015,5945	0,026505319	0,14129195
2,425	0,000333334	0,917311269	17157,70905	0,026837576	0,129762461
2,425	0,000325007	0,894378488	16728,76632	0,027012456	0,124159252
2,425	0,000316673	0,871445706	16299,82359	0,027193661	0,118664463
2,425	0,000283339	0,779714579	14584,05269	0,02799057	0,097781204
2,425	0,000258339	0,710916234	13297,22451	0,028679339	0,083287213
2,425	0,000251672	0,692570008	12954,07033	0,028878906	0,079594019

Fuente: Autor

A.2.2 Perdidas secundarias bomba 2

Los coeficientes de resistencia se obtuvieron a partir de la tabla 5 y la tabla A4, a partir de lo anterior se realizan los cálculos requeridos para perdidas primarias en las tuberías de succión y descarga de la bomba 2.

Tabla A10

Coefficiente de resistencia succión bomba 2

Accesorio	Unidades	K	Total
Condición flujo de entrada, borde ahusado	1	0,5	0,5
Unión hembra (mixta)	1	0,8457	0,8457
Tee flujo derivado	1	1	1
Válvula de bola	1	10	10
Unión universal (roscada)	2	0,4058	0,8116
Unión lisa (simple)	1	0,2394	0,2394
Codos 90°	2	0,9	1,8
		Total	15,1967

Fuente: Autor

Tabla A11*Perdidas secundarias en la succión bomba 2*

Velocidad (m/s)	coeficiente de resistencia K	Perdida secundaria (hs S) (m)
1,05490796	15,1967	0,861944744
1,041148291	15,1967	0,839605873
1,009042396	15,1967	0,788622412
0,963176833	15,1967	0,718558851
0,917311269	15,1967	0,65175406
0,894378488	15,1967	0,619573703
0,871445706	15,1967	0,588208039
0,779714579	15,1967	0,470892308
0,710916234	15,1967	0,391459782
0,692570008	15,1967	0,371516108

Fuente: Autor

Tabla A12*Coeficiente de resistencia descarga bomba 2*

Accesorio	unidades	K	Total
Unión universal (roscada)	3	0,4058	1,2174
Codos 90°	4	0,9	3,6
Codos 45°	1	0,42	0,42
unión lisa (simple)	3	0,2394	0,7182
Tee flujo derivado	1	1	1
Tee flujo directo	1	0,2	0,2
Válvula de bola	2	10	20
condición flujo a la salida	1	1	1
		Total	28,1556

Fuente: Autor

Tabla A13*Perdidas secundarias en la descarga bomba 2*

Velocidad (m/s)	coeficiente de resistencia K	Perdida secundaria (hs D) (m)
1,05490796	28,1556	1,59696325
1,041148291	28,1556	1,555575035
1,009042396	28,1556	1,461115715
0,963176833	28,1556	1,331305848
0,917311269	28,1556	1,207533649
0,894378488	28,1556	1,147911675
0,871445706	28,1556	1,089799118
0,779714579	28,1556	0,872443061
0,710916234	28,1556	0,725274898
0,692570008	28,1556	0,688324368

Fuente: Autor

Tabla A14*Altura útil de la bomba 2*

h(real)	$V^2/2g$	Z2-Z1 (m)	hl_s (m)	hl_d (m)	Hb B1 (m)
3,2	0,056719205	0,22	0,975665158	1,762592082	6,214976446
3,5	0,055249223	0,22	0,950745877	1,717445611	6,443440712
3,8	0,05189432	0,22	0,893842671	1,614364441	6,580101432
4,3	0,047283874	0,22	0,815569613	1,472597798	6,855451285
5,2	0,042887868	0,22	0,740848698	1,33729611	7,541032675
5,5	0,040770279	0,22	0,704821189	1,272070927	7,737662395
5,8	0,038706301	0,22	0,669682814	1,208463581	7,936852696
7,6	0,030986484	0,22	0,538028681	0,970224265	9,359239431
8,5	0,025759526	0,22	0,44864461	0,80856211	10,00296625
8,8	0,024447157	0,22	0,426165197	0,767918387	10,23853074

Fuente: Autor

A partir de la obtención de estos datos, se puede realizar el cálculo de la altura útil y de la eficiencia registrados en la **Tabla 12** del presente documento.

A.3 Bomba 3

Los Datos iniciales para la bomba 3 se adjuntan en la tabla 13 del presente documento, a partir de ahí se proceden a realizar los cálculos.

A.3.1 Perdidas primarias bomba 3

En la tabla A16 se adjuntan los datos para las perdidas primarias en la succión de la bomba 3.

Tabla A15

Perdidas primarias succión bomba 3

Longitud (m)	Q (m ³ /s)	velocidad (m/s)	Numero de Reynolds (Re)	Factor de fricción (f)	Perdidas Primarias succión (hp S) (m)
1,15	0,000391675	1,077840742	20160,30813	0,025762469	0,081555847
1,15	0,000383341	1,05490796	19731,3654	0,02590207	0,078545632
1,15	0,000350007	0,963176833	18015,5945	0,026505319	0,06700443
1,15	0,000341674	0,940244051	17586,65177	0,026668645	0,064245183
1,15	0,00033334	0,917311269	17157,70905	0,026837576	0,061536837
1,15	0,000316673	0,871445706	16299,82359	0,027193661	0,056273869
1,15	0,00030834	0,848512924	15870,88087	0,027381603	0,053719778
1,15	0,000283339	0,779714579	14584,05269	0,02799057	0,046370468
1,15	0,000250005	0,687983452	12868,28179	0,028929956	0,037313174
1,15	0,000216671	0,596252325	11152,51088	0,030063092	0,029124082

Fuente: Autor

En base a que el número de Reynolds es superior >4000 el flujo es turbulento de esta manera se utiliza la ecuación 16 del presente documento.

En la tabla A17 se adjuntan los datos para las perdidas primarias en la descarga de la bomba 3.

Tabla A16

Perdidas primarias descarga Bomba 3

Longitud (m)	Q (m ³ /s)	velocidad (m/s)	Numero de Reynolds (Re)	Factor de fricción (f)	Perdidas primarias descarga (hp D) (m)
2,825	0,000391675	1,077840742	20160,30813	0,025762469	0,200343712

2,825	0,000383341	1,05490796	19731,3654	0,02590207	0,192949051
2,825	0,000350007	0,963176833	18015,5945	0,026505319	0,164597839
2,825	0,000341674	0,940244051	17586,65177	0,026668645	0,157819689
2,825	0,000333334	0,917311269	17157,70905	0,026837576	0,151166578
2,825	0,000316673	0,871445706	16299,82359	0,027193661	0,138237982
2,825	0,00030834	0,848512924	15870,88087	0,027381603	0,131963804
2,825	0,000283339	0,779714579	14584,05269	0,02799057	0,113910063
2,825	0,000250005	0,687983452	12868,28179	0,028929956	0,091660622
2,825	0,000216671	0,596252325	11152,51088	0,030063092	0,071543941

Fuente: Autor

A.3.2 Perdidas secundarias bomba 2

Los coeficientes de resistencia se obtuvieron de la tabla 5 y la tabla A4. A partir de lo anterior se realizan los cálculos requeridos para perdidas primarias en las tuberías de succión y descarga de la bomba 3.

