

DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA DETERMINACIÓN+ DE LAS
PÉRDIDAS DE CARGA CON VARIACIÓN DE TEMPERATURA EN AGUA

ALEJANDRO CAMARGO GARCÍA
CAMILO ANDRÉS ESCOBAR CARDENAS

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C
2019

DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS
PÉRDIDAS DE CARGA CON VARIACIÓN DE TEMPERATURA EN AGUA

ALEJANDRO CAMARGO GARCÍA
CAMILO ANDRÉS ESCOBAR CARDENAS

Proyecto integral de grado para optar al título de:
INGENIERO MECÁNICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE MECÁNICA
BOGOTÁ D.C
2019

Nota de aceptación

Firma del jurado

Firma del Jurado

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. LUÍS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Decano General Facultad de Ingenierías

Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director de Ingeniería Mecánica

Ing. CARLOS MAURICIO VELOZA VILLAMIL

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

Agradezco primero que todo a Dios, a mi familia y a mi compañero y amigo Camilo, así como a todas las personas que han colaborado para poder llegar a alcanzar todo esto.

ALEJANDRO CAMARGO GARCÍA

A Dios y a mi familia por todo su apoyo incondicional.

CAMILO ANDRÉS ESCOBAR CARDENAS

AGRADECIMIENTOS

Aprovechamos este espacio para agradecer a todas las personas que de una u otra manera nos permitieron llegar hasta este punto de nuestro desarrollo profesional, a los miembros del comité de ingeniería mecánica quienes nos guiaron para que nuestro trabajo de grado tuviera los resultados esperados y al Doctor Veloza quien en todo momento estaba gustoso de colaborarnos con cualquier cosa que estuviera a su alcance.

Agradecemos a la universidad por todos estos años de inmenso aprendizaje, a cada uno de los docentes que tuvimos el placer de conocer y a nuestros compañeros de la carrera de ingeniería mecánica.

Finalmente, le agradecemos a la empresa Calibration Service S.A.S. por todo el apoyo brindado a nosotros para haber podido llevar este proyecto a una calidad superior a la esperada, especialmente al gerente de la empresa al Ingeniero Alejandro Robles.

CONTENIDO

| | pág. |
|--|------|
| INTRODUCCIÓN | 25 |
| OBJETIVOS | 26 |
| 1. ESTADO DEL ARTE ACERCA DE LOS BANCOS DE PRUEBAS PARA PÉRDIDAS DE CARGA | 27 |
| 1.1.HISTORIA BANCOS DE PRUEBAS PARA PÉRDIDAS DE CARGA | 27 |
| 1.2.ESTADO ACTUAL DE LOS BANCOS DE PRUEBA PARA PÉRDIDAS DE CARGA A NIVEL MUNDIAL | 29 |
| 1.3.ESTADO ACTUAL DE LOS BANCOS DE PRUEBA PARA PERDIDAS DE CARGA EN COLOMBIA | 32 |
| 1.4.DESARROLLOS ESTUDIANTILES DE BANCOS DE PRUEBAS PARA LAS PERDIDAS DE CARGA | 33 |
| 2. DISEÑO CONCEPTUAL PARA EL BANCO DE PRUEBAS PARA PÉRDIDAS DE CARGA Y EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN | 37 |
| 2.1 MODELO MATEMÁTICO PARA REALIZAR LOS CÁLCULOS DEL SISTEMA HIDRÁULICO Y DEL DE POTENCIA | 37 |
| 2.1.1 Longitud de entrada y flujo totalmente desarrollado | 38 |
| 2.1.2 Cálculo de las Pérdidas de Carga | 38 |
| 2.1.2.1 La ecuación de Darcy-Weisbach | 39 |
| 2.1.2.2 Factor de Fricción | 39 |
| 2.1.2.3 Pérdidas Menores | 40 |
| 2.1.2.4 Pérdidas de Carga Totales | 42 |
| 2.1.2.5 Cálculo del caudal a través de la caída de presión | 42 |
| 2.1.2.6 Restricciones y aplicación de la ecuación de Bernoulli | 43 |
| 2.1.2.7 Sistemas de Tuberías | 43 |
| 2.1.2.8 Cálculo de la Bomba | 45 |
| 2.2 PARÁMETROS Y REQUERIMIENTOS FUNCIONALES EL BANCO DE PRUEBAS DE PÉRDIDAS DE CARGA QUE SE DISEÑARÁ | 45 |
| 2.2.1 Parámetros | 45 |
| 2.2.1.1 Espacio disponible para la ubicación del banco | 45 |
| 2.2.1.2 Orden del proceso | 46 |
| 2.2.2 Requerimientos funcionales | 46 |
| 2.2.1.3 Sistema Hidráulico | 47 |
| 2.2.1.4 Sistema Potencia | 47 |
| 2.2.1.5 Sistema de Control | 48 |
| 2.2.1.6 Sistema de Medición | 48 |
| 2.2.1.7 Sistema Estructural | 48 |
| 2.3 CAJA NEGRA DE FUNCIONES DEL BANCO DE PRUEBAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA | 49 |

| | |
|---|----|
| 2.4 ESQUEMA REPRESENTATIVO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA | 49 |
| 2.5 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN | 50 |
| 2.5.1 Método para suministrarle energía al fluido | 51 |
| 2.5.1.1 Tanque Elevado | 51 |
| 2.5.1.2 Bombas para fluidos | 53 |
| 2.5.1.3 Alimentación Directa | 54 |
| 2.5.2 Elementos para medir la presión | 55 |
| 2.5.2.1 Manómetro diferencial | 55 |
| 2.5.2.2 Transductor de presión amplificado con alta linealidad | 56 |
| 2.5.2.3 Manómetros digitales | 57 |
| 2.5.3 Elemento para calentar el agua y medir la temperatura del fluido | 58 |
| 2.5.3.1 Paneles solares | 59 |
| 2.5.3.2 Resistencias para inmersión | 60 |
| 2.5.3.3 Calentador de agua a gas | 61 |
| 2.5.4 Elementos para realizar el acople de la tubería modular | 62 |
| 2.5.4.1 Acople con tubería roscada | 62 |
| 2.5.4.2 Acople Rápido “Racor” | 63 |
| 2.5.4.3 Bridas | 64 |
| 2.5.5 Tanque para almacenar el fluido del banco | 65 |
| 2.5.5.1 Tanque de almacenamiento cerrado | 66 |
| 2.5.5.2 Tanque de almacenamiento abierto | 66 |
| 2.5.6 Tipo de válvulas en cada una de las diferentes aberturas del tanque | 67 |
| 2.5.6.1 Válvula de compuerta | 68 |
| 2.5.6.2 Válvula de bola | 70 |
| 2.5.7 Diámetro del circuito de la tubería | 71 |
| 2.5.8 Estructura a utilizar para soportar el banco para pérdidas de carga | 71 |
| 2.5.8.1 Estructura Vertical | 71 |
| 2.5.8.2 Estructura Horizontal | 72 |
| 2.5.9 Materiales de tuberías que puedan resistir la variación de temperatura | 72 |
| 2.5.9.1 Tubería de cobre | 73 |
| 2.5.9.2 Tubería CPVC | 73 |
| 2.5.9.3 Tubería galvanizada | 74 |
| 2.5.10 Sistema para el control de nivel para el tanque | 75 |
| 2.5.10.1 Medidor de nivel de flotador | 75 |
| 2.5.10.2 Medidor de nivel manométrico | 76 |
| 2.5.10.3 Medidor de nivel ultrasónico | 77 |
| 2.6 SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA DEL BANCO DE PRUEBAS DE PÉRDIDAS DE CARGA | 79 |
| 2.6.1 La Matriz de PUGH para la Toma de Decisiones | 79 |
| 2.6.2 Aplicación de la matriz PUGH para seleccionar la mejor alternativa para cada una de las funciones del banco | 82 |
| 2.6.2.1 Calificación de peso para criterios de selección | 83 |
| 2.6.2.2 Selección del método para suministrar energía al fluido | 83 |
| 2.6.2.3 Selección de los elementos para medir la presión | 84 |

| | |
|--|-----|
| 2.6.2.4 Selección del elemento para calentar el agua y medir la temperatura del fluido | 86 |
| 2.6.2.5 Selección del elemento para realizar el acople de la tubería modular | 87 |
| 2.6.2.6 Selección del tanque para almacenar el fluido | 88 |
| 2.6.2.7 Selección del tipo de válvula en cada una de las diferentes aberturas del tanque | 89 |
| 2.6.2.8 Estructura a utilizar para soportar el banco | 90 |
| 2.6.2.9 Materiales de tuberías que componen el banco exceptuando el módulo | 91 |
| 2.6.2.10 Sistema para el control de nivel del tanque | 92 |
| 2.7. COMPONENTES DE CADA UNO DE LOS SISTEMAS DEL BANCO DE PRUEBAS | 94 |
| 3. DISEÑO DETALLADO DEL BANCO DE PRUEBAS DE PÉRDIDAS DE CARGA | 95 |
| 3.1 DISEÑO DETALLADO DEL SISTEMA HIDRÁULICO Y DE POTENCIA | 95 |
| 3.1.1 Diseño del sistema hidráulico | 95 |
| 3.1.2 Diseño del sistema de potencia | 104 |
| 3.1.3 Selección de los componentes en base a catálogos a los cálculos previos | 105 |
| 3.1.3.1 Tubería seleccionada para el banco | 105 |
| 3.1.3.2 Codos seleccionados para el banco | 106 |
| 3.1.3.3 Tuberías seleccionadas para el módulo | 107 |
| 3.1.3.4 Bomba Centrífuga | 110 |
| 3.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN Y DE CONTROL | 114 |
| 3.2.1 Ubicación de los dispositivos de medición y control | 114 |
| 3.2.2 Requerimientos funcionales y operacionales | 116 |
| 3.2.3 Selección del sistema de medición | 116 |
| 3.2.4 Selección del sistema de medición y control | 118 |
| 3.3 SELECCIÓN DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE TEMPERATURA | 121 |
| 3.4 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL BANCO DE PRUEBAS | 125 |
| 4. MANUAL DE INSTALACIÓN, OPERACIÓN, RECOMENDACIONES DE MANTENIMIENTO Y LA GUÍA DE LABORATORIO PARA LAS PRÁCTICA CON EL BANCO DE PRUEBAS DE PÉRDIDAS DE CARGA | 136 |
| 4.1 MANUAL DE INSTALACIÓN DEL EQUIPO | 136 |
| 4.2 MANUAL DE OPERACIÓN DEL EQUIPO | 143 |
| 4.3 RECOMENDACIONES DE MANTENIMIENTO BÁSICAS PARA EL EQUIPO | 146 |
| 4.4 GUÍA DE LABORATORIO PARA LA PRÁCTICA CON EL BANCO | 150 |
| 5. ESTUDIO DE COSTOS PARA EL BANCO DE PRUEBAS PARA PÉRDIDAS DE CARGA | 157 |
| 5.1 COSTOS DE MATERIAL | 157 |
| 5.2 COSTOS DE FABRICACIÓN | 159 |

| | |
|---------------------------|-----|
| 5.3 COSTOS DE INGENIERÍA | 159 |
| 5.4 COSTOS TOTALES | 159 |
| 6. CONCLUSIONES | 160 |
| 7. RECOMENDACIONES | 161 |
| BIBLIOGRAFÍA | 162 |
| ANEXOS | 167 |

LISTA DE FIGURAS

| | pág. |
|---|-------------|
| Figura 1. Desarrollo de los laboratorios a lo largo de la historia | 28 |
| Figura 2. Banco de pérdidas de carga en tuberías Marca GUNT | 30 |
| Figura 3. Banco de pérdidas de presión en accesorios marca GUNT | 30 |
| Figura 4. Banco de pruebas de tipo industrial | 31 |
| Figura 5. Banco de pruebas de presión para tuberías | 32 |
| Figura 6. Banco de pruebas de tipo académico | 34 |
| Figura 7. Banco de pruebas académico | 35 |
| Figura 8. Banco de pruebas tipo vertical (Académico) | 36 |
| Figura 9. Diagrama de funcionamiento banco de pruebas para determinar las pérdidas de carga | 46 |
| Figura 10. Caja negra de funciones banco de pruebas para determinar las pérdidas de carga | 49 |
| Figura 11. Esquema representativo de alternativa seleccionada global | 50 |
| Figura 12. Esquema representativo de alternativa seleccionada detallado | 50 |
| Figura 13. Tanque Elevado | 52 |
| Figura 14. Bomba hidráulica | 53 |
| Figura 15. Manómetro diferencial | 56 |
| Figura 16. Transductor de presión amplificado con alta linealidad | 57 |
| Figura 17. Manómetro Digital | 58 |
| Figura 18. Componentes de un sistema solar | 59 |
| Figura 19. Resistencia para inmersión | 60 |
| Figura 20. Calentador de agua a gas | 61 |
| Figura 21. Roscado de teflón | 63 |
| Figura 22. Acople rápido | 64 |
| Figura 23. Brida Plástica | 65 |
| Figura 24. Tanque de almacenamiento de agua cerrado | 66 |
| Figura 25. Tanque de almacenamiento de agua abierto | 67 |
| Figura 26. Válvula de compuerta | 68 |
| Figura 27. Válvula Mariposa | 69 |
| Figura 28. Válvula de bola | 70 |
| Figura 29. Tubería de cobre | 73 |
| Figura 30. Tubería CPVC | 74 |
| Figura 31. Tubería Galvanizada | 75 |
| Figura 32. Medidor de nivel de fluido por medio de un flotador | 76 |
| Figura 33. Medidor de nivel ultrasónico | 77 |
| Figura 34. Matriz PUGH con criterios y alternativas de diseño | 80 |
| Figura 35. Ejemplo PUGH comparación de alternativas | 81 |
| Figura 36. Ejemplo PUGH asignando el peso a cada criterio | 82 |
| Figura 37. Ejemplo PUGH suma ponderada y ranking | 82 |
| Figura 38. Tubería CPVC seleccionada para llevar a cabo el banco. | 106 |