Tabla A17

Coeficiente de resistencia succión bomba 3

Accesorio	unidades	K	Total
Condición flujo de entrada, borde ahogado	1	0,5	0,5
Unión hembra (mixta)	1	0,8457	0,8457
Codo 90°	3	0,9	2,7
Válvula de bola	1	10	10
Unión universal (roscada)	2	0,4058	0,8116
Unión lisa (simple)	1	0,2394	0,2394
		Total	15,0967

Fuente: Autor

Tabla A18

Perdidas secundarias en la succión bomba 3

Velocidad (m/s)	coeficiente de resistencia K	Perdidas secundarias (hs S) (m)
1,077840742	15,0967	0,893906742

1,05490796	15,0967	0,856272823
0,963176833	15,0967	0,713830463
0,940244051	15,0967	0,680243202
0,917311269	15,0967	0,647465273
0,871445706	15,0967	0,584337409
0,848512924	15,0967	0,553987474
0,779714579	15,0967	0,46779366
0,687983452	15,0967	0,364199216
0,596252325	15,0967	0,273554078

Fuente: Autor

Tabla A19

Coefficiente de resistencia descarga bomba 3

Accesorio	Unidades	K	Total
Unión universal (roscada)	3	0,4058	1,2174
Codos 90°	5	0,9	4,5
Codos 45°	1	0,42	0,42
unión lisa (simple)	3	0,2394	0,7182
Tee flujo derivado	1	1	1
Tee flujo directo	1	0,2	0,2
Válvula de bola	2	10	20
condición flujo a la salida	1	1	1
		Total	29,0556

Fuente: Autor

Tabla A20

Perdidas secundarias en la descarga bomba 3

Velocidad (m/s)	coeficiente de resistencia K	Perdidas secundarias (hs D) (m)
0,850347547	29,0556	1,070837992
0,833377288	29,0556	1,028523375
0,779714579	29,0556	0,900330897

0,710916234	29,0556	0,748458471
0,694404631	29,0556	0,714095115
0,676975717	29,0556	0,678698714
0,642117889	29,0556	0,610605038
0,607718716	29,0556	0,546935443
0,555431974	29,0556	0,456869954
0,520574145	29,0556	0,401324834

Fuente: Autor

Tabla A21

Altura útil de la bomba 3

h(real)	$V^2/2g$	Z2-Z1 (m)	hl_s (m)	hl_d (m)	Hb B3 (m)
3	0,059212062	0,22	0,975462589	1,271181704	5,525856356
3,2	0,056719205	0,22	0,934818455	1,221472426	5,633010086
4,3	0,047283874	0,22	0,780834893	1,064928736	6,413047504
4,8	0,045059066	0,22	0,744488385	0,90627816	6,715825611
5,2	0,042887868	0,22	0,70900211	0,865261693	7,03715167
5,8	0,038706301	0,22	0,640611278	0,816936697	7,516254275
6,2	0,036695932	0,22	0,607707252	0,742568841	7,806972025
7,6	0,030986484	0,22	0,514164128	0,660845506	9,025996118
8,6	0,024124426	0,22	0,40151239	0,548530576	9,794167391
9,5	0,018120124	0,22	0,30267816	0,472868775	10,51366706

Fuente: Autor

A partir de la obtención de estos datos se puede realizar el cálculo de la altura útil y de la eficiencia registrados en la **Tabla 15** del presente documento.

A.4 Serie Bombas 1-2

Los Datos iniciales para el sistema en serie se adjuntan en la tabla 16 del presente documento, a partir de ahí se proceden a realizar los cálculos.

A.4.1 Perdidas primarias sistema serie Bombas 1-2

En la tabla A23 se adjuntan los datos para las perdidas primarias en la succión del sistema en serie

Tabla A22

Perdidas primarias succión serie B1-2

Longitud (m)	Q (m ³ /s)	velocidad (m/s)	Numero de Reynolds (Re)	Factor de fricción (f)	Perdidas Primarias succión (hp S)
1,09	0,0004167	1,146639087	21447,13631	0,02536706	0,086141159
1,09	0,0004083	1,123706305	21018,19358	0,025495157	0,083147733
1,09	0,0003833	1,05490796	19731,3654	0,02590207	0,074447599
1,09	0,0003783	1,041148291	19473,99977	0,025987853	0,072758321
1,09	0,0003667	1,009042396	18873,47995	0,026194235	0,068882932
1,09	0,00035	0,963176833	18015,5945	0,026505319	0,063508547
1,09	0,0003417	0,940244051	17586,65177	0,026668645	0,060893261
1,09	0,0003333	0,917311269	17157,70905	0,026837576	0,05832622
1,09	0,000325	0,894378488	16728,76632	0,027012456	0,055807664
1,09	0,0003167	0,871445706	16299,82359	0,027193661	0,053337841

Fuente: Autor

En base a que el número de Reynolds es superior >4000 el flujo es turbulento de esta manera se utiliza la ecuación 16 del presente documento.

En la tabla A24 se adjuntan los datos para las perdidas primarias en la descarga del sistema serie B1-2

Tabla A23*Perdidas primarias descarga serie B1-2*

Longitud (m)	Q (m ³ /s)	velocidad (m/s)	Numero de Reynolds (Re)	Factor de fricción (f)	Perdidas Primarias descarga (hp D)
3,47	0,00041668	1,146639087	21447,1363	0,02536706	0,274229195
3,47	0,00040001	1,123706305	21018,1936	0,025495157	0,264699662
3,47	0,00039167	1,05490796	19731,3654	0,02590207	0,237002906
3,47	0,00038334	1,041148291	19473,9998	0,025987853	0,231625113
3,47	0,00037834	1,009042396	18873,48	0,026194235	0,219287867
3,47	0,00037167	0,963176833	18015,5945	0,026505319	0,202178585
3,47	0,00035834	0,940244051	17586,6518	0,026668645	0,193852857
3,47	0,00034667	0,917311269	17157,709	0,026837576	0,185680717
3,47	0,00033334	0,894378488	16728,7663	0,027012456	0,17766293
3,47	0,00031667	0,871445706	16299,8236	0,027193661	0,169800283

Fuente: Autor

A.4.2 Perdidas secundarias Serie B1-2

Los coeficientes de resistencia se obtuvieron a partir de la tabla 5 y la tabla A4, a partir de lo anterior se realizan los cálculos requeridos para perdidas primarias en las tuberías de succión y descarga del sistema en serie B1-2.

Tabla A24

Coeficiente de resistencia succión serie B1-2

Accesorio	unidades	K	Total
condición flujo de entrada, borde ahusado	1	0,5	0,5
unión hembra (roscada)	1	0,8457	0,8457
Tee flujo derivado	1	1	1
válvula de bola	1	10	10
unión universal (roscada)	3	0,4058	1,2174
unión lisa (simple)	1	0,2394	0,2394
codos 90°	2	0,9	1,8
		Total	15,6025

Fuente: Autor

Tabla A25

Perdidas secundarias en la succión serie B1-2

Velocidad (m/s)	coeficiente de resistencia K	Perdidas secundarias (hs S)
1,146639087	15,6025	1,045559307
1,123706305	15,6025	1,004155158
1,05490796	15,6025	0,884961397
1,041148291	15,6025	0,862026008
1,009042396	15,6025	0,809681127
0,963176833	15,6025	0,737746647
0,940244051	15,6025	0,703034078

0,917311269	15,6025	0,669157956
0,894378488	15,6025	0,636118282
0,871445706	15,6025	0,603915056

Fuente: Autor

Tabla A26

Coefficiente de resistencia descarga serie B1-2

Accesorio	unidades	K	Total
Unión universal (roscada)	4	0,4057	1,6228
Unión lisa (simple)	4	0,2394	0,9576
Codos 90°	7	0,9	6,3
Codos 45°	1	0,42	0,42
Válvula de bola	2	10	20
Tee flujo derivado	1	1	1
Tee flujo directo	1	0,2	0,2
condición flujo a la salida	1	1	1
		Total	31,5004

Fuente: Autor

Tabla A27

Perdidas secundarias en la descarga serie B1-2

Velocidad (m/s)	coeficiente de resistencia K	Perdida secundaria (hs D)
1,14663909	31,5004	2,11091404
1,1237063	31,5004	2,02732185
1,05490796	31,5004	1,78667765
1,04114829	31,5004	1,74037264
1,0090424	31,5004	1,63469184
0,96317683	31,5004	1,48946095
0,94024405	31,5004	1,4193786
0,91731127	31,5004	1,35098499
0,89437849	31,5004	1,2842801
0,87144571	31,5004	1,21926395

Fuente: Autor

La altura útil se calcula a continuación:

Tabla A28*Altura útil serie B1-2*

H(m) teorica	$V^2/2g$	Z2-Z1 (m)	hl_s (m)	hl_d (m)	Hb serie (m)
2	0,067012293	0,15	1,131700466	2,3851432	7,733856
2,5	0,064358607	0,15	1,087302891	2,2920215	8,593683008
3,2	0,056719205	0,15	0,959408996	2,0236806	9,589808754
3,5	0,055249223	0,15	0,934784329	1,9719978	10,1120313
3,8	0,05189432	0,15	0,878564059	1,8539797	10,53443808
4,3	0,047283874	0,15	0,801255194	1,6916395	11,2901786
4,8	0,045059066	0,15	0,763927338	1,6132315	12,17221787
5,2	0,042887868	0,15	0,727484176	1,5366657	12,85703775
5,5	0,040770279	0,15	0,691925946	1,461943	13,34463926
5,8	0,038706301	0,15	0,657252897	1,3890642	13,83502343

Fuente: Autor

A partir de la obtención de estos datos se puede realizar el cálculo de la potencia hidráulica útil y de la eficiencia registrados en la **Tabla 18** del presente documento.

A.5 Paralelo Bombas 2-3

Los Datos iniciales para el sistema en paralelo se adjuntan en la tabla 19 del presente documento, a partir de ahí se proceden a realizar los cálculos.

A.5.1 Perdidas primarias sistema Paralelo B2-3

En la tabla A30, se adjuntan los datos para las perdidas primarias en la succión del sistema en paralelo.

Tabla A29*Perdidas primarias succión paralelo 2-3 (Succión B2)*

Longitud (m)	Q (m ³ /s)	velocidad (m/s)	Numero de Reynolds (Re)	Factor de fricción (f)	Perdida Primaria succión (hp S) B2
--------------	-----------------------	-----------------	-------------------------	------------------------	------------------------------------

1,665	0,000716681	1,972219229	36889,07445	0,022259562	0,341587378
1,665	0,000683347	1,880488102	35173,30355	0,022508933	0,31402984
1,665	0,000650013	1,788756975	33457,53264	0,022775316	0,28750269
1,665	0,000630013	1,733718299	32428,0701	0,022944192	0,272085036
1,665	0,000596679	1,641987172	30712,29919	0,023242446	0,247227159
1,665	0,000583345	1,605294721	30025,99083	0,023368155	0,237579411
1,665	0,000550011	1,513563594	28310,21993	0,023700273	0,214204956
1,665	0,000508344	1,398899686	26165,5063	0,024156144	0,186498598
1,665	0,000483343	1,330101341	24878,67812	0,024454905	0,170690859
1,665	0,000450009	1,238370214	23162,90721	0,024887824	0,150578422

Fuente: Autor

Tabla A30

Perdidas primarias succión paralelo 2-3 (succión B3)

Longitud (m)	Q (m3/s)	velocidad (m/s)	Numero de Reynolds (Re)	Factor de fricción (f)	Perdida Primaria succión (hp S) B3
1,15	0,000716681	1,972219229	36889,07445	0,022259562	0,235931222
1,15	0,000683347	1,880488102	35173,30355	0,022508933	0,216897487
1,15	0,000650013	1,788756975	33457,53264	0,022775316	0,198575432
1,15	0,000630013	1,733718299	32428,0701	0,022944192	0,187926601
1,15	0,000596679	1,641987172	30712,29919	0,023242446	0,170757497
1,15	0,000583345	1,605294721	30025,99083	0,023368155	0,164093887
1,15	0,000550011	1,513563594	28310,21993	0,023700273	0,147949369
1,15	0,000508344	1,398899686	26165,5063	0,024156144	0,128812845
1,15	0,000483343	1,330101341	24878,67812	0,024454905	0,117894587
1,15	0,000450009	1,238370214	23162,90721	0,024887824	0,104003114

Fuente: Autor

En base a que el número de Reynolds es superior >4000 el flujo es turbulento de esta manera se utiliza la ecuación 16 del presente documento.

En la tabla A32 se adjuntan los datos para las pérdidas primarias en la descarga del sistema paralelo 2-3

Tabla A31

Perdidas primarias descarga paralelo 2-3

Longitud (m)	Q (m ³ /s)	velocidad (m/s)	Numero de Reynolds (Re)	Factor de fricción (f)	Perdida Primaria descarga (hp D)
3,29	0,000416675	1,972219229	36889,0745	0,022259562	0,674968453
3,29	0,000400008	1,880488102	35173,3035	0,022508933	0,62051542
3,29	0,000391675	1,788756975	33457,5326	0,022775316	0,568098409
3,29	0,000383341	1,733718299	32428,0701	0,022944192	0,537633494
3,29	0,000378341	1,641987172	30712,2992	0,023242446	0,488514927
3,29	0,000371674	1,605294721	30025,9908	0,023368155	0,469451208
3,29	0,000358341	1,513563594	28310,2199	0,023700273	0,423263847
3,29	0,000346674	1,398899686	26165,5063	0,024156144	0,368516749
3,29	0,00033334	1,330101341	24878,6781	0,024454905	0,337281036
3,29	0,000316673	1,238370214	23162,9072	0,024887824	0,297539344

Fuente: Autor

A.5.2 Perdidas secundarias paralelo 2-3

Los coeficientes de resistencia se obtuvieron a partir de la tabla 5 y la tabla A4, a partir de lo anterior se realizan los cálculos requeridos para perdidas primarias en las tuberías de succión y descarga del sistema en paralelo B2-3

Tabla A32*Coefficiente de resistencia succión paralelo B2-3*

Accesorio	unidades	K	Total
Condición flujo de entrada, borde ahusado	2	0,5	1
Unión hembra (roscada)	2	0,8457	1,6914
Tee flujo derivado	1	1	1
Válvula de bola	2	10	20
Unión universal (roscada)	4	0,4058	1,6232
Unión lisa (simple)	2	0,2394	0,4788
Codos 90°	5	0,9	4,5
		Total	30,2934

Fuente: Autor

Tabla A33*Perdidas secundarias en la succión paralelo B2-3*

Velocidad (m/s)	coeficiente de resistencia K	Perdida secundaria (hs S)
1,972219229	30,2934	6,005641364
1,880488102	30,2934	5,459969244
1,788756975	30,2934	4,940281511
1,733718299	30,2934	4,640941377
1,641987172	30,2934	4,162828663
1,605294721	30,2934	3,978859205
1,513563594	30,2934	3,537124632
1,398899686	30,2934	3,02149696
1,330101341	30,2934	2,731608646
1,238370214	30,2934	2,367827233

Fuente: Autor

Tabla A34

Coefficiente de resistencia descarga paralelo B2-3

Accesorio	unidades	K	Total
Unión universal (roscada)	4	0,4057	1,6228
Unión lisa (simple)	4	0,2394	0,9576
Codos 90°	6	0,9	5,4
Codos 45°	1	0,42	0,42
Válvula de bola	3	10	30
Tee flujo bilateral	1	3	3
Tee flujo directo	1	0,2	0,2
condición flujo a la salida	1	1	1
		Total	42,6004

Fuente: Autor

Tabla A35

Perdidas secundarias en la descarga paralelo B2-3

Velocidad (m/s)	coeficiente de resistencia K	Perdida secundaria (hs D)
1,972219229	42,6004	8,44549388
1,880488102	42,6004	7,67813695
1,788756975	42,6004	6,94732082
1,733718299	42,6004	6,52637073
1,641987172	42,6004	5,85401989
1,605294721	42,6004	5,59531098
1,513563594	42,6004	4,97411727
1,398899686	42,6004	4,24901065
1,330101341	42,6004	3,84135227
1,238370214	42,6004	3,32978098

Fuente: Autor

Tabla A36

Altura útil paralelo B2-3

h(real)	$V^2/2g$	Z2-Z1 (m)	hl_s (m)	hl_d (m)	Hb paralelo (m)
5	0,198249169	0,15	6,583159964	9,120462335	21,05187147
5,2	0,180236264	0,15	5,990896572	8,298652368	19,8197852
5,8	0,163081117	0,15	5,426359633	7,515419228	19,05485998
6,5	0,153199752	0,15	5,100953014	7,064004223	18,96815699
7,6	0,137417017	0,15	4,58081332	6,342534818	18,81076516
8	0,131344095	0,15	4,380532503	6,064762189	18,72663879
8,8	0,11676222	0,15	3,899278957	5,397381119	18,3634223
9	0,099741097	0,15	3,336808403	4,617527395	17,2040769
9,9	0,090171742	0,15	3,020194092	4,17863331	17,33899914
10,2	0,078163139	0,15	2,62240877	3,627320329	16,67789224

Fuente: Autor

El caudal obtenido para este tipo de conexión se divide en dos para poder hallar la altura real que proporciona una bomba. A partir de la obtención de estos datos se puede realizar el cálculo de la altura útil y de la eficiencia registrados en la **Tabla 21** del presente documento.