| | |
|---|-----|
| Figura 39. Codos a 90° utilizados en el banco | 107 |
| Figura 40. Tubería de cobre utilizada en el banco. | 108 |
| Figura 41. Tubería galvanizada utilizada en el banco. | 109 |
| Figura 42. Tubería de acero inoxidable utilizada en el banco. | 110 |
| Figura 43. Características Bomba Barnes de referencia DE 1 5-1. | 111 |
| Figura 44. Ubicación de la caja de control del sistema de medición y control. | 115 |
| Figura 45. Ubicación de sensor de nivel y sensor de temperatura. | 115 |
| Figura 46. Ubicación de manómetros. | 116 |
| Figura 47. Manómetro diferencial Testo 312-4 | 117 |
| Figura 48. Representación básica del sistema de nivel ultrasónico | 118 |
| Figura 49. Sensor de nivel IP67 | 119 |
| Figura 50. Dimensiones Sensor de nivel IP67 | 120 |
| Figura 51. Controlador Omega CN8Pt | 121 |
| Figura 52. Calefactor seleccionado para aumentar la temperatura del agua | 122 |
| Figura 53. Resistencia eléctrica ED017C Brototermic | 123 |
| Figura 58. Diagrama Representativo de la Viga. | 127 |
| Figura 59. Diagrama de cuerpo libre | 127 |
| Figura 60. Diagrama Fuerza Cortante y Diagrama de Momento Flector | 130 |
| Figura 61. Características perfil cuadrado de estructura. | 132 |
| Figura 62. Perfil de Viga Cuadrado. | 134 |

LISTA DE GRÁFICAS

| | pág. |
|---|-------------|
| Gráfica 1. Carga de presión de vapor para agua a 20°C y 60°C. | 112 |
| Gráfica 2. Curva de eficiencia de bomba Barnes DE 5-1. | 114 |
| Gráfica 3. Variación de potencia contra temperatura | 124 |
| Gráfica 4. Variación de pérdidas de carga contra temperatura | 124 |
| Gráfica 5. Variación de pérdidas de carga contra materiales | 125 |
| Gráfica 6. Variación potencia contra materiales | 125 |

LISTA DE CUADROS

| | pág. |
|---|------|
| Cuadro 1. Valores típicos de K para varios tipos de accesorios | 41 |
| Cuadro 2. Parámetros para la ubicación del banco de prueba | 46 |
| Cuadro 3. Ventajas y desventajas de implementar el tanque elevado | 52 |
| Cuadro 4. Ventajas y desventajas de implementar la bomba hidráulica | 54 |
| Cuadro 5. Ventajas y desventajas de implementar la alimentación directa | 55 |
| Cuadro 6. Ventajas y desventajas de implementar el manómetro diferencial | 56 |
| Cuadro 7. Ventajas y desventajas de implementar el transductor de presión amplificado con alta linealidad | 57 |
| Cuadro 8. Ventajas y desventajas de implementar el manómetro digital | 58 |
| Cuadro 9. Ventajas y desventajas de implementar los paneles solares | 60 |
| Cuadro 10. Ventajas y desventajas de implementar una resistencia por inmersión | 61 |
| Cuadro 11. Ventajas y desventajas de implementar un calentador de agua a gas | 62 |
| Cuadro 12. Ventajas y desventajas de implementar acoples con tubería roscada | 63 |
| Cuadro 13. Ventajas y desventajas de implementar acoples rápidos o racores | 64 |
| Cuadro 14. Ventajas y desventajas de implementar bridas | 65 |
| Cuadro 15. Ventajas y desventajas de implementar un tanque de almacenamiento cerrado | 66 |
| Cuadro 16. Ventajas y desventajas de implementar un tanque de almacenamiento abierto. | 67 |
| Cuadro 17. Ventajas y desventajas de implementar una válvula limitadora de presión | 69 |
| Cuadro 18. Ventajas y desventajas de implementar una válvula de mariposa | 70 |
| Cuadro 19. Ventajas y desventajas de implementar una válvula de bola | 71 |
| Cuadro 20. Ventajas y desventajas de implementar una estructura vertical | 72 |
| Cuadro 21. Ventajas y desventajas de implementar una estructura horizontal | 72 |
| Cuadro 22. Ventajas y desventajas de implementar una tubería de cobre | 73 |
| Cuadro 23. Ventajas y desventajas de implementar una tubería de CPVC | 74 |

| | |
|--|----|
| Cuadro 24. Ventajas y desventajas de implementar una tubería galvanizada. | 75 |
| Cuadro 25. Matriz Morfológica | 78 |
| Cuadro 26. Asignación de valores | 83 |
| Cuadro 27. Método para suministrar energía al fluido información suministrada | 83 |
| Cuadro 28. Método para suministrar energía al fluido resultado obtenido | 84 |
| Cuadro 29. Elementos para medir la presión información suministrada | 85 |
| Cuadro 30. Elemento para medir la presión resultado obtenido | 85 |
| Cuadro 31. Elemento para calentar el agua y medir la temperatura del fluido información suministrada | 86 |
| Cuadro 32. Elemento para calentar el agua y medir la temperatura del fluido resultado obtenido | 86 |
| Cuadro 33. Elemento para realizar el acople de la tubería modular información suministrada | 87 |
| Cuadro 34. Elemento para realizar el acople de la tubería modular resultado obtenido | 87 |
| Cuadro 35. Tanque para almacenar el fluido información suministrada | 88 |
| Cuadro 36. Tanque para almacenar el fluido resultado obtenido | 88 |
| Cuadro 37. Válvulas en cada una de las diferentes aberturas del tanque información suministrada | 89 |
| Cuadro 38. Válvulas en cada una de las diferentes aberturas del tanque resultado obtenido | 89 |
| Cuadro 39. Estructura a utilizar para soportar el banco información suministrada | 90 |
| Cuadro 40. Estructura a utilizar para soportar el banco resultado obtenido | 90 |
| Cuadro 41. Materiales de tuberías que componen el banco exceptuando el módulo información suministrada | 91 |
| Cuadro 42. Materiales de tuberías que componen el banco exceptuando el módulo resultado obtenido. | 91 |
| Cuadro 43. Sistema para el control de nivel del tanque para el banco de pruebas | 92 |
| Cuadro 44. Resultado de selección del sistema de control de nivel del tanque para el banco de pruebas | 92 |
| Cuadro 45. Selección de los diferentes componentes resultado del método PUGH | 93 |
| Cuadro 46. Componentes a utilizar en cada uno de los sistemas del banco | 94 |
| Cuadro 47. Propiedades del agua y caudal | 95 |
| Cuadro 48. Características de las tuberías que conforman el banco | 95 |
| Cuadro 49. Características del módulo | 96 |

| | |
|--|-----|
| Cuadro 50. Válvulas de las que se compone el banco | 96 |
| Cuadro 51. Materiales a utilizar en el módulo | 96 |
| Cuadro 52. Tabla de longitudes de tubería | 96 |
| Cuadro 53. Propiedades del agua a una temperatura de 20°C. | 98 |
| Cuadro 54. Perdidas en el sistema hidráulico. | 103 |
| Cuadro 55. Manómetro diferencial 312-4 | 117 |
| Cuadro 56. Sensor de nivel IP67. | 119 |
| Cuadro 57. Características de la resistencia seleccionada | 123 |
| Cuadro 58. Costos de Elementos del equipo | 157 |
| Cuadro 59. Costos de instrumentación | 158 |
| Cuadro 60. Costos del sistema de distribución de agua. | 158 |
| Cuadro 61. Costos de fabricación. | 159 |
| Cuadro 62. Costos de ingeniería del proyecto. | 159 |
| Cuadro 63. Costos totales del proyecto. | 159 |

LISTA DE ECUACIONES

| | pág. |
|--|-------------|
| Ecuación 1. Número de Reynolds | 37 |
| Ecuación 2. Distancia de entrada para el caso del flujo laminar | 38 |
| Ecuación 3. Distancia de entrada para el caso del flujo turbulento | 38 |
| Ecuación 4. Ecuación de Darcy-Weisbach | 39 |
| Ecuación 5. Factor de fricción derivado de la relación Darcy Weisbach y Hagen-Poiseuille | 39 |
| Ecuación 6. Factor de fricción para el flujo laminar | 40 |
| Ecuación 7. Factor de fricción para el flujo turbulento | 40 |
| Ecuación 8. Correlación de Colebrook | 40 |
| Ecuación 9. Pérdidas de carga por un accesorio | 41 |
| Ecuación 10. Pérdidas de carga totales | 42 |
| Ecuación 11. Ecuación de continuidad | 42 |
| Ecuación 12. Ecuación de energía en flujo sin fricción | 42 |
| Ecuación 13. Ecuación de continuidad para líquidos | 43 |
| Ecuación 14. Velocidad de flujo promedio a la salida de una tubería | 43 |
| Ecuación 15. Tasa de flujo volumétrico | 43 |
| Ecuación 16. Suma total de las pérdidas de carga simplificada | 44 |
| Ecuación 17. Suma total de las pérdidas de carga ecuación completa | 44 |
| Ecuación 18. Suma de caudales en sistema de tuberías en paralelo | 44 |
| Ecuación 19. Caída de presión en un sistema en paralelo | 44 |
| Ecuación 20. Potencia que necesita la bomba | 45 |
| Ecuación 21. Cálculo de la presión manométrica en el tanque | 76 |
| Ecuación 22. Conversión del caudal m^3/h a m^3/s | 97 |
| Ecuación 23. Área interna de la tubería | 97 |
| Ecuación 24. Velocidad del agua en la tubería | 97 |
| Ecuación 25. Factor para el cálculo de las pérdidas | 98 |
| Ecuación 26. Cálculo del número de Reynolds | 98 |
| Ecuación 27. Cálculo de la rugosidad tubería del banco | 98 |
| Ecuación 28. Pérdida calculada generada a la entrada | 99 |
| Ecuación 29. Pérdida de fricción L_1 | 99 |
| Ecuación 30. Pérdida de fricción L_2 | 99 |
| Ecuación 31. Pérdida por el primer codo a 90° | 99 |
| Ecuación 32. Pérdida de fricción L_3 | 100 |
| Ecuación 33. Pérdida de fricción por válvula de globo. | 100 |
| Ecuación 34. Pérdida de fricción L_4 | 100 |
| Ecuación 35. Pérdida por el segundo codo a 90° | 100 |
| Ecuación 36. Pérdida de fricción L_5 | 100 |
| Ecuación 37. Pérdida por fricción válvula de tres vías | 101 |
| Ecuación 38. Pérdida de fricción L_6 | 101 |
| Ecuación 39. Pérdida por medidor de presión entrada. | 101 |

| | |
|--|-----|
| Ecuación 40. Pérdida de fricción L ₇ | 101 |
| Ecuación 41. Pérdida por fricción racor de entrada | 101 |
| Ecuación 42. Pérdida de fricción L ₈ módulo | 102 |
| Ecuación 43. Pérdida por fricción racor de salida | 102 |
| Ecuación 44. Pérdida de fricción L ₉ | 102 |
| Ecuación 45. Pérdida por medidor de presión salida. | 102 |
| Ecuación 46. Pérdida de fricción L ₁₀ | 102 |
| Ecuación 47. Pérdida por el tercer codo a 90° | 103 |
| Ecuación 48. Pérdida de fricción L ₁₁ | 103 |
| Ecuación 49. Pérdidas en el circuito hidráulico totales | 104 |
| Ecuación 50. Ecuación de Bernoulli | 104 |
| Ecuación 51. Ecuación de Bernoulli simplificada | 104 |
| Ecuación 52. Potencia que debe suministrar la bomba | 105 |
| Ecuación 53. Conversión de la potencia de kW a hp | 105 |
| Ecuación 54. Cálculo de la NPSH disponible. | 111 |
| Ecuación 55. Presión absoluta. | 111 |
| Ecuación 56. Presión absoluta para NSPH disponible @20°C | 111 |
| Ecuación 57. Presión absoluta para NSPH disponible @60°C | 112 |
| Ecuación 58. Cálculo de hsp para NPSH @20°C | 112 |
| Ecuación 59. Cálculo de hsp para NPSH @60°C. | 112 |
| Ecuación 60. Cálculo de hvp para NPSH @20°C. | 112 |
| Ecuación 61. Cálculo de hvp para NPSH @60°C | 113 |
| Ecuación 62. Sumatoria NPSH @20°C. | 113 |
| Ecuación 63. Sumatoria NPSH @60°C. | 113 |
| Ecuación 64. Potencia necesaria por la resistencia. | 121 |
| Ecuación 65. Potencia para incrementar la temperatura del fluido | 122 |
| Ecuación 66. Peso que soporta la estructura | 126 |
| Ecuación 67. Peso de la tubería | 126 |
| Ecuación 68. Peso de los manómetros | 126 |
| Ecuación 69. Peso del agua | 126 |
| Ecuación 70. Peso de los codos | 126 |
| Ecuación 71. Peso de los soportes | 126 |
| Ecuación 72. Peso total que soporta la estructura | 126 |
| Ecuación 73. Carga distribuida sobre la viga | 127 |
| Ecuación 74. Reacciones en los apoyos | 128 |
| Ecuación 75. Momento en el Intervalo [0. 0.26]. | 128 |
| Ecuación 76. Momento en 0.266m. | 128 |
| Ecuación 77. Momentos Intervalo [0.26. 2.599] | 128 |
| Ecuación 78. Momento en 0.27m. | 128 |
| Ecuación 79. Momento en 2.50m | 129 |
| Ecuación 80. Momento en Intervalo [2.495. 2.6] | 129 |
| Ecuación 81. Momento en 2.50. | 129 |
| Ecuación 82. Momento 2.6m | 129 |
| Ecuación 83. Momento flector máximo | 129 |
| Ecuación 84. Esfuerzo cortante en intervalo [0. 0.26] | 129 |
| Ecuación 85. Esfuerzo cortante en intervalo 0m. | 129 |