A.6 Mixto B1-2,-3

Los Datos iniciales para el sistema mixto se adjuntan en la tabla 22 del presente documento, a partir de ahí se proceden a realizar los cálculos.

A.6.1 Perdidas primarias sistema Mixto B1-2-3

En la tabla A38 se adjuntan los datos para las perdidas primarias en la succión del sistema mixto.

Tabla A37

Perdidas primarias succión Mixto B1-2-3 (serie B1-2)

Longitud (m)	Q (m3/s)	velocidad (m/s)	Numero de Reynolds (Re)	Factor de fricción (f)	Perdidas Primarias succión (hp S) B1, B2
1,09	0,000756682	2,082296581	38947,99954	0,021980219	0,246152513
1,09	0,000725015	1,995152011	37318,01718	0,022199657	0,228236619
1,09	0,000693347	1,90800744	35688,03482	0,022432425	0,210922752

1,09	0,000683347	1,880488102	35173,30355	0,022508933	0,205581097
1,09	0,00066668	1,834622539	34315,41809	0,022639872	0,196813326
1,09	0,000630013	1,733718299	32428,0701	0,022944192	0,178121735
1,09	0,000616679	1,697025848	31741,76174	0,023060866	0,171529815
1,09	0,000583345	1,605294721	30025,99083	0,023368155	0,155532467
1,09	0,000566678	1,559429158	29168,10538	0,023530893	0,147793996
1,09	0,000533344	1,467698031	27452,33448	0,023876787	0,1328423

Fuente: Autor

Tabla A38

Perdidas primarias succión Mixto B1-2,-3 (B3)

Longitud (m)	Q (m ³ /s)	velocidad (m/s)	Numero de Reynolds (Re)	Factor de fricción (f)	Perdida Primaria succión (hp S) B3
1,15	0,000756682	2,082296581	38947,99954	0,021980219	0,259702193
1,15	0,000725015	1,995152011	37318,01718	0,022199657	0,240800102
1,15	0,000693347	1,90800744	35688,03482	0,022432425	0,222533178
1,15	0,000683347	1,880488102	35173,30355	0,022508933	0,216897487
1,15	0,00066668	1,834622539	34315,41809	0,022639872	0,207647087
1,15	0,000630013	1,733718299	32428,0701	0,022944192	0,187926601
1,15	0,000616679	1,697025848	31741,76174	0,023060866	0,180971823
1,15	0,000583345	1,605294721	30025,99083	0,023368155	0,164093887
1,15	0,000566678	1,559429158	29168,10538	0,023530893	0,155929445
1,15	0,000533344	1,467698031	27452,33448	0,023876787	0,14015472

Fuente: Autor

En base a que el número de Reynolds es superior >4000 el flujo es turbulento de esta manera se utiliza la ecuación 16 del presente documento.

En la tabla A40, se adjuntan los datos para las perdidas primarias en la descarga del sistema mixto.

Tabla A39

Perdidas primarias descarga Mixto B1-2-3

Longitud (m)	Q (m3/s)	velocidad (m/s)	Numero de Reynolds (Re)	Factor de fricción (f)	Perdida Primaria descarga (hp D) B1, B2, B3
4,335	0,000416675	2,082296581	38947,9995	0,021980219	0,978964354
4,335	0,000400008	1,995152011	37318,0172	0,022199657	0,90771169
4,335	0,000391675	1,90800744	35688,0348	0,022432425	0,838853329
4,335	0,000383341	1,880488102	35173,3035	0,022508933	0,817609224
4,335	0,000378341	1,834622539	34315,4181	0,022639872	0,782739236
4,335	0,000371674	1,733718299	32428,0701	0,022944192	0,708401579
4,335	0,000358341	1,697025848	31741,7617	0,023060866	0,682185089
4,335	0,000346674	1,605294721	30025,9908	0,023368155	0,61856261
4,335	0,00033334	1,559429158	29168,1054	0,023530893	0,587786212
4,335	0,000316673	1,467698031	27452,3345	0,023876787	0,528322357

Fuente: Autor

A.6.2 Perdidas secundarias Mixto B1-2-3

Los coeficientes de resistencia se obtuvieron de la tabla 5 y la tabla A4, a partir de lo anterior se realizan los cálculos requeridos para perdidas primarias en las tuberías de succión y descarga del sistema en Mixto 1-2-3

Tabla A40

Coeficiente de resistencia succión Mixto 1-2-3

Accesorio	unidades	K	Total
Condición flujo de entrada, borde ahusado	2	0,5	1
Unión hembra (roscada)	2	0,8457	1,6914
Tee flujo derivado	2	1	2
Válvula de bola	2	10	20
Unión universal (roscada)	6	0,4058	2,4348
Unión lisa (simple)	3	0,2394	0,7182
Codos 90°	8	0,9	7,2
		Total	35,0444

Fuente: Autor

Tabla A41

Perdidas secundarias en la succión Mixto B1-2-3

Velocidad (m/s)	coeficiente de resistencia K	Perdida secundaria hs_s1
2,082296581	35,0444	7,744703539
1,995152011	35,0444	7,110032832
1,90800744	35,0444	6,502490907
1,880488102	35,0444	6,316271735
1,834622539	35,0444	6,011918368
1,733718299	35,0444	5,3687934
1,697025848	35,0444	5,143947653
1,605294721	35,0444	4,602875
1,559429158	35,0444	4,343611021
1,467698031	35,0444	3,847627755

Fuente: Autor

Tabla A42

Coeficiente de resistencia descarga Mixto 1-2-3

Accesorio	unidades	K	Total
Unión universal (roscada)	4	0,4057	1,6228
Unión lisa (simple)	4	0,2394	0,9576
Codos 90°	6	0,9	5,4
Codos 45°	1	0,42	0,42
Válvula de bola	3	10	30
Tee flujo bilateral	1	3	3
Tee flujo directo	1	0,2	0,2
condición flujo a la salida	1	1	1
		Total	42,6004

Fuente: Autor

Tabla A43

Perdidas secundarias en la descarga Mixto 1-2-3

Velocidad (m/s)	coeficiente de resistencia K	Perdida secundaria (hs D)
2,082296581	42,6004	9,41455607
1,995152011	42,6004	8,64304262
1,90800744	42,6004	7,90450724
1,880488102	42,6004	7,67813695
1,834622539	42,6004	7,30816128
1,733718299	42,6004	6,52637073
1,697025848	42,6004	6,2530455
1,605294721	42,6004	5,59531098
1,559429158	42,6004	5,28014653
1,467698031	42,6004	4,67722322

Fuente: Autor

Tabla A44

Altura útil Mixto 1-2-3

h(real)	$V^2/2g$	Z2-Z1 (m)	hl_s (m)	hl_d (m)	Hb mixto (m)
3,5	0,220996894	0,15	8,250558246	10,39352042	26,01507556
4	0,202886419	0,15	7,579069553	9,550754306	25,48271028
4,5	0,185550071	0,15	6,935946837	8,743360572	25,01485748
4,8	0,180236264	0,15	6,738750319	8,495746171	25,16473275
5,2	0,171551471	0,15	6,41637878	8,090900518	25,22883077
5,9	0,153199752	0,15	5,734841737	7,234772308	25,0728138
6,2	0,146783727	0,15	5,496449291	6,935230586	25,1284636
7,2	0,131344095	0,15	4,922501355	6,213873591	25,81771904
7,6	0,123945938	0,15	4,647334461	5,867932738	25,98921314
8	0,109792941	0,15	4,120624775	5,205545577	25,58596329

Fuente: Autor

El caudal obtenido para este tipo de conexión se divide en dos para poder hallar la altura real que proporciona una bomba. A partir de la obtención de estos datos, se puede realizar el cálculo de la altura útil y de la eficiencia registrados en la **Tabla 24** del presente documento.