| | |
|--|-----|
| Ecuación 86. Esfuerzo cortante en intervalo 0.26m. | 129 |
| Ecuación 87. Esfuerzo cortante en Intervalo [0.26. 2.495] | 129 |
| Ecuación 88. Esfuerzo cortante en Intervalo 0.26m. | 130 |
| Ecuación 89. Esfuerzo cortante en Intervalo 2.496m. | 130 |
| Ecuación 90. Esfuerzo cortante en Intervalo [2.495. 2.6] | 130 |
| Ecuación 91. Esfuerzo cortante en Intervalo en 2.5m. | 130 |
| Ecuación 92. Esfuerzo cortante en Intervalo en 2.6m. | 130 |
| Ecuación 93. Ecuación de Factor de Seguridad | 131 |
| Ecuación 94. Esfuerzo permisible | 131 |
| Ecuación 95. Ecuación de sección modular. | 131 |
| Ecuación 96. Sección modular requerido. | 131 |
| Ecuación 97. Integral de momento máximo. | 132 |
| Ecuación 98. Integral de deformación máximo. | 132 |
| Ecuación 99. Primera integral de momento máximo. | 132 |
| Ecuación 100. Segunda Integral de deformación máxima. | 132 |
| Ecuación 101. Condiciones de frontera en $X=0$ $V=0$ | 132 |
| Ecuación 102. Condiciones de frontera en $X=2.6$ $V=0$ | 133 |
| Ecuación 103. Sustitución de valores al punto máximo de deformación. | 133 |
| Ecuación 104. Deformación máxima en la viga a 1.0965m. | 133 |
| Ecuación 105. Deformación máxima en la viga. | 133 |
| Ecuación 106. Esfuerzo Cortante. | 134 |
| Ecuación 107. Primer momento con respecto al eje neutro. | 134 |
| Ecuación 108. Primer momento con respecto al eje neutro. | 134 |
| Ecuación 109. Esfuerzo Cortante | 135 |
| Ecuación 110. Esfuerzo Cortante Máximo. | 135 |
| Ecuación 111. Esfuerzo cortante máximo. | 135 |

GLOSARIO

BANCO DE PRUEBAS: equipo usado para simular un fenómeno físico o químico.

BRIDA: es un componente que permite realizar la unión de dos tuberías por medio de uniones que pueden ser roscadas o por medio de tornillos.

MAGNITUD: cantidad medible en un sistema de tipo físico, al que se le pueden asignar valores como resultado de una relación de mediciones o una medición.

MANÓMETRO: elemento utilizado para realizar la medición de presión de un espacio donde se contiene un fluido.

PÉRDIDAS DE CARGA: es la pérdida de presión que se genera en un fluido debido a la fricción de las partículas entre sí y contra las paredes de la tubería que lo conduce.

PRESIÓN: es definida como una fuerza física ejercida sobre en una superficie. Esta fuerza es aplicada de manera perpendicular sobre la superficie de un objeto por unidad de área. Su fórmula básica es $P = \frac{F}{A}$, en Pascal, sus unidades en el sistema internacional.

SISTEMA DE MEDIDA: conjunto de uno o más instrumentos de medida

TRABAJO: es la magnitud física escalar que depende de la trayectoria, es producto de la fuerza que se ejerce sobre un cuerpo por su desplazamiento.

UNIDAD DE MEDIDA: es la cantidad estandarizada de una determinada magnitud física.

VISCOSIDAD: oposición de las partes de un fluido al desplazamiento de este.

ABREVIATURAS

| | |
|--------------|--|
| BPH | Banco para pérdidas hidráulicas |
| N | Newton |
| Pa | Pascal |
| °C | Grado Celsius |
| ONAC | Organismo Nacional de Acreditación de Colombia |
| Re | Número de Reynolds |
| Le | Longitud efectiva |
| hf | Factor de fricción derivado de la relación Darcy Weisbach y Hagen-Poiseuille |
| hm | Valor de las pérdidas menores a través del flujo |
| hp | Energía suministrada por la bomba |
| CAPEX | Gasto de capital |
| OPEX | Gastos operacionales |
| CPVC | Policloruro de Vinilo Clorado |
| PVC | Policloruro de Vinilo |
| PUGH | Matriz de selección PUGH |
| QFD | Despliegue de la función de calidad |
| HP | Caballo de fuerza |
| Psi | Libra fuerza sobre pulgada cuadrada |
| NPSH | Net Positive Suction Head |
| W | Vatio |

RESUMEN

En este documento se encuentra consignado todo el procedimiento para diseñar el banco de pruebas para determinar pérdidas de carga debido a la variación de temperatura, se parte desde una contextualización sobre el origen de este tipo de bancos de pruebas, para posteriormente consultar los avances a nivel internacional y nacional.

El siguiente paso consiste en dividir el banco en cada uno de sus subsistemas, para posteriormente dividirlo en cada una de las funciones que se espera que este sea capaz de realizar para cumplir con el propósito para el que este fue diseñado, luego de realizar esta división para cada una de las distintas funciones se plantean las diferentes alternativas, para finalmente realizar la selección de la mejor alternativa por medio la matriz de PUGH, también en esta sección se establecen los parámetros de diseño iniciales.

Posterior a esto, con los parámetros de diseño iniciales establecidos y los componentes seleccionados, el siguiente paso consiste en realizar los cálculos de cada uno de los distintos subsistemas de los que compone el banco, con estos cálculos ya realizados, el siguiente paso consiste en seleccionar cada uno de los componentes del banco por catálogo.

Con el banco ya diseñado, el siguiente paso consiste en realizar cada uno de los manuales y guías necesarias, estos están acorde a todo lo que se esperaría para un equipo de esta clase.

Finalmente, en el último capítulo de este trabajo se encuentra el capítulo correspondiente al análisis financiero, este puede servir a cualquier institución educativa interesada en construir este banco, como una guía para comparar la parte financiera del proyecto con la parte técnica.

PALABRAS CLAVE

- ✓ Banco de pruebas.
- ✓ Pérdidas de carga.
- ✓ Variación de temperatura.
- ✓ Matriz de PUGH.
- ✓ Análisis financiero.

INTRODUCCIÓN

Las universidades como instituciones de educación superior, siempre han tenido como principal objetivo el buscar que todos y cada uno de sus estudiantes adquieran una gran cantidad de conocimiento de diversas índoles, para que estos puedan ser competentes para ejercer una profesión. Métodos convencionales como las clases de tipo cátedra son útiles para adquirir conocimientos, pero el ver los distintos conceptos aplicados en la práctica ayudan a que la comprensión de estos sea mucho más sencilla para los estudiantes.

Este banco de pruebas diseñado en este documento, se desarrolla debido a la necesidad de realizar el diseño de un banco para agua que contemple la variación de temperatura, este puede servir para reforzar los conocimientos de cualquier estudiante interesado en el área de la mecánica de fluidos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un banco de pruebas para la determinación de las pérdidas de carga con variación de temperatura en agua.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar el estado del arte acerca de los bancos de pruebas para pérdidas de cargas.
2. Realizar el diseño conceptual para el banco de pruebas para pérdidas de carga y evaluar las alternativas de solución.
3. Diseñar de manera detallada el banco de pruebas de pérdidas de carga.
4. Desarrollar el manual de instalación, operación, recomendaciones de mantenimiento y las guías de laboratorio para las prácticas del banco de pruebas de pérdidas de carga.
5. Realizar el estudio de costos para el banco de pruebas para pérdidas de carga.

1. ESTADO DEL ARTE ACERCA DE LOS BANCOS DE PRUEBAS PARA PÉRDIDAS DE CARGA

En esta sección se habla acerca de la historia de los bancos de pruebas para determinar las pérdidas de carga, el estado actual de este tipo de equipos a nivel mundial y en Colombia. y por último los desarrollos que se han llevado a cabo como resultado de proyectos de grado.

1.1 HISTORIA BANCOS DE PRUEBAS PARA PÉRDIDAS DE CARGA

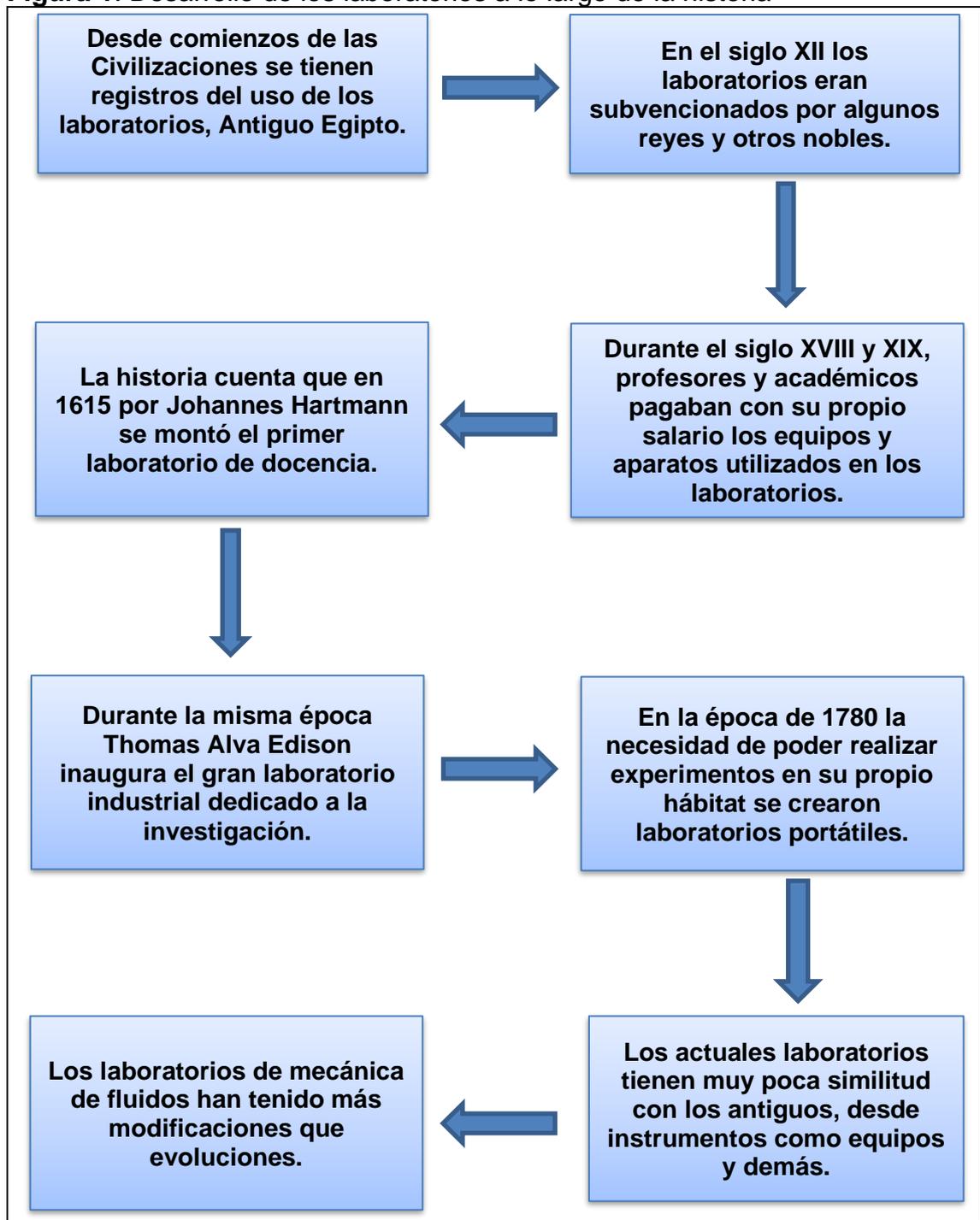
A través de la historia, la mecánica de fluidos ha tenido una gran aplicación en sistemas de tuberías y accesorios asociados a estos sistemas, permitiendo realizar estudios y análisis de los comportamientos de los fluidos (como es el caso del agua), esto significa que el estudio de las pérdidas de energía en tuberías siempre ha estado presente para poder diseñar sistemas hidráulicos. Adicionalmente, también se pueden obtener distintos resultados cuando se tiene presente diferentes tipos de accesorios en el sistema hidráulico, los cuales también afectan a los fluidos que circulan a través de estos sistemas generando pérdidas de presión.

Los equipos utilizados para poder cuantificar los resultados de forma experimental han sido fundamentales para obtener un análisis del comportamiento de los fluidos en otros escenarios, como lo son las redes de agua potable, las redes industriales, las redes de productos fármacos, entre otros. Variables como el régimen del flujo presentes en la tubería; el flujo laminar y el flujo turbulento pueden ser analizados en estos tipos de equipos, afectan directamente las pérdidas de carga y las propiedades del fluido que transita a través de este sistema de tuberías.

Desde tiempos antiguos los laboratorios han estado presentes a través de la historia de la humanidad, la primera información data desde el siglo XII, justo al mismo tiempo donde se separan las profesiones del médico y el farmacéutico. Esta división se realiza a partir de que el médico conserva el saber farmacológico y la prescripción, en cambio el farmacéutico es el conocedor de las drogas, encargado de su transformación en medicamentos, justo para estas tareas se necesitaron de espacios que contaban con tempranas versiones de lo que conocemos al día de hoy en los laboratorios¹; a continuación, se describe la evolución de los laboratorios a través de la historia de la humanidad, como se observa en la **Figura 1.**:

¹ ÁLVAREZ, Santiago. Los laboratorios químicos, estancias sagradas. Real Sociedad Española de Química. 2011. p. 175-184.

Figura 1. Desarrollo de los laboratorios a lo largo de la historia



Fuente: elaboración propia, con base en: ÁLVAREZ, Santiago. Los laboratorios químicos, estancias sagradas. Real Sociedad Española de Química. 2011. p. 175-184.

1.2 ESTADO ACTUAL DE LOS BANCOS DE PRUEBA PARA PÉRDIDAS DE CARGA A NIVEL MUNDIAL

Al realizar un estudio de los fabricantes a nivel mundial de equipos para laboratorios, se encuentran una gran cantidad de estos, la mayor parte de fabricantes se encuentran en países como la India y China. La lista de proveedores es extensa ya que los equipos para calcular caídas de presión no varían en lo más mínimo, la instrumentación y accesorios suelen ser los mismos: bomba hidráulica, manómetros, variación del material de la tubería fija, tanque de depósito para el agua, entre otros. Cabe mencionar que estos bancos para determinar caídas de presión son bastante robustos, ocupando un gran espacio donde se requiera ubicar. Algunos de los fabricantes que se encuentran en el mercado son los siguientes:

- ✓ Innovative Techno Lab Equipment (India).
- ✓ Didac International (India).
- ✓ Eternal Engineering Equipment Private Limited (India).
- ✓ Jinan Should Shine Import and Export Co. (China).

Páginas donde se juntan los diferentes fabricantes y proveedores como Alibaba.com e Indianmart.com son otras alternativas para poder identificar las características ofrecidas en el mercado de banco de pruebas para las pérdidas de presión. Los equipos ofrecidos no cuentan con variación de temperatura del fluido a estudio (agua).

En el caso de Europa el fabricante alemán GUNT, quien ha sido considerado uno de los fabricantes más conocidos en la industria de equipos para laboratorios, establecida en 1977 en Hamburgo², ofrece equipos para la medición de caídas de presión tanto para diferentes materiales de tuberías como para caídas de presión por accesorios. Estos equipos de laboratorio no cuentan con ningún accesorio adicional a los que usualmente se encuentran en el mercado (limita sus capacidades). A continuación, se encuentran figuras de los dos tipos de bancos de pruebas para determinar caídas de presión, en la **Figura 2** y la **Figura 3**.

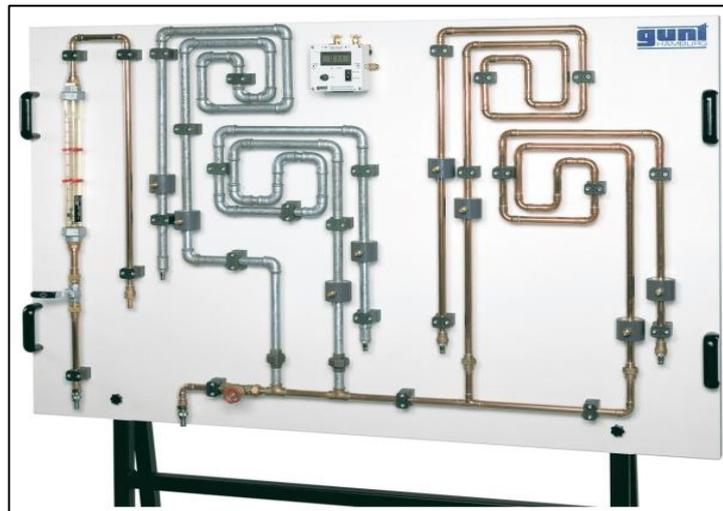
² GUNT. Acerca de la empresa. [En línea]. Disponible en: "<https://www.gunt.de/es/empresa>"

Figura 2. Banco de pérdidas de carga en tuberías Marca GUNT



Fuente: GUNT. HM 122 Pérdidas de carga en tuberías. [En línea]. Disponible en: “<https://bit.ly/2JuKnyl>”

Figura 3. Banco de pérdidas de presión en accesorios marca GUNT



Fuente: GUNT. HL 103 Ingeniería de instalación: pérdidas en codos de tuberías. [En línea]. Disponible en: “<https://bit.ly/2G8Q439>”

Sobre los bancos de pruebas de tipo industrial no existe mucha información debido a que sus fabricantes no exponen los diseños desarrollados, y las capacidades y funciones de estos equipos son de uso interno. Existe un mercado limitado de bancos capaces de determinar las pérdidas de presión en gases³, estos equipos son usualmente robustos y restringidos a un funcionamiento según su tipo de fabricación, ver **Figura 4**.

Figura 4. Banco de pruebas de tipo industrial



Fuente: Made-in-china.com. Pressure Loss Test Bench for Measuring Unit of Gas Meter. [En línea]. Disponible en: “<https://bit.ly/2xHeGvp>”

También se encontró otros tipos de bancos de pruebas industriales fijos, este tipo de banco no es del todo funcional cuando se quiere realizar pruebas en sitio donde se tienen redes de tuberías o cualquier tipo de solicitud industrial, esto dificulta que existan equipos con la capacidad de tomar presión fuera de un laboratorio.

Cabe aclarar que también hay bancos de pruebas de presión para tuberías (como se puede observar en la **Figura 5.**), que son exclusivamente para certificar hasta cuanto una tubería logra resistir cierta cantidad de presión, estos equipos contemplan la variación de la tubería para modificar el material de esta, son mucho más comerciales, de fácil adquisición y pueden determinar hasta en qué

³ MADE-IN-CHINA.COM. Pressure Loss Test Bench for Measuring Unit of Gas Meter. [En línea]. Disponible en: “<https://bit.ly/2xHeGvp>”

momento una tubería presenta algún tipo de fuga debido al paso del fluido de prueba bajo cierta presión.

Figura 5. Banco de pruebas de presión para tuberías



Fuente: Suncenter Fluid Control Equipment Co., Ltd. Máquina de prueba de presión hidrostática/ráfaga. [En línea]. Disponible en: “<https://bit.ly/2LhnUae>”

1.3 ESTADO ACTUAL DE LOS BANCOS DE PRUEBA PARA PÉRDIDAS DE CARGA EN COLOMBIA

En Colombia no se encuentra registro de fabricantes de bancos de pruebas para pérdidas de carga, los distribuidores actuales de equipos académicos se encargan de importar esta clase de equipo. Las industrias y los laboratorios certificados para realizar la medición de pérdidas de presión por lo general se encargan de su propia fabricación con características específicas según su necesidad, en caso de que los equipos de fabricantes en el exterior no cumplan las características requeridas.

Los diseños implementados por estos laboratorios no son compartidos al público debido a que tienen fines comerciales según las funciones requeridas, por ejemplo, Calibration Service S.A.S⁴, realiza sus propios equipos con patrones definidos para ofrecer servicios de calibración de instrumentos y herramientas con base en diferentes propiedades como son: presión, temperatura, torque, longitud y caudal.

⁴ CALIBRATION SERVICE S.A.S. Acerca de la empresa. [En línea]. Disponible en: “<http://www.calibrationservicesas.com/index.php/empresa-de-calibracion-en-colombia>”

En Colombia el ente regulador para laboratorios de tipo industrial, llámese laboratorios de calibración o laboratorios de ensayo es ONAC⁵; Organismo Nacional de Acreditación de Colombia, cuyo objetivo principal es otorgar la acreditación técnica a todas las compañías, laboratorios, organizaciones y demás que lo demanden. Esta corporación actúa sin ánimo de lucro, es de carácter privado y viene realizando su función desde el año 2007.

1.4 DESARROLLOS ESTUDIANTILES DE BANCOS DE PRUEBAS PARA LAS PÉRDIDAS DE CARGA

Los bancos de tipo académico usualmente son fabricados por estudiantes de planteles educativos como trabajo de grado, sin embargo, en algunas ocasiones son adquiridos a empresas. Estos equipos son montados en soportes verticales donde se pueden variar los diámetros de las tuberías y acoplar accesorios (válvulas y tés, son los más utilizados).

Los bancos de pruebas para determinar las caídas de presión suelen ocupar un gran espacio en los laboratorios asignados, por lo tanto, estos equipos son difícilmente desplazados o reubicados, el gran tamaño implica un peso difícil de manipular por condiciones de seguridad industrial y lesiones laborales.

Los bancos de pruebas con muchos accesorios y muchas líneas de tubería para experimentar y calcular las pérdidas de presión con el tiempo tienden a presentar fugas de agua y ocupan grandes espacios, esto hace que se deban ubicar en determinados puntos con un desagüe cerca, los diseños tradicionales de estos equipos no contemplan que esto es un gran limitante o dificultad con el tiempo, ya que se deben contratar servicios de mantenimiento para garantizar que sus uniones, acoples y demás están completamente sellados y no suelen tener una vida útil larga.

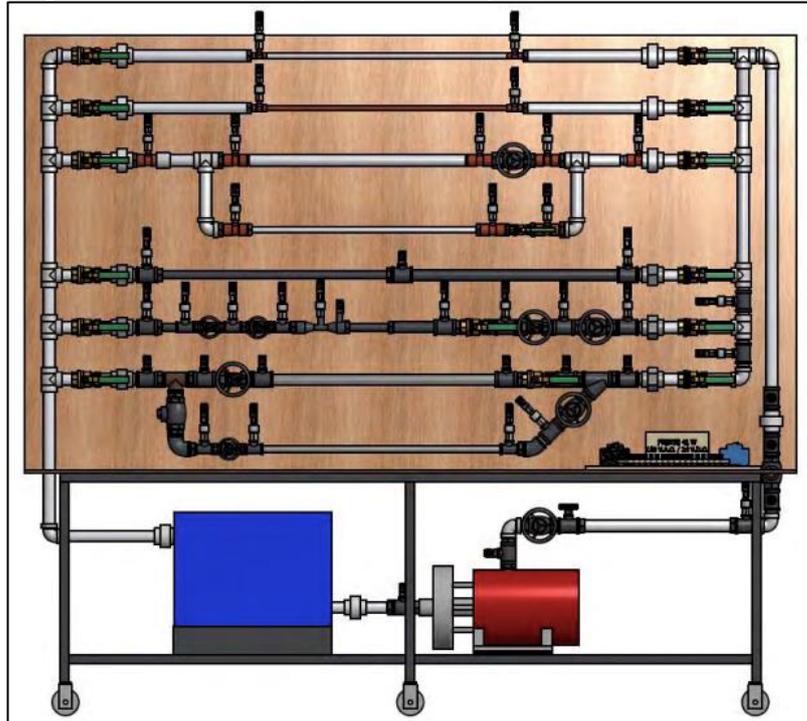
Cuando los estudiantes fabrican bancos de pruebas de tipo académico solo contemplan utilizar un fluido a condiciones de temperatura ambiente, esto significa que no consideran la variación de temperatura para determinar otros fenómenos presentes en los fluidos, o más específicamente en las pérdidas de presión de estos mismos.

Los planteles educativos por lo general no cuentan con los recursos suficientes o destinados para equipos de laboratorio de última tecnología, o para equipos de mayor precisión y resolución en la medición de variables, esto es debido a que los equipos y componentes utilizados son de tipo analógico y en muchos casos equipos obsoletos.

⁵ ONAC. Presentación. [En línea]. Disponible en: "<https://onac.org.co/presentacion>"

A continuación, en la **Figura 6** se presenta un ejemplo de un típico banco académico, esto se estableció acorde a diferentes trabajos de grado que se han consultado.

Figura 6. Banco de pruebas de tipo académico



Fuente: PARRA DURÁN, Jorge y VELASCO MARÍN, Luis. DISEÑO PARA CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA DETERMINAR LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN UN SISTEMA DE TUBERÍAS. Santiago de Cali. 2014.

Los bancos de pruebas académicos tienen tuberías de diámetro reducido, esto quiere decir que estos equipos son para comprobar de manera experimental las pérdidas de presión que sufre el fluido a lo largo de una línea de tubería. En el mercado de estos equipos de pruebas para aplicaciones académicas se tienen opciones limitadas, ya que todos los distribuidores de equipos para laboratorios no cuentan con esta clase de equipos, es por eso que en Colombia los estudiantes universitarios optan por el diseño y fabricación como opción de grado para realizar un aporte a sus universidades⁶.

A continuación, en la **Figura 7**. Se puede observar un clásico banco de pruebas para medir las pérdidas de presión que se puede adquirir por medio de un fabricante.