Anexo B. Secciones y mando para tener en cuenta del banco didáctico

El banco didáctico cuenta con diferentes secciones encargadas se conectar el tanque de depósito de agua con las diferentes bombas de manera unitaria y a su vez permite la conexión entre las mismas para obtener los sistemas en serie, paralelo y mixto, en este anexo se describe cada sección y la manera en que va conectada en el banco de pruebas.

B.1 Sección S1

Esta sección está ubicada en la salida 1 del depósito de agua como se observa en la figura 2.1 es la encargada de suministrar agua a las bombas 1 y 2 del sistema y a su vez esta sección permite el drenaje del agua que contiene el depósito y la tubería una vez se hallan realizado las pruebas, posee el elemento de medición VC1 que es el vacuómetro N 1 del sistema.

Figura 78

Sección S1 (Anexo B)



Fuente: Autor

B.2 Sección S2

Esta sección está ubicada en la salida 2 del depósito de agua como se observa en la figura 2.2 es la encargada de suministrar agua a la bomba 3 del sistema, posee el elemento de medición VC2 (vacuómetro 2).

Figura 79

Sección S2 (Anexo B)



Fuente: Autor

B.3 Sección SB1

Esta sección va conecta a la S1 y permite la unión de la bomba 1 al sistema como se observa en la figura 2.3 para la realización de pruebas que requiera un funcionamiento independiente o a la par con la bomba 2.

Figura 80

Sección S2 (Anexo B)



Fuente: Autor

B.4 Sección DB1

Esta sección es la encargada de unir a las bombas 1 y 2 hace parte de la tubería de descarga de la bomba 1 y la succión de la bomba 2, posee el elemento de medición M1 como se observa en la figura 2.4, encargado de medir la presión de salida de la bomba 1 hacia la 2 en el sistema en serie.

Figura 81

Sección DB1 (Anexo B)



Fuente: Autor

B.5 Sección SB2

Esta sección nos permite la conexión unitaria de la bomba 2 con la sección S1 (véase figura 2.4), para la realización de pruebas de la curva característica de esta sola bomba o para la conexión en paralelo con la bomba 3.

Figura 82

Sección SB2 (Anexo B)



Fuente: Autor

B.6 Sección SB3

Va conectada a la sección S2 la cual permite la unión del tanque y la bomba 3 (véase figura 2.5), la cual se convierte en la tubería de succión de la bomba 3.

Figura 83

Sección SB3 (Anexo B)

Fuente: Autor

B.7 Sección D1

Es la sección más larga del sistema y a su vez es la primera tubería de descarga de las bombas 1, 2 y 3, en esta sección se encuentran las válvulas 3, 4, 5 y válvula final, como se observa en la figura 2.7, al igual que los elementos de medición M2 que mide la presión de salida de la bomba 2 y presión de salida del sistema en serie, M3 que mide la presión de salida de la bomba 3 y MT que es el manómetro total del sistema.

Figura 84*Sección D1 (Anexo B)*

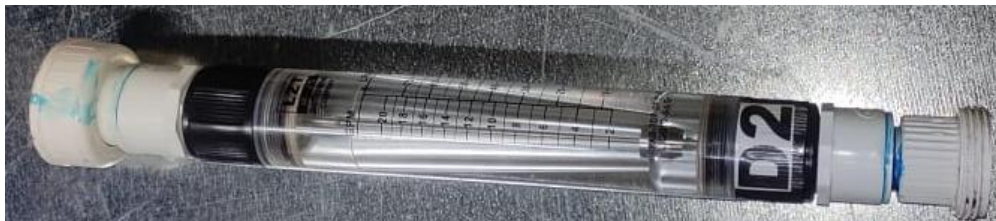
Fuente: Autor

B.8 Sección D2

En esta sección se encuentra localizado el caudalímetro o rotámetro total del sistema, como se observa en la figura 2.8, que nos permite conocer el flujo de agua por unidad de tiempo que circula por la tubería.

Figura 85

Sección D2 (Anexo B)



Fuente: Autor

B.9 Sección D3

Es aquella sección final del sistema localizada después de la sección D2 y a la entrada del depósito de agua, como se observa en la figura 2.9.

Figura 86

Sección D3 (Anexo B)



Fuente: Autor

B.10 Sección D1B1

Esta sección va conectada desde la bomba 1 hasta la tubería de descarga D1, hace parte de la tubería de descarga de la bomba 1, se encuentra el elemento de medición M4, como se observa en la figura 2. el cual mide la presión de salida de la bomba 1.

Figura 87

Sección D1B1 (Anexo B)



Fuente: Autor

B.11 Mando principal (panel de control)

Ubicado en la parte superior derecha del tanque, permite el funcionamiento de cada una de las bombas en donde posee un interruptor con luz indicativa de encendido (figura 88), una perilla para variar el voltaje de cada bomba y un indicador de voltaje que permite observar la tensión eléctrica que le está ingresando a cada bomba, al igual que en un costado se encuentra el cableado que permite energizar el sistema a 110 V.

Figura 88

Panel de control (Anexo B)



Fuente: Autor

Anexo C. Manual de funcionamiento del banco didáctico

Para un funcionamiento correcto del banco de pruebas se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones

C.1 Puesta en marcha para pruebas correspondientes

1. Antes de encender el banco de pruebas verificar que el eje principal de las bombas periféricas gire libremente, esto se verifica con ayuda de un destornillador de pala ingresándolo por la parte posterior de la bomba. (cada bomba tiene indicado este procedimiento en la parte superior de la misma). Si el eje del motor no gira libremente se debe realizar una limpieza al rodete y a la carcasa ya que puede haber corrosión dentro de la misma, imposibilitando el movimiento.
2. Conectar las secciones de tubería a las bombas respecto al tipo de prueba a realizar (En el siguiente ítem se indica como deben ir conectados las secciones para cada tipo de prueba).
3. Iniciar el llenado del tanque, como volumen mínimo se deben aplicar 12 Litros de agua al tanque para que no haya una posible falla en el sistema, pero es recomendable utilizar un buen

nivel de agua para evitar posibles percances al momento de poner en marcha el sistema y a la vez evitar cavitación en el sistema.

4. Abrir las válvulas principales 1 y 2 para realizar un cebado de las bombas, la succión de las bombas es positiva por esta razón al momento de permitir el flujo de agua por la tubería se realiza un autocebado pero se puede verificar con ayuda de un destornillador de pala soltando el tapón ubicado en la parte superior justamente al lado de la tubería de descarga de la bomba, comprobando que al momento de soltarlo salga agua por este conducto de esta manera se determina que la bomba está cargada y se puede iniciar con el funcionamiento.

5. Verificar el estado de los instrumentos y parte eléctrica que estén en buen estado para poner en marcha el banco de pruebas

6. Conectar el banco de pruebas al tomacorriente de 110 V

7. Se recomienda cuando se pongan en marcha dos o más bombas, encenderlas al mismo tiempo para que haya un mejor comportamiento en el sistema, se recomienda esperar un minuto mientras el sistema se purga correctamente y así poder realizar las pruebas correctamente.