⁶ PARRA DURÁN, Jorge y VELASCO MARÍN, Luis. DISEÑO PARA CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA DETERMINAR LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN UN SISTEMA DE TUBERÍAS. Santiago de Cali. 2014.

Figura 7. Banco de pruebas académico



Fuente: ARADWAD, Amol. Indian Mart. 25 de junio de 2019. [En línea]. Disponible en: “<https://www.indiamart.com/proddetail/energy-losses-in-pipes-4721577388.html>”

Estos bancos de pruebas por lo general son de tipo vertical, como se menciona anteriormente, producto de la fabricación y diseño de estudiantes, la gran diferencia que tienen respecto a los ofrecidos por los fabricantes de equipos para laboratorio, es que estos últimos son con un solo tipo de tubería, limitando los diferentes escenarios para calcular pérdidas⁷.

También se encuentran otros tipos de bancos de pruebas, en la **Figura 8**, se puede observar que esta otra clase consiste en un tubo de prueba orientado verticalmente en un lado del equipo, que permite alimentarse directamente desde el tanque del banco hidráulico. Estos equipos a su vez permiten establecer las tasas de flujo que pueden ser controladas por una válvula en el extremo de descarga del tubo donde se realiza la práctica. Los manómetros empleados se utilizan para la medición tanto las pérdidas primarias como secundarias.

⁷ ARADWAD, Amol. Indian Mart. India. 2019. [En línea]. Disponible en: “<https://www.indiamart.com/proddetail/energy-losses-in-pipes-4721577388.html>”

Figura 8. Banco de pruebas tipo vertical (Académico)



Fuente: ARMFIELD.CO.UK. Engineering teaching and research CATALOGUE-ISSUE 2. 26 de junio del 2019. [En línea]. Disponible en: "<https://bit.ly/2XCTnpa>"

2. DISEÑO CONCEPTUAL PARA EL BANCO DE PRUEBAS PARA PÉRDIDAS DE CARGA Y EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

En este capítulo se van a seleccionar los distintos tipos de componentes que van a suplir cada una de las funciones del banco de pruebas

2.1 MODELO MATEMÁTICO PARA REALIZAR LOS CÁLCULOS DEL SISTEMA HIDRÁULICO Y DEL DE POTENCIA

En esta sección se consignan y describen todos los modelos matemáticos, que se utilizan en la etapa de diseño detallado para realizar los cálculos de toda la sección correspondiente al sistema hidráulico y de potencia.

El primer paso consiste en identificar si el flujo es de tipo laminar, transicional o turbulento, por medio de la **Ecuación 1**, ya que existen diferentes ecuaciones y métodos para cada caso, vale la pena resaltar que el flujo laminar se presenta cuando la velocidad es baja y el fluido tiene una alta viscosidad, por otra parte, el flujo turbulento se caracteriza por una turbulencia y mezcla en el flujo y bajo condiciones de alta velocidad y una viscosidad reducida, finalmente, el flujo transicional se presenta en una región entre el flujo laminar y turbulento en la cual se puede presentar cualquiera de estos dos patrones de flujo.

El tipo de patrón de flujo puede ser evaluado por medio del número de Reynolds, utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho * V * d}{\mu} = \frac{V * d}{\nu}$$

Fuente: Mott, Robert. Mecánica de Fluidos. México D.F. Pearson Educación. 2006. p. 247.

Donde:

Re = Número de Reynolds (Adimensional)

ρ = Densidad del fluido (kg/m³)

μ = Viscosidad dinámica (N*s/m²)

V = Velocidad promedio del flujo (m/s)

D = Diámetro interno de la tubería (m)

Para números de Reynolds menores a 2000, el flujo se considera de tipo laminar, mientras que para valores mayores que 4000 es considerado de tipo turbulento. Entre estos dos valores, se encuentra el flujo de tipo transicional (de 2000 a 4000)⁸.

⁸ MOTT, Robert. Mecánica de Fluidos. México D.F. Pearson Educación. 2006. p. 247.

2.1.1 Longitud de entrada y flujo totalmente desarrollado. En el flujo de tipo interno, los efectos de la viscosidad se incrementan con el paso a través de los ductos, debido a las limitaciones de las paredes. Para una distancia finita, una capa límite se desarrolla, haciendo el flujo completamente desarrollado por la viscosidad, debido a esto no hay variación de la velocidad al medirlo a cierta distancia. La distancia es importante, debido a la ecuación de Darcy-Weisbach, la cual se describe posteriormente, puede ser aplicada al flujo totalmente desarrollado de la porción de flujo en la tubería⁹.

La distancia requerida para el desarrollo del flujo es conocida como la distancia de entrada (L_e), la cual puede ser estimada si el número de Reynolds es conocido.

Para el caso del flujo laminar, se va a emplear la **Ecuación 2.:**

Ecuación 2. Distancia de entrada para el caso del flujo laminar

$$\frac{L_e}{d} = 0.06 * Re$$

Fuente: KHALIL ABABNEH, Amer. Fluid Mechanics: Chapter 10, Flow in Conduits. p. 12.

Y para el caso del flujo turbulento, se va a emplear la **Ecuación 3.:**

Ecuación 3. Distancia de entrada para el caso del flujo turbulento

$$\frac{L_e}{d} = 4.4 * Re^{1/6}$$

Fuente: KHALIL ABABNEH, Amer. Fluid Mechanics: Chapter 10, Flow in Conduits. p. 12.

Es importante tener en cuenta los efectos de la región de entrada, porque si se desconoce la caída de presión en esta zona puede ser erróneamente percibida como una pérdida de carga.

2.1.2 Cálculo de las Pérdidas de Carga. Las pérdidas de carga del flujo en una instalación dependen de las tasas de flujo, así como del tipo de material y de las dimensiones de las tuberías. Por lo tanto, muchas ecuaciones fueron propuestas para calcular estos valores, como la ecuación de Darcy-Weisbach y la correlación de Colebrook-White¹⁰.

⁹ UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA UNI- NORTE, sede regional en Estelí. Mecánica de Fluidos. II Unidad: Dinámica de carga en tuberías. Estelí. 2009. p. 2.

¹⁰ CÁTEDRA DE INGENIERÍA RURAL. Tema 7 Expresiones del factor de fricción. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real. p. 8.

2.1.2.1 La ecuación de Darcy-Weisbach. Esta ecuación fue la primera en ser desarrollada para calcular las pérdidas de carga en flujos de fluidos en tuberías. La ecuación corresponde a la **Ecuación 4.**, que se presenta a continuación:

Ecuación 4. Ecuación de Darcy-Weisbach

$$h_f = f * \frac{L}{d} * \frac{V^2}{2 * g}$$

Fuente: KHALIL ABABNEH, Amer. Fluid Mechanics: Chapter 10, Flow in Conduits. p. 12.

Donde:

L = Longitud de la tubería (m)

d = Diámetro de la tubería (m)

V = Velocidad de flujo promedio (m/s)

f = Factor de fricción

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

El valor de h_f representa, por lo tanto, la caída de presión friccional para un flujo a velocidad V, a través de una tubería con longitud L y un diámetro d.

2.1.2.2 Factor de Fricción El factor de fricción es adimensional, y este puede ser determinado a través de correlaciones de tipo semi empíricas, las cuales son en función del Número de Reynolds y de la relación ϵ/d donde ϵ representa la rugosidad de la tubería.

Para el caso del flujo laminar, la expresión del factor de fricción es derivada de la relación entre la ecuación de Darcy-Weisbach y la ecuación Hagen-Poiseuille, la cual se presenta a continuación en la **Ecuación 5.**

Ecuación 5. Factor de fricción derivado de la relación Darcy Weisbach y Hagen-Poiseuille

$$hf = \frac{32 * \mu * L * V}{\rho * g * d^2}$$

Fuente: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL CÓRDOBA. Tema 6 Expresiones del factor de fricción. Argentina. p. 2.

La ecuación muestra que, para el flujo laminar, las pérdidas de carga cambian linealmente con la velocidad, a pesar de que la longitud y el diámetro de la tubería, así como la viscosidad y la densidad del fluido, también influyen en las pérdidas de carga¹¹.

¹¹ UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL CÓRDOBA. Tema 6 Expresiones del factor de fricción. Argentina. p. 2.

Por lo tanto, es realmente sencillo obtener una expresión del factor de fricción para los casos del flujo laminar, basado únicamente en el número de Reynolds, el cual se presenta en la **Ecuación 6**

Ecuación 6. Factor de fricción para el flujo laminar

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

Fuente: UNIVERSIDAD DE SALAMANCA. Unidad 3 Hidrodinámica Principios Fundamentales, Capítulo 1 Fricción en tuberías Pérdidas de Carga Continuas. España, p. 9.

Para los casos del flujo turbulento, el factor de fricción es inicialmente estimado a través de la expresión empírica mostrada en la **Ecuación 7.:**

Ecuación 7. Factor de fricción para el flujo turbulento

$$f = \frac{0.316}{Re^{1/4}}$$

Fuente: UNIVERSIDAD DE SALAMANCA. Unidad 3 Hidrodinámica Principios Fundamentales, Capítulo 1 Fricción en tuberías Pérdidas de Carga Continuas. España, p. 9.

Con este valor, y a través de un proceso iterativo, podemos determinar un nuevo valor utilizando la correlación de Colebrook, la cual se presenta en la **Ecuación 8.:**

Ecuación 8. Correlación de Colebrook

$$f = \left[-2 * \log \left(\frac{\varepsilon/d}{3.7} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} \right) \right]^{-2}$$

Fuente: CAMARAZA, Yanán. Nuevo modelo para la determinación del factor de fricción en el régimen de flujo turbulento. Cuba. 2011. p.6

La correlación brinda una buena representación para la variación del coeficiente de fricción para el flujo turbulento, y este es la base para la creación del diagrama de Moody¹².

2.1.2.3 Pérdidas Menores. Hasta ahora, las pérdidas de carga solo han sido consideradas por efecto de la tubería. Sin embargo, las pérdidas menores, son generadas por cambios en la dirección de la tubería, cambios de diámetros o la presencia de accesorios, deben ser también tomadas en cuenta¹³. La separación

¹² CAMARANZA, Yanán. Nuevo modelo para la determinación del factor de fricción en el régimen de flujo turbulento. Cuba. 2011. p.6

¹³ PONCE, Fernando. Manual para ensayo de pérdidas de energía en accesorios de tubería del laboratorio de hidráulica. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2006. p. 41

del flujo, por ejemplo, es causada por los accesorios, resultando en la generación y disipación de remolinos de turbulencia. Estas pérdidas menores pueden superar las pérdidas por fricción, y son representadas por la **Ecuación 9.**:

Ecuación 9. Pérdidas de carga por un accesorio

$$h_m = K * \frac{V^2}{2g}$$

Fuente: PONCE, Fernando. Manual para ensayo de pérdidas de energía en accesorios de tubería del laboratorio de hidráulica. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2006. p. 41

Donde:

h_m = Pérdidas de carga por un accesorio.

K = Coeficiente de pérdidas relacionado con ese accesorio.

En el **Cuadro 1.**, se presentan los valores típicos de K para varios tipos de accesorios.

Cuadro 1. Valores típicos de K para varios tipos de accesorios

| Componente | K (adimensional) |
|------------------------------|-------------------------|
| Válvula de Bola | 0.05 |
| Válvula de Asiento de Ángulo | 2 |
| Válvula de Compuerta | 0.17 |
| Válvula de Diafragma | 2.30 |
| Codo a 90° | 0.90 |
| Codo a 45° | 0.40 |
| Tee | 1.80 |
| Tenedor de Fontanería | 1.30 |
| Filtro | 10 |
| Venturi | 2.50 |
| Orificio | 5 |

Fuente: PONCE, Fernando. Manual para ensayo de pérdidas de energía en accesorios de tubería del laboratorio de hidráulica. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2006. p. 41

Para el diseño y dimensionamiento de las instalaciones, los coeficientes de pérdidas asociados ya sea con transiciones de diámetros o con entradas y salidas, pueden ser determinados usando ya sea ecuaciones o por medio de un análisis de la información disponible en la literatura.

Las pérdidas de carga inducidas por cambios direccionales son mayores que las pérdidas causadas únicamente por la fricción, como ellas generan separación del flujo en las paredes, el cual es el resultado de choques dinámicos y cambios en las fuerzas sobre el fluido.

2.1.2.4 Pérdidas de Carga Totales. Para determinar las pérdidas de carga totales (Ver **Ecuación 10.**) y la caída de presión en el sistema, es necesario aplicar la ecuación de energía mecánica para fluidos incompresibles (como el agua), considerando que cada grupo contribuye a la variación de presión, como en la ecuación que se presenta a continuación:

Ecuación 10. Pérdidas de carga totales

$$\left(\frac{P_1}{\rho * g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 \right) - \left(\frac{P_2}{\rho * g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \right) = h_f + h_m - h_p$$

Fuente: I. MARTÍN, R. SALCEDO, R. Font. MECÁNICA DE FLUIDOS Tema 1. Flujo interno de fluidos incompresibles y compresibles. Universidad de Alicante.2011. P. 18.

En donde:

h_f = representa las pérdidas de presión debido a la fricción del fluido en la tubería.

h_m = es el valor de las pérdidas menores a través del flujo.

h_p = es la energía suministrada por la bomba.

2.1.2.5 Cálculo del caudal a través de la caída de presión. La tasa de flujo puede ser determinada a través de la caída de presión ocasionada por el paso del fluido en algunos accesorios, como el tubo Venturi. Estos cálculos incluyen la aplicación de la ecuación de continuidad (Ver **Ecuación 11.**) y la ecuación de energía en flujo sin fricción (Ver **Ecuación 12.**).