C.2 funcionamiento bomba 1

1. Utilizar las secciones de tubería (S1, SB1, D1B1, D1, D2, D3)2.
2. Conectar la sección de tubería SB1 a la tubería S1 y a la tubería de succión de la bomba 1.
3. Conectar la sección de tubería D1B1 a la salida de la bomba 1 y a Universal ubicada en la tubería inclinada de la Sección D1.
4. Conectar la sección D1 a la sección D2 y así mismo a la sección D3 para cerrar el sistema

5. Las válvulas 1, 5, VT permanecen abiertas
6. Las válvulas 2,3,4 deben permanecer cerradas
7. Realice el llenado del tanque y el autocebado como se mencionó en el ítem 3.1
8. Encienda la bomba 1 desde el panel de control y varíe la presión del sistema cerrando poco a poco la válvula VT.
9. Tomar los datos obtenidos (Caudal y presiones de entrada y salida de la bomba) respecto al numeral 8.
10. Apague la bomba 1 y cierre las válvulas para imposibilitar el paso de agua en las tuberías, de esta manera se pueden desconectar e intercambiar las tuberías para otras pruebas.

C.3 funcionamiento bomba 2

1. Utilizar las secciones de tubería (S1, SB2, D1, D2, D3)
2. Conectar la sección de tubería SB2 a la tubería S1 y a la tubería de succión de la bomba 2.
3. Conectar la sección donde se encuentra ubicado el manómetro 2 de la tubería D1 a la salida de la bomba 2.
4. Conectar la sección D1 a la sección D2 y así mismo a la sección D3 para cerrar el sistema.
5. Las válvulas 1, 4, VT permanecen abiertas.
6. Las válvulas 2,3,5 deben permanecer cerradas.
7. Realice el llenado del tanque y el autocebado como se mencionó en el ítem 3.1.
8. Encienda la bomba 2 desde el panel de control y varíe la presión del sistema cerrando

poco a poco la válvula VT.

9. Tomar los datos obtenidos (Caudal y presiones de entrada y salida de la bomba) respecto al numeral 8.
10. Apague la bomba 2 y cierre las válvulas para imposibilitar el paso de agua en las tuberías, de esta manera se pueden desconectar e intercambiar las tuberías para otras pruebas.

C.4 funcionamiento bomba 3

1. Utilizar las secciones de tubería (S2, SB3, D1, D2, D3)
2. Conectar la sección de tubería SB3 a la tubería S2 y a la tubería de succión de la bomba 3.
3. Conectar la sección donde se encuentra ubicado el manómetro 3 de la tubería D1 a la salida de la bomba 3
4. Conectar la sección D1 a la sección D2 y así mismo a la sección D3 para cerrar el sistema
5. Las válvulas 2, 3, VT permanecen abiertas
6. Las válvulas 1,4,5 deben permanecer cerradas
7. Realice el llenado del tanque y el autocebado como se mencionó en el ítem 3.1
8. Encienda la bomba 3 desde el panel de control y varíe la presión del sistema cerrando poco a poco la válvula VT.
9. Tomar los datos obtenidos (Caudal y presiones de entrada y salida de la bomba) respecto al numeral 8.
10. Apague la bomba 3 y cierre las válvulas para imposibilitar el paso de agua en las tuberías, de esta manera se pueden desconectar e intercambiar las tuberías para otras pruebas.

C.5 funcionamiento Serie B1- B 2

1. Utilizar las secciones de tubería (S1, SB1, DB1, D1, D2, D3)
2. Conectar la sección de tubería SB1 a la tubería S1 y a la tubería de succión de la bomba 1.
 - 1.
3. Conectar la sección DB1 a la salida de la bomba 1 y a la succión de la bomba 2.
4. Conectar la sección donde se encuentra ubicado el manometro 2 de la tubería D1 a la salida de la bomba 2
5. Conectar la sección D1 a la sección D2 y así mismo a la sección D3 para cerrar el sistema
6. Las válvulas 1, 4, VT permanecen abiertas
7. Las válvulas 2,3,5 deben permanecer cerradas
8. Realice el llenado del tanque y el autocebado como se mencionó en el ítem 3.1
9. Encienda la bomba 1 y 2 al mismo tiempo, desde el panel de control y varíe la presión del sistema cerrando poco a poco la válvula VT.
10. Tomar los datos obtenidos (Caudal y presiones de entrada y salida de cada bomba) respecto al numeral 8.
11. Apague las bombas 1 y 2, cierre las válvulas para imposibilitar el paso de agua en las tuberías, de esta manera se pueden desconectar e intercambiar las tuberías para otras pruebas.

C.6 funcionamiento paralelo B2- B3

1. Utilizar las secciones de tubería (S1, S2, SB2, SB3, D1, D2, D3).

2. Conectar la sección de tubería SB2 a la tubería S1 y a la tubería de succión de la bomba 2.
3. Conectar la sección de tubería SB3 a la tubería S2 y a la tubería de succión de la bomba 3.
4. Conectar la sección D1 a la salida de la bomba 2 y a la salida de la bomba 3.
5. Conectar la sección D1 a la sección D2 y así mismo a la sección D3 para cerrar el sistema.
6. Las válvulas 1, 2, 3 ,4, VT permanecen abiertas.
7. Las válvulas 5 debe permanecer cerradas.
8. Realice el llenado del tanque y el autocebado como se mencionó en el ítem 3.1
9. Encienda las bombas 2 y 3 al mismo tiempo, desde el panel de control y varíe la presión del sistema cerrando poco a poco la válvula VT.
10. Tomar los datos obtenidos (Caudal y presiones de entrada y en el manómetro final del sistema) respecto al numeral 8.
11. Apague la bomba 2 y 3, cierre la válvulas para imposibilitar el paso de agua en las tuberías, de esta manera se pueden desconectar e intercambiar las tuberías para otras pruebas.

C.7 funcionamiento Mixto B1- B2- B3

1. Utilizar las secciones de tubería (S1, S2, SB1, DB1, SB3, D1, D2, D3)
2. Conectar la sección de tubería SB1 a la tubería S1 y a la tubería de succión de la bomba 1.
3. Conectar la sección DB1 a la salida de la bomba 1 y a la succión de la bomba 2.

4. Conectar la sección de tubería SB3 a la tubería S2 y a la tubería de succión de la bomba 3.
5. Conectar la sección D1 a la salida de la bomba 2 y a la salida de la bomba
6. Conectar la sección D1 a la sección D2 y así mismo a la sección D3 para cerrar el sistema.
7. Las válvulas 1, 2, 3 ,4, VT permanecen abiertas.
8. Las válvulas 5 debe permanecer cerrada.
9. Realice el llenado del tanque y el autocebado como se mencionó en el ítem 3.1.
10. Encienda las bombas 1, 2 y 3 al mismo tiempo, desde el panel de control y varíe la presión del sistema cerrando poco a poco la válvula VT.
11. Tomar los datos obtenidos (Caudal y presiones de entrada y salida de cada bomba y en el manómetro final del sistema) respecto al numeral 8.
12. Apague la bomba 1, 2 y 3, cierre las válvulas para imposibilitar el paso de agua en las tuberías, de esta manera se pueden desconectar e intercambiar las tuberías para otras pruebas.

C.8 funcionamiento paralelo B1- B3

1. Utilizar las secciones de tubería (S1, S2, SB1, SB3, D1B1, D1, D2, D3).
2. Conectar la sección de tubería SB1 a la tubería S1 y a la tubería de succión de la bomba 1.
3. Conectar la sección de tubería SB3 a la tubería S2 y a la tubería de succión de la bomba 3.
4. Conectar la sección D1B1 a la salida de la bomba 1 y a la sección D1 en la conexión de la válvula 5.