Ecuación 11. Ecuación de continuidad

$$Q = A_1 * V_1 = A_2 * V_2$$

Fuente: PONCE, Fernando. Manual para ensayo de pérdidas de energía en accesorios de tubería del laboratorio de hidráulica. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2006. p. 27

Ecuación 12. Ecuación de energía en flujo sin fricción

$$\frac{p_1}{\rho * g} + \frac{V_1^2}{2 * g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho * g} + \frac{V_2^2}{2 * g} + z_2$$

Fuente: PONCE, Fernando. Manual para ensayo de pérdidas de energía en accesorios de tubería del laboratorio de hidráulica. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2006. p. 29.

La ecuación de continuidad resulta del principio de conservación de masa. Acorde a este principio, en un régimen permanente, si el diámetro de la tubería disminuye, la velocidad de flujo debe incrementarse después de ir a través de esta sección (Ver **Ecuación 13.**). En la ausencia de pérdidas, si la energía cinética se incrementa, entonces la energía resultante de la presión disminuye¹⁴.

¹⁴ PONCE. Op. cit., p. 29.

La **Ecuación 14.** ilustra como a través de la velocidad de flujo promedio en una tubería puede representarse como una función de la caída de presión.

2.1.2.6 Restricciones y aplicación de la ecuación de Bernoulli. En la deducción del teorema de Bernoulli fueron formuladas varias hipótesis:

- ✓ El desplazamiento del líquido debe ser sin fricción, no fue considerada la influencia de la viscosidad.
- ✓ El movimiento es permanente.
- ✓ El flujo se produce a lo largo de un tubo de corriente.
- ✓ El líquido es incompresible¹⁵.

Ecuación 13. Ecuación de continuidad para líquidos

$$V_1 = \frac{A_2}{A_1} * V_2$$

Fuente: MOTT, Robert. Mecánica de Fluidos. México D.F. Pearson Educación. 2006. p. 247. P. 3.

Ecuación 14. Velocidad de flujo promedio a la salida de una tubería

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 * (p_1 - p_2)}{\rho * \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right]}}$$

Fuente: MOTT, Robert. Mecánica de Fluidos. México D.F. Pearson Educación. 2006. p. 247. P. 3.

2.1.2.7 Sistemas de Tuberías. En esta sección, una comparación se hizo entre los cambios de presión ocurriendo en sistemas de tubería en serie y en paralelo. En sistemas de tuberías en serie, para estado estable y flujo incompresible, el caudal es constante a través del sistema, como se muestra en la **Ecuación 15.:**

Ecuación 15. Tasa de flujo volumétrico

$$Q_{TOTAL} = A_1 * V_1 = A_2 * V_2$$

Fuente: MOTT, Robert. Mecánica de Fluidos. México D.F. Pearson Educación. 2006. p. 247. P. 3.

En donde:

A_1 = área a la entrada (m^2)

A_2 = área a la salida (m^2)

V_1 = velocidad de flujo a la entrada (m/s)

V_2 = velocidad de flujo a la salida (m/s)

¹⁵ Ibid. p. 30.

La suma total de las pérdidas de carga corresponde a la suma total de las pérdidas de carga en cada una de las secciones (Ver **Ecuación 16.** y **Ecuación 17.**).

Ecuación 16. Suma total de las pérdidas de carga simplificada

$$h_f = h_{f,1} + h_{f,2} + \dots$$

Ecuación 17. Suma total de las pérdidas de carga ecuación completa

$$h_f = \sum K * \frac{V_1^2}{2 * g} + \sum K * \frac{V_2^2}{2 * g}$$

Fuente: MOTT, Robert. Mecánica de Fluidos. México D.F. Pearson Educación. 2006. p. 247. P. 3.

Para un sistema de tuberías en paralelo, el caudal que recorre el sistema es igual a la suma del caudal pasando a través de cada sección individual (Ver **Ecuación 18.**).

Ecuación 18. Suma de caudales en sistema de tuberías en paralelo

$$Q_{TOTAL} = Q_1 + Q_2$$

La caída de presión en un sistema en paralelo es equivalente a la caída de presión en cada segmento individual ocurriendo en paralelo, como se puede observar en la **Ecuación 19.**:

Ecuación 19. Caída de presión en un sistema en paralelo

$$\Delta p = f_1 * \frac{L_1}{d_1} * \rho * \frac{V_1^2}{2 * g} = f_2 * \frac{L_2}{d_2} * \rho * \frac{V_2^2}{2 * g}$$

Fuente: MOTT, Robert. Mecánica de Fluidos. México. Pearson Educación. 2006. P.3.

En donde:

f_1 = coeficiente de fricción en la sección de entrada de la tubería.

f_2 = coeficiente de fricción en la sección de salida de la tubería.

L_1 = Longitud en la sección 1 de la tubería.

L_2 = Longitud en la sección 2 de la tubería.

d_1 = diámetro a la entrada (m)

d_2 = diámetro a la salida (m)

V_1 = velocidad de flujo a la entrada (m/s)

V_2 = velocidad de flujo a la salida¹⁶(m/s)

¹⁶ Mott, Robert. Mecánica de Fluidos. México. Pearson Educación. 2006. p. 230.

2.1.2.8 Cálculo de la Bomba. Una bomba centrífuga es una máquina que añade energía por unidad de peso, para un fluido que es drenado. Esta energía por unidad de peso para un fluido H_p es conocida como cabeza neta. Para dimensionar una bomba en un sistema dado, se necesita usar la ecuación de energía y la información obtenida de un fabricante. Como un ejemplo, considere dos secciones, una en la superficie del tanque y otra en la salida del sistema, un volumen de control se obtiene.

Después del cálculo de la cabeza neta, la siguiente ecuación puede ser usada para determinar la potencia de la bomba que debe ser usado para elevar el flujo una cantidad Q a una cabeza neta de altura H (Ver **Ecuación 20.**).

Ecuación 20. Potencia que necesita la bomba

$$P = \frac{\rho * g * Q * H}{n}$$

Fuente: MOTT, Robert. Mecánica de Fluidos. México. Pearson Educación. 2006. P.3.

En donde:

ρ = densidad del fluido (kg/m^3)

g = aceleración de la gravedad (9.81 m/s^2)

Q = tasa de flujo (m^3/s)

H = cabeza de flujo (m)

n = eficiencia de la bomba.

2.2 PARÁMETROS Y REQUERIMIENTOS FUNCIONALES EL BANCO DE PRUEBAS DE PÉRDIDAS DE CARGA QUE SE DISEÑARÁ

Aquí, se encontrarán los requerimientos de tipo funcional que el banco de pruebas debe cumplir para garantizar un diseño correcto del mismo y también, se determinarán los parámetros básicos que se definieron junto con la empresa (Calibration Service S.A.S.) para el correcto desarrollo del proyecto.

2.2.1 Parámetros. A continuación, se encuentran los distintos parámetros requeridos para el diseño del banco de pruebas.

2.2.1.1 Espacio disponible para la ubicación del banco. Este parámetro es muy importante ya que sirve como una limitación para saber qué área máxima puede ocupar el banco y en base a esto orientar el diseño detallado, este parámetro se establece a partir de la información obtenida por parte de la empresa (Ver **Cuadro 2.**).

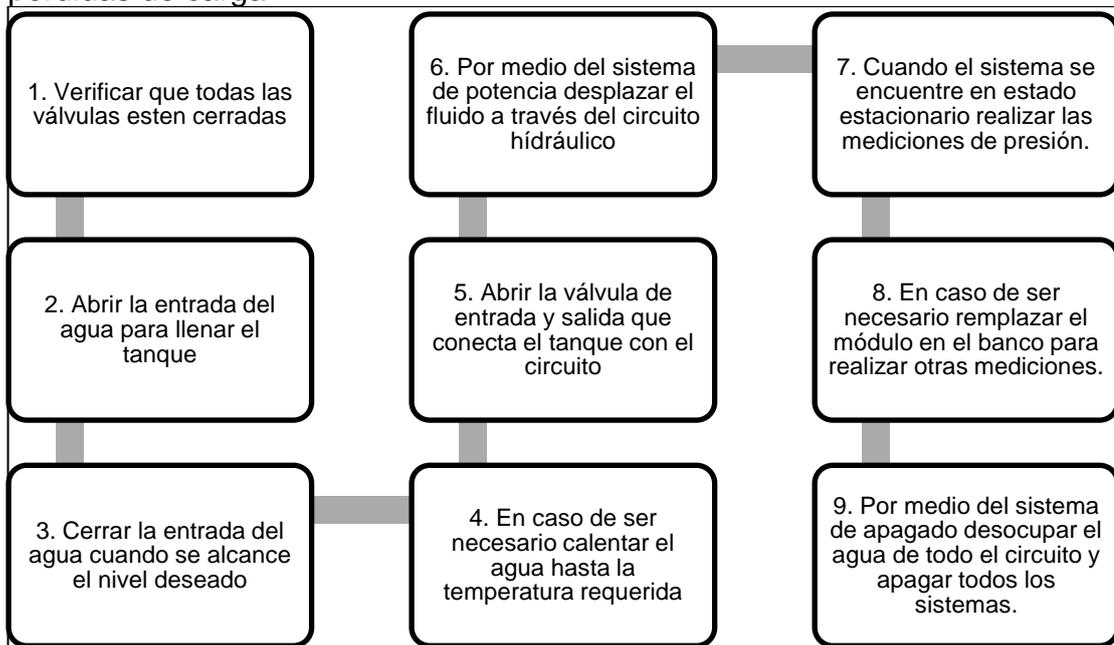
Cuadro 2. Parámetros para la ubicación del banco de prueba

| Parámetro | Información suministrada por la empresa |
|--------------------------------|---|
| Área (m ²) | 2.60 * 1.20 |
| Altura (m) | 1.20 |
| Zona donde se ubicará | Espacio cerrado |
| Disponibilidad de agua | Si |
| Disponibilidad de electricidad | Si |

Fuente: elaboración propia, con base en: CALIBRATION SERVICE S.A.S. Acerca de la empresa. [En línea].66l Disponible en: "http://www.calibrationservicesas.com/index.php/empresa-de-calibracion-en-colombia"

2.2.1.2 Orden del proceso. A continuación, mediante la **Figura 9.**, se detalla el flujo de proceso, este diagrama sirve para entender de una forma más detallada como debe ser el funcionamiento del banco de pruebas para determinar las pérdidas de carga.

Figura 9. Diagrama de funcionamiento banco de pruebas para determinar las pérdidas de carga



Fuente: elaboración propia.

2.2.2 Requerimientos funcionales. A continuación, se presentan los requerimientos funcionales para el diseño del banco de pruebas de pérdidas de carga, haciendo alusión a que estas son aquellas con las que debe contar el banco, para poder determinar las pérdidas de carga con variación de temperatura en agua. Estas se presentan enlistadas, referenciadas y divididas

por cada uno de los sistemas que componen el banco de pruebas para determinar las pérdidas de carga:

2.2.2.1 Sistema Hidráulico.

- ✓ Todos los elementos que estén en contacto con el agua deben tener tratamientos antioxidantes y anticorrosivos.
- ✓ Se debe garantizar que todos los elementos tanto diseñados como seleccionados sean resistentes al aumento de la temperatura, tomando en cuenta que se manejarán temperaturas entre 20°C y 60°C.
- ✓ Se debe garantizar que no se generen ningún tipo de fugas en el circuito hidráulico.
- ✓ Debido a que se diseñará un banco de tipo modular, se debe garantizar que se pueda retirar y remplazar el tramo de tubería donde se realizará la medición de las pérdidas de carga, para poder variar el material de la tubería.
- ✓ El circuito hidráulico diseñado debe comenzar y terminar en el tanque del banco de pruebas para pérdidas de carga.
- ✓ Se debe determinar la potencia que necesita el sistema a partir del diseño del circuito hidráulico.
- ✓ La longitud del tramo de tubería debe ser tal, que se puedan apreciar las caídas de presión que se generaron, esta medida debe ser igual o superior a 1.9 m, esta precisión fue también requerimiento de la empresa Calibration Services S.A.S
- ✓ En caso de que se genere una sobrepresión en el sistema, este debe contar con un sistema que permita disminuir la presión.
- ✓ Al momento en que se vaya a realizar el cambio del módulo en el banco, se debe contar con un circuito de tubería que permita recircular el agua mientras se reemplaza el módulo en el banco.

2.2.2.2 Sistema Potencia.

- ✓ Todos los elementos que estén en contacto con el agua deben tener tratamientos antioxidantes y anticorrosivos.
- ✓ Se debe garantizar que todos los elementos tanto diseñados como seleccionados sean resistentes al aumento de la temperatura, tomando en cuenta que se manejarán temperaturas entre 20°C y 60°C.
- ✓ Se debe garantizar que el agua cuente con la suficiente energía para recorrer el circuito de tuberías y para garantizar un cambio apreciable de las pérdidas de carga.
- ✓ Se debe diseñar el circuito eléctrico el cual debe conectar el tablero de control con el encendido de la bomba, el encendido de la resistencia y el elemento para medir la temperatura.
- ✓ Todos los elementos tanto diseñados como seleccionados, deben tener la capacidad de soportar la presión máxima que podría llegar a alcanzar el fluido a lo largo del circuito.

- ✓ Se debe garantizar que la bomba siempre trabaje con carga de fluido, esto se logra mediante el tanque de alimentación de agua este a un nivel de altura superior.

2.2.2.3 Sistema de Control.

- ✓ Todos los elementos que estén en contacto con el agua deben tener tratamientos antioxidantes y anticorrosivos.
- ✓ Se debe garantizar que todos los elementos tanto diseñados como seleccionados sean resistentes al aumento de la temperatura, tomando en cuenta que se manejarán temperaturas entre 20°C y 60°C.
- ✓ Todos los elementos tanto diseñados como seleccionados, deben tener la capacidad de soportar la presión máxima que podría llegar a alcanzar el fluido a lo largo del circuito.
- ✓ Se debe garantizar que en ningún momento se excedan las presiones, temperaturas y nivel del tanque para las que fue diseñado el banco, para esto se van a implementar sistemas de control de nivel, presión y temperatura en diferentes zonas del banco.

2.2.2.4 Sistema de Medición.

- ✓ Todos los elementos que estén en contacto con el agua deben tener tratamientos antioxidantes y anticorrosivos.
- ✓ Se debe garantizar que todos los elementos tanto diseñados como seleccionados sean resistentes al aumento de la temperatura, tomando en cuenta que se manejarán temperaturas entre 20°C y 60°C.
- ✓ Todos los elementos tanto diseñados como seleccionados, deben tener la capacidad de soportar la presión máxima que podría llegar a alcanzar el fluido a lo largo del circuito.
- ✓ Se deben seleccionar los elementos que permitan medir la presión tanto al inicio del módulo, como a la salida de este, de ser posible elementos de última generación que permitan tener una gran precisión en la medición.

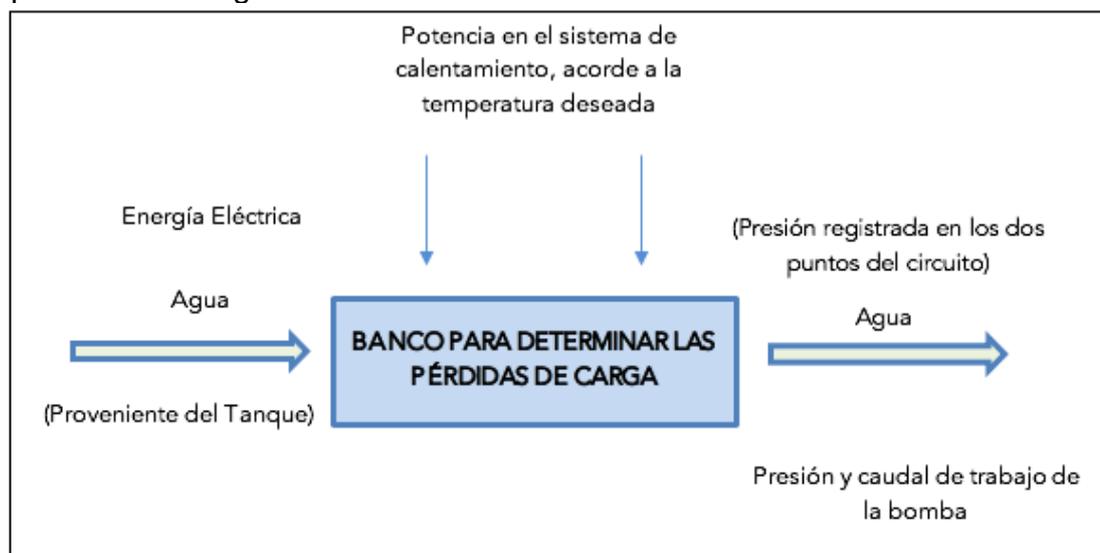
2.2.2.5 Sistema Estructural.

- ✓ Todos los elementos que estén en contacto con el agua deben tener tratamientos antioxidantes y anticorrosivos.
- ✓ Se debe garantizar que todos los elementos tanto diseñados como seleccionados sean resistentes al aumento de la temperatura, tomando en cuenta que se manejarán temperaturas entre 20°C y 60°C.
- ✓ El diseño de la estructura debe estar orientado a que se pueda montar y desmontar fácilmente el módulo.
- ✓ Debe ser capaz de soportar todos los elementos que componen el banco, considerando el escenario más crítico, que es cuando el tanque y el circuito se encuentran llenos de agua.

2.3 CAJA NEGRA DE FUNCIONES DEL BANCO DE PRUEBAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA

Como método para sintetizar el proyecto, se va a utilizar una caja negra de funciones, se decidió utilizar esto ya que muestra la esencia del proyecto y nos permite concentrarnos en la estructura funcional del banco de pruebas para la determinación de las pérdidas de carga (Ver **Figura 10.**). Para hacer una explicación más detallada acerca de cómo es el funcionamiento de la máquina que se espera diseñar.

Figura 10. Caja negra de funciones banco de pruebas para determinar las pérdidas de carga



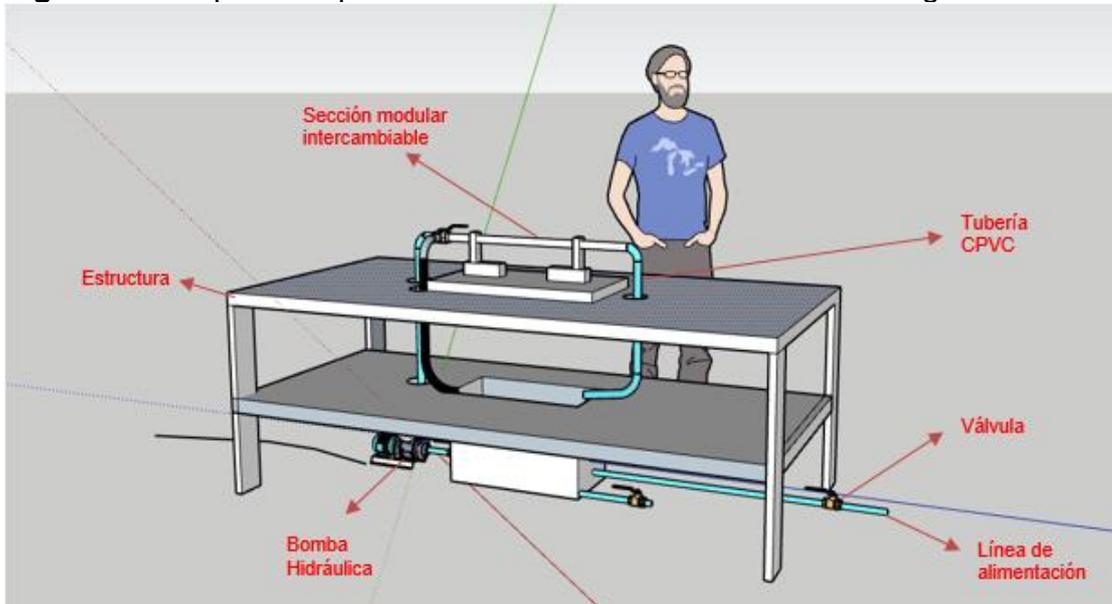
Fuente: elaboración propia, con base en: CALIBRATION SERVICE S.A.S. Acerca de la empresa. [En línea]. Disponible en: "http://www.calibrationservicesas.com/index.php/empresa-de-calibracion-en-colombia"

2.4 ESQUEMA REPRESENTATIVO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

Antes de proceder a mostrar las alternativas de solución para cada una de las diferentes funciones del banco, se va a mostrar un esquema representativo que fue realizado en SketchUp 2019¹⁷ licencia obtenida por medio de su versión de prueba (Ver **Figura 11.** y **Figura 12.**). Se espera que este permita ilustrar más fácilmente al lector respecto a las diferentes alternativas de solución que se pueden utilizar en el diseño del banco de pruebas para determinar pérdidas de carga.

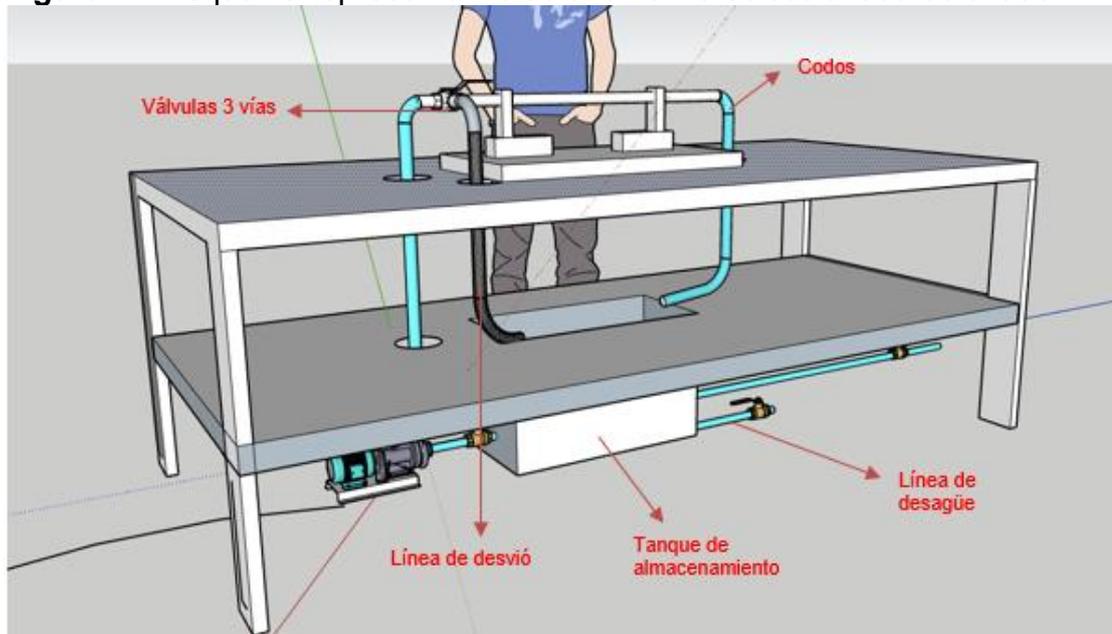
¹⁷ SketchUp. Sketchup 2019. [En línea]. Disponible en: "https://www.sketchup.com/es/try-sketchup"

Figura 11. Esquema representativo de alternativa seleccionada global



Fuente: elaboración propia

Figura 12. Esquema representativo de alternativa seleccionada detallado



Fuente: elaboración propia.

2.5 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

En esta sección se presentan los diferentes componentes que podrían suplir las diferentes funciones necesarias en el banco de pruebas para determinar las pérdidas de carga, se presenta la función necesaria y posterior a esto las posibles alternativas de solución que se podrían implementar, en cada uno de

los componentes establecidos se presentan las ventajas y desventajas que presentan.

2.5.1 Método para suministrarle energía al fluido. Entre las diferentes opciones para suministrarle energía al agua, contempladas en este proyecto, se encuentran poner el tanque a una altura más elevada que el circuito de tuberías, la implementación de una bomba centrífuga y la alimentación directa del acueducto local.

Entre los criterios que se van a tomar en cuenta para seleccionar el método para suministrarle energía al fluido se encuentran:

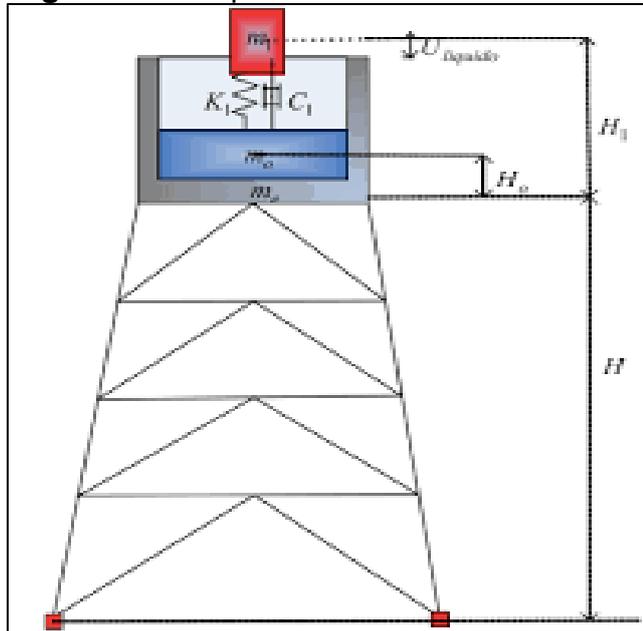
- ✓ Ahorro de agua.
- ✓ Costo.
- ✓ Control de presión.
- ✓ Resistencia al aumento de temperatura.
- ✓ Confiabilidad.
- ✓ Facilidad para el mantenimiento.

A continuación, se va a realizar una breve descripción de cada una de estas alternativas:

2.5.1.1 Tanque Elevado: Mediante este se busca obtener una presión hidrostática suficiente para darle la energía al fluido para que recorra todo el sistema de tuberías correspondiente al banco de pruebas. Pero este tipo de alimentación no permite que el fluido recircule de nuevo al sistema, lo que sería insuficiente para realizar una práctica de laboratorio de forma constante (lo que generaría enormes desperdicios de agua), utilizar este sistema haría necesario utilizar una bomba que permita elevar el fluido hasta el tanque nuevamente y que de esta manera se genere un circuito cerrado¹⁸, en la **Figura 13.**, se encuentra un diagrama representativo del tanque elevado.

¹⁸ Comisión nacional de agua. Diseño, construcción y operación de tanques de regulación para abastecimiento de agua potable. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y saneamiento. México. 2007. p. 3.