5. Conectar la sección D1 a la salida de la bomba 2 y a la salida de la bomba 3.
6. Conectar la sección D1 a la sección D2 y así mismo a la sección D3 para cerrar el sistema.
7. Las válvulas 1, 2, 3 ,5, VT permanecen abiertas.
8. La válvula 4 debe permanecer cerrada.
9. Realice el llenado del tanque y el autocebado como se mencionó en el ítem 3.1
10. Encienda las bombas 1 y 3 al mismo tiempo, desde el panel de control y varíe la presión del sistema cerrando poco a poco la válvula VT.
11. Tomar los datos obtenidos (Caudal y presiones de entrada y en el manómetro final del sistema respecto al numeral 8.
12. Apague la bomba 1 y 3, cierre la válvulas para imposibilitar el paso de agua en las tuberías, de esta manera se pueden desconectar e intercambiar las tuberías para otras pruebas.

Anexo D. Guía de laboratorio

**GUÍA DE LABORATORIO PARA LA OBTENCIÓN DE CURVAS
CARACTERÍSTICAS DE BOMBAS PERIFÉRICAS CONECTADAS EN SERIE,
PARALELO Y MIXTO.**

Resumen: Esta guía de laboratorio indica el procedimiento y tablas que se requieren para calcular de manera correcta las curvas características de cada bomba y de las conexiones de estas en serie, paralelo y mixto de manera experimental, implicando las pérdidas que se generan en el sistema. Para implementar esta práctica se requiere el conocimiento de las ecuaciones y la forma correcta de aplicarlas para cada situación, al igual que en la guía se facilitan los factores de conversión necesarios para la toma de datos.

Introducción**Formulas requeridas para la practica**

Para la realización correcta de esta práctica se requiere tener claro las ecuaciones a utilizar para hallar los factores necesarios implicados en cada tabla, a continuación, un resumen de cada una de ellas, para un mejor manejo se hace uso del sistema internacional de unidades.

$$V = \frac{Q}{A} \quad (1) \text{ Velocidad del sistema}$$

$$A = \pi \frac{D^2}{4} \quad (2) \text{ Área de la tubería}$$

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_L - h_R = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad (3) \text{ Ecuación de la energía}$$

$$h_L = h_p + h_s \quad (4) \text{ Perdida de carga total}$$

$$h_p = f \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} \quad (5) \text{ Perdidas primarias}$$

$$h_s = K \frac{V^2}{2g} \quad (6) \quad \text{Perdidas secundarias}$$

$$h_A = \frac{V^2}{2g} + Z_2 + h_L \quad (7) \quad \text{Altura útil de la bomba}$$

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad \begin{array}{l} \text{Laminar } Re \leq 2000 \\ \text{turbulento } \geq 4000 \end{array} \quad (8) \quad \text{Numero de Reynolds}$$

$$f = \frac{64}{Re} \quad (9) \quad \text{Flujo laminar}$$

$$f = \frac{0,25}{\left[\text{Log} \left(\frac{1}{3,7 \frac{D}{\epsilon}} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (10) \quad \text{Factor de fricción flujo turbulento}$$

$$P_h = \gamma QH \quad (11) \quad \text{Potencia hidráulica}$$

$$\eta = \frac{P_h}{P_e} \quad (12) \quad \text{eficiencia del sistema}$$

Factores de conversión

1 psi	6894,76 Pa
1 L/min	1.6667X10-5 m3/s
1 m	100 cm

Objetivos

Objetivo General

Generar un impacto en el proceso de aprendizaje de los estudiantes de la Universidad Antonio Nariño sede Tunja complementado el aprendizaje teórico por medio de la práctica de laboratorio a través del banco didáctico para pruebas de conexión en serie, paralelo y mixto, para afianzar el conocimiento adquirido en materias como mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas.

Objetivos específicos

- Identificar los conceptos fundamentales requeridos para hallar experimentalmente el comportamiento de las bombas periféricas de forma individual y en conexiones serie, paralelo y mixto, plasmados en las curvas características tales como H vs Q, Ph vs Q, ef vs Q.
- Conocer y operar de forma correcta los elementos implicados en el banco de pruebas tales como instrumentos de medición y bombas periféricas.

Elementos que componen el banco de pruebas

Cada parte del banco de pruebas se encuentra delimitada por abreviaturas, en la siguiente tabla se identifica los elementos que lo componen.

Abreviatura	Elemento
B1	Bomba 1 (1/2 HP)
B2	Bomba 2 (1/2 HP)
B3	Bomba 3 (1/2 HP)
Tanque	Depósito de agua
S1	Tubería salida tanque para bombas 1-2
SB1	Tubería succión bomba 1
S2	Tubería salida tanque bomba 3
SB2	Tubería succión bomba 2
SB3	Tubería succión bomba 3
DB1	Tubería descarga-succión bombas 1-2
D1B1	Tubería descarga bomba 1 con la sección D1
D1	Tubería descarga total bombas 1-2-3
D2	Caudalímetro
D3	Tubería final del sistema
V1	Válvula entrada bombas 1-2
V2	Válvula entrada bomba 3
V3	Válvula salida bomba 3

V4	Válvula salida bomba 2
V5	Válvula salida bomba 1
VT	Válvula final del sistema
VC1	Vacuómetro entrada bombas 1-2
VC2	Vacuómetro entrada bomba 3
M1	Manómetro salida bomba 1 entrada bomba 2
M2	Manómetro salida bomba 2, sistema en serie
M3	Manómetro salida bomba 3
MT	Manómetro total del sistema
I1	Interruptor bomba 1
I2	Interruptor bomba 2
I3	Interruptor bomba 3
VB1	Medidor de voltaje bomba 1
VB2	Medidor de voltaje bomba 2
VB3	Medidor de voltaje bomba 3
VV1	Variador de voltaje bomba 1
VV2	Variador de voltaje bomba 2
VV3	Variador de voltaje bomba 3

Procedimiento para 1 sola bomba

En base al manual de funcionamiento realice el procedimiento requerido para las conexiones de tuberías e introduzca los datos iniciales en la siguiente para 1 sola bomba

Tabla L1

Datos iniciales bomba (_____)

Bomba individual (_____)					
Dato	Q(L/min)	Q (m3/s)	Pe1	Ps1 (psi)	V
1					
2					

3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

A partir de los datos obtenidos se realiza el cálculo de las pérdidas primarias y secundarias para las tuberías de succión y descarga.

Para realizar los cálculos se debe tener en cuenta diferentes propiedades en base a la tabla L2, “la tubería de succión y descarga tiene el diámetro”

Tabla L2

Propiedades requeridas para los cálculos

Diámetro interno de la tubería (m)	
Área tubería (m ²)	
Viscosidad cinemática del agua a (___) °C (m ² /s)	
Gravedad (m/s ²)	
Rugosidad relativa tubería ε (m)	
Peso específico del agua a (___) °C (N/m ³)	
Potencia (HP)	
Potencia (Watts)	

Tabla L3*Perdidas primarias en la succión bomba (_____)*

Perdidas primarias succión Bomba (_____)						
Dato	Longitud (m)	Q (m ³ /s)	velocidad (m/s)	Numero de Reynolds (Re)	Factor de fricción (f)	Perdida Primaria succión (h _{ps}) (m)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Tabla L4*Perdidas primarias en la descarga bomba (_____)*

Perdidas primarias descarga Bomba (_____)						
Dato	Longitud (m)	Q (m ³ /s)	velocidad (m/s)	Numero de Reynolds (Re)	Factor de fricción (f)	Perdida Primaria descarga (h _{pd}) (m)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						

10						
----	--	--	--	--	--	--

Se realiza el cálculo de las perdidas secundarias en la tubería de succión y descarga

Tabla L5

Coefficiente de resistencia Succión Bomba (_____)

Coefficiente de resistencia Succión Bomba (_____)			
Accesorio	unidades	K	Total
Total			

Tabla L6

Perdidas secundarias succión bomba (_____)

Perdidas secundarias succión Bomba (_____)			
Datos	Velocidad (m/s)	coeficiente de resistencia K	Perdida secundaria (hs S) (m)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			

10			
----	--	--	--

Tabla L7

Coefficiente de resistencia Descarga Bomba (_____)

Coefficiente de resistencia descarga Bomba (_____)			
Accesorio	unidades	K	Total
Total			

Tabla L8

Perdidas secundarias descarga bomba (_____)

Perdidas secundarias Descarga Bomba (_____)			
Datos	Velocidad (m/s)	coeficiente de resistencia K	Perdida secundaria h_{s_s} (m)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Al tener las pérdidas que genera el sistema se procede a calcular la altura útil para la conexión a evaluar.

Nota:

- el ítem (h real bomba) es un valor teórico que se obtiene a partir de la curva característica de la bomba en donde comparamos Altura vs Caudal, al estar en funcionamiento la bomba genera una ganancia la cual es determinada por la altura que ofrece en la gráfica en comparación al Caudal obtenido experimentalmente, de esta manera al tener un caudal de 20 L/min experimentalmente obtendremos una h (real bomba) de 5 m el cual es valor por anotar en la tabla L9.

-El ítem Z2-Z1 es la altura que se tiene respecto a los puntos de referencia 1 y 2 que para este caso es a nivel del agua en el tanque (punto 1) y para el punto 2 es en la tubería de retorno ubicada en el tanque.

Tabla L9

Altura útil que ofrece el sistema.

h (real bomba)	$V^2/2g$	Z2-Z1 (m)	hl_s (m)	hl_d (m)	Hb B (___) (m)

En base al análisis anterior se procede a calcular la potencia y la eficiencia para cada bomba.

Tabla L10*Potencia y eficiencia para la bomba (_____)*

Curva característica bomba (_____)				
Datos	Q (L/min)	Hb B1 (m)	Ph (Watts)	ef (%)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Procedimiento para conexiones entre bombas

Para la toma de los datos para cada sistema se hace uso de la tabla L11 y a continuación se anexan los datos en las tablas L (2 a 10). Cabe resaltar que para cada sistema se debe tener en cuenta los tipos de secciones a escoger y el procedimiento correcto a realizar para llevar a cabo cada prueba, esto con ayuda del manual de uso proporcionado.

Tabla L11

Datos iniciales sistema (_____) ej. [serie, paralelo o mixto]

Sistema (_____)							
Datos	Q(L/min)	Q(m ³ /s)	Pe1 - Pe3 (psi)	Ps1-Pe2 (psi)	Ps2 (psi)	Ps3 (psi)	PT (psi)
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

9. Referencias Bibliográficas

Amores-Silva, I., Chávez-Estrada, M., & Miranda-Ramos, M. (2018). Diseño, implementación y control para un banco de pruebas con bombas centrífugas en conexión y paralelo.

Científica, 22(1), 51-59.

Bombas Centrífugas Funcionamiento—Bombas Intercal. (s. f.). *Bombas Intercal - Bombas centrífugas*. Recuperado 30 de abril de 2023, de <https://bombas-intercal.com/bombas-centrifugas/bombas-centrifugas-funcionamiento/>

Bombas centrífugas y su uso en instalaciones hidráulicas. (2022, septiembre 27).

<https://www.seguas.com/bombas-centrifugas-instalaciones-hidraulicas/>

Bombas Periféricas o Tipo Turbina. (s. f.). Recuperado 30 de abril de 2023, de

http://www.portalelectromecanico.org/CURSOS/BombasHidraulicas/bombas_perifricas_o_tipo_turbina.html

Carolayn_Tesis_bachiller_2016.pdf. (s. f.). Recuperado 15 de octubre de 2023, de

https://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12557/695/Carolayn_Tesis_bachiller_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Casagua, E. M., & Ortiz, F. P. (s. f.). *Diseño de un banco de prueba para bombas centrífugas hidráulicas conectadas en*.

Claudio Mataix. (1982). MECÁNICA DE FLUIDOS Y MAQUINAS HIDRÁULICAS,

CLAUDIO MATAIX, SEGUNDA EDICIÓN. *MECÁNICA DE FLUIDOS Y MAQUINAS HIDRÁULICAS, SEGUNDA EDICIÓN*.

https://www.academia.edu/43191075/MEC%C3%81NICA_DE_FLUIDOS_Y_MAQUINAS_HIDR%C3%81ULICAS_CLAUDIO_MATAIX_SEGUNDA_EDICI%C3%93N

CORREA HAZ, A. (2016). *PROYECTO DE BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS*. <https://core.ac.uk/download/pdf/75988281.pdf>

Cubillos Rodríguez, C. G., & Sandoval Galeano, C. F. (2021). *Diseño de banco para pruebas de bombas centrífugas para la empresa Servicio Eléctrico Agroindustrial LTDA*. [bachelorThesis, Fundación Universidad de América].
<https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/8604>

Diferencias entre bombas periféricas y centrífugas / Editores. (s. f.). Recuperado 30 de abril de 2023, de https://www.editores-srl.com.ar/empresa/dafa/20221219_diferencias_entre_bombas_perifericas_y_centrifugas

Edison Alejandro Ramírez Pozo. (s. f.). *ESTUDIO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS Y SU FACTIBILIDAD DE APLICACIÓN EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA CON LA FINALIDAD DE OBTENER PARÁMETROS TÉCNICOS CON VARIACIÓN DE CAUDAL*.

Ferretrónica—Suministro de Componentes Electrónicos. (s. f.). Ferretrónica. Recuperado 26 de septiembre de 2023, de <https://ferretronica.com/>

Ficha tecnica BOAPI/2P3.pdf. (s. f.). Recuperado 4 de mayo de 2023, de https://www.truper.com/ficha_tecnica/views/ficha-print.php?id=252476

García Hernández, H. A., & Suárez Rincón, J. A. (2013). *Diseño, construcción y puesta a prueba de un Banco de Bombas centrífugas en serie, paralelo y mixto*.
<https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/1094>

I. Martín, R. S., & R. Font. (s. f.). *MECÁNICA DE FLUIDOS Tema2. Impulsión de fluidos*.

Interpretación básica de La Curva Característica de Bomba Centrifuga. – Fesmex. (s. f.).

Recuperado 2 de mayo de 2023, de <https://www.fesmex.com.mx/article/interpretacion-basica-de-la-curva-caracteristica-de-bomba-centrifuga/>

Luna Gómez, M. J. (2020). *Implementación de un módulo experimental para evaluar el comportamiento de fluidos en un banco de bombas en serie y paralelo.*

https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/5352/Miguel_Tesis_Licenciatura_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Marbello Pérez, R. V. (2007). *Bombas hidráulicas rotodinámicas: Teoría y aplicaciones.*

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/21179>

Presión atmosférica: Qué es, cómo se mide y variaciones con la altura. (2022, febrero 24).

Eltiempo.es. <https://www.eltiempo.es/noticias/meteopedia/presion-atmosferica>

¿Qué significa cebar una bomba? (2021, noviembre 1). *Bombas y Montajes.*

<https://bombasymontajes.com/que-significa-cebar-una-bomba/>

Robert Mott. (s. f.). *Mecánica de fluidos robert mott 6ta edicion.* Recuperado 28 de abril de 2023, de

https://www.academia.edu/38230560/Mecanica_de_fluidos_robert_mott_6ta_edicion

Tubos y accesorios CELTA, L. (s. f.). *COLOMBIA ICONTEC CALIDAD CERTIFICADA NTC.*

Yunus Cengel, J. C. (s. f.). *Mecánica de Fluidos Fundamentos y Aplicaciones Primera Edicion.*

Recuperado 30 de abril de 2023, de

https://www.academia.edu/25669790/Mecanica_de_Fluidos_Fundamentos_y_Aplicaciones_Yunus_Cengel_y_John_Cimbala_Primer_Edicion