Figura 13.Tanque Elevado



Fuente: GUILLÉN, Misael y ROJAS, Alex. Análisis del comportamiento dinámico del agua en tanques apoyados rectangulares y cilíndricos bajo acción. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. 4 de septiembre del 2007. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2XF48w1>.

A continuación, en el **Cuadro 3.**, se presentan las ventajas y desventajas que presenta esta alternativa de solución:

Cuadro 3. Ventajas y desventajas de implementar el tanque elevado

| Ventajas | Desventajas |
|---|--|
| Este sistema para adicionar energía al fluido no necesita de electricidad | No es posible reutilizar el agua en el sistema |
| No es costoso, debido a que es simplemente un tanque donde se almacena fluido, sin embargo, debido a que no es posible recircular el fluido el costo del agua representa un gasto significativo | Aumenta la altura del diseño, dependiendo de la energía que se le necesite suministrar al fluido |
| Dependiendo el material en el que este fabricado el tanque, permite soportar los cambios en la temperatura del fluido | No es posible regular fácilmente la presión que adquiere el fluido en el circuito hidráulico |
| El mantenimiento es bastante sencillo, este depende del material en el que esté construido el tanque | El espacio de instalación y tubería requiere de espacio, donde limita su ubicación. |

Fuente: elaboración propia

2.5.1.2 Bombas para fluidos. Con el uso de esta se puede bombear el fluido con la presión que se requiere para realizar las pruebas de pérdidas de presión, entre las opciones a elegir se tiene las bombas centrífugas y las bombas de desplazamiento positivo. Estos dispositivos deberán suministrar la mínima potencia necesaria al fluido para realizar el desplazamiento de este, en todo el sistema, entre las principales ventajas que poseen estas es que permiten recircular constantemente el fluido y de esta manera se pueden realizar múltiples ensayos con un mismo fluido¹⁹, en la **Figura 14.**, se presenta un diagrama representativo de la bomba hidráulica.

Figura 14. Bomba hidráulica



Fuente: MODREGO hogar. Bomba de agua superficie centrífuga hcpf-70 hidrobex 2 cv. 27 de junio del 2019. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2IJs2fy>.

A continuación, en el **Cuadro 4.**, se presentan las ventajas y desventajas que presenta esta alternativa de solución:

¹⁹ Pérez, Severiano y Renedo, Carlos. Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas Tema 08. Bombas. Universidad de Cantabria. p.4.

Cuadro 4. Ventajas y desventajas de implementar la bomba hidráulica

| Ventajas | Desventajas |
|---|--|
| Permite cambiar el caudal y la presión en el fluido de la forma en que lo desee el usuario | Es un sistema que necesita de electricidad para funcionar |
| Es posible recircular el fluido almacenado en el banco, de forma que se genera un ahorro de agua | Necesita adicionalmente de un tanque en el que se almacene el fluido para que recircule a través del circuito del banco de pruebas |
| Existen modelos de bomba que permiten soportar fácilmente los cambios de temperatura en el fluido | Puede tener costos elevados según su fabricante y características. |
| El fabricante de la bomba en muchos casos suministra los repuestos para el mantenimiento, así como las personas para que lo ejecuten | Con una mala operación puede sufrir diferentes daños, incluso hasta el cambio de la bomba. |
| Los manuales de este tipo de bombas suelen mostrar la cantidad de horas de trabajo que son capaces de soportar antes de necesitar de un mantenimiento | Puede presentar daños en el montaje si se realiza por personal no experimentado. |

Fuente: elaboración propia

2.5.1.3 Alimentación Directa. El uso de la alimentación directa para suministrar la energía suficiente al sistema debe ser constante y debe corresponder con la energía que necesita el fluido para recorrer todo el sistema, este tiene varios problemas como que es necesario desechar el fluido una vez ha recorrido el sistema, por lo que se genera un gasto de agua y finalmente, el sistema es dependiente de la presión con la que venga el agua del acueducto, por lo que podría presentarse escenarios en donde la presión sea muy alta o muy baja comparada con la presión que necesita el sistema.

A continuación, en el **Cuadro 5.**, se presentan las ventajas y desventajas que presenta esta alternativa de solución:

Cuadro 5. Ventajas y desventajas de implementar la alimentación directa

| Ventajas | Desventajas |
|---|--|
| Como tal no es necesario comprar ningún equipo, por lo que no habría costos asociados al CAPEX, sin embargo, el gasto constante de agua representa un costo significativo | Debido a que no es posible recircular el fluido en el circuito, es necesario tomar agua del acueducto cada vez que se desee realizar una medición |
| No tiene ningún problema con respecto al cambio de la temperatura, no obstante. | No es posible controlar la presión y el caudal del fluido, este se ve limitado por las condiciones a las que lo entrega el acueducto en la zona donde este instalado el equipo |
| La confiabilidad de este se ve limitado por la disponibilidad de agua que presente el acueducto, en la zona donde se instale el banco de pruebas | Es necesario implementar un calentador de paso. |
| No necesita ningún tipo de mantenimiento | Se corre el riesgo de cualquier problema en el suministro de agua ajeno a el operador o propietario del equipo. |

Fuente: elaboración propia

2.5.2 Elementos para medir la presión. Debido a que se desea medir la presión con exactitud tanto a la entrada como a la salida del módulo (o el diferencial de estas dos presiones directamente, de ser posible), las opciones de instrumentos a considerar deben contar con una buena resolución al medir la presión del agua, resistencia a la temperatura esto porque las pérdidas de carga en muchos casos son difíciles de determinar.

Entre los criterios que se van a tomar en cuenta para seleccionar el método para medir la presión se encuentran:

- ✓ Resolución de la herramienta.
- ✓ Resistencia a la temperatura.
- ✓ Costo.
- ✓ Vida útil.
- ✓ Confiabilidad.
- ✓ Facilidad para el mantenimiento.

2.5.2.1 Manómetro diferencial. Este tipo de manómetro se ajusta a las condiciones que requiere el banco de pruebas para la medición de presión entre dos puntos, ya que se busca encontrar el diferencial de presión del fluido al pasar por el módulo que se requiere analizar. A continuación, en la **Figura 15.**, se muestra como ejemplo un manómetro diferencial de tipo analógico, este se encuentra conectado a la entrada y a la salida del módulo en donde se realizarán los ensayos y compara las presiones.

Figura 15. Manómetro diferencial



Fuente: Instrumentación y Metrología Inteligente. Manómetro Diferencial 4 ½” Acero inoxidable. [En línea]. Disponible en: “<https://bit.ly/30vD0wl>”

A continuación, en el **Cuadro 6.**, se presentan las ventajas y desventajas que presenta esta alternativa de solución:

Cuadro 6. Ventajas y desventajas de implementar el manómetro diferencial

| Ventajas | Desventajas |
|--|--|
| Permite calcular más rápido las pérdidas de carga en el módulo. | Con el tiempo empieza a descalibrarse el equipo. |
| No requiere de conversiones adicional para calcular la presión obtenida. | Mala operación puede dañar el equipo. |
| Se pueden obtener resultados confiables | Necesita de calibraciones periódicas. |

Fuente: elaboración propia

2.5.2.2 Transductor de presión amplificado con alta linealidad. Dispositivos diseñados para que sean sometidos a deformación debido al paso del fluido, para que esto sea convertido en señales eléctricas, estos están conectados a transductores, encargados de transmitir la señal a equipos de lectura de valores (Ver **Figura 16.**). Esta clase de equipos también son contemplados para ser utilizados en la medición de presiones para el banco de pruebas, se debe instalar uno a la entrada del módulo y otro a la salida.

Figura 16. Transductor de presión amplificado con alta linealidad



Fuente: SENSING sensores de medida. Transductor de presión amplificado con alta linealidad AEP TP12. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2xK1JRI>.

A continuación, en el **Cuadro 7.**, se presentan las ventajas y desventajas que presenta esta alternativa de solución:

Cuadro 7. Ventajas y desventajas de implementar el transductor de presión amplificado con alta linealidad

| Ventajas | Desventajas |
|---|--|
| Las medidas arrojadas son más exactas | Son equipos más costosos |
| Disminuye la instrumentación de manómetros manuales | Para que su instalación sea la correcta debe efectuarla el personal adecuado |
| Miden un gran rango de presiones | Generan pequeñas señales |
| Son robustos | Son muy sensibles a los cambios en la temperatura del fluido. |

Fuente: elaboración propia

2.5.2.3 Manómetros digitales. Mediante una pantalla incorporada en un medidor de presión permite que en aplicaciones de tipo industrial se obtengan resultados de medición más precisos, algunos de estos tipos de manómetros también son de tipo portátil -por su facilidad de uso y lectura (Ver **Figura 17.**). También existen manómetros con doble entrada para la medición del diferencial de presión entre dos puntos, se puede evaluar la posibilidad de utilizar uno de tipo diferencial conectado a la entrada y a la salida o un manómetro independiente a la entrada y a la salida que arroje el diferencial de presión, es más fácil de leer que los manómetros de tipo analógico.

Figura 17. Manómetro Digital



Fuente: FEMTO INSTRUMENTS. Manómetro digital. [En línea]. Disponible en: “<https://www.femto.es/manometro-digital>”.

A continuación, en el **Cuadro 8.**, se presentan las ventajas y desventajas que presenta esta alternativa de solución:

Cuadro 8. Ventajas y desventajas de implementar el manómetro digital

| Ventajas | Desventajas |
|--|--|
| La precisión de los valores es mayor ya que calculan el valor promedio | Son de alto costo. |
| Son compactos. | Son más vulnerables a que se descalibren constantemente. |
| Pueden conseguirse equipos en diferentes unidades. | Puede sufrir daños en sobrepresiones. |
| Los resultados son más rápidos que en un manómetro convencional. | La resolución es limitada. |

Fuente: elaboración propia

2.5.3 Elemento para calentar el agua y medir la temperatura del fluido. Para calentar el agua en el banco de pruebas, se llegó a la conclusión que se debe emplear una resistencia conectada a un elemento que permita medir la temperatura y retroalimente a la resistencia, es decir un sistema de control por lazo cerrado; esto porque es bueno tener un buen control de la temperatura al momento de realizar las prácticas en el banco de pruebas para pérdidas de carga.

Entre los criterios que se van a tomar en cuenta para seleccionar el método para calentar el agua y medir la temperatura del fluido se encuentran:

- ✓ Rapidez para calentar el agua.
- ✓ Costo.

- ✓ Vida útil.
- ✓ Confiabilidad.
- ✓ Facilidad para el mantenimiento.

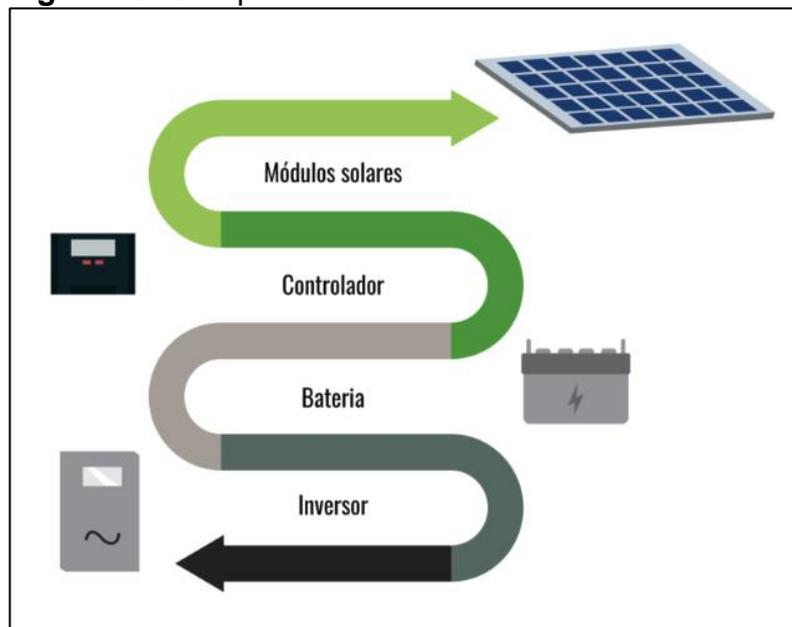
2.5.3.1 Paneles solares. Mediante paneles solares instalados en la locación del laboratorio, se podría emplear la energía solar para calentar el agua en el equipo, sin embargo, la viabilidad de este sistema de calentamiento se ve condicionada a la disponibilidad de energía solar en la zona.

Mediante el calentamiento de agua con paneles solares se necesitarían los siguientes componentes:

- ✓ Modulo solar fotovoltaico.
- ✓ Regulador de carga.
- ✓ Batería.
- ✓ Inversor.
- ✓ Soportes.

A continuación, en la **Figura 18.**, se ilustra con mayor claridad los componentes para el calentamiento del agua del sistema con paneles solares.

Figura 18. Componentes de un sistema solar



Fuente: SUN SUPPLY. Componentes de un sistema de energía solar. Colombia. 17 de julio de 2017. [En línea]. Disponible en: “<https://bit.ly/2Y0YKme>”

A continuación, en el **Cuadro 9.**, se presentan las ventajas y desventajas que presenta esta alternativa de solución:

Cuadro 9. Ventajas y desventajas de implementar los paneles solares

| Ventajas | Desventajas |
|---|--|
| Luego de que se instalan los paneles no hay ninguna inversión adicional | El costo inicial de inversión para aplicar esto es alto |
| Es un sistema muy seguro, más que el uso del gas o la electricidad | Depende de la disponibilidad del sol en la zona para poder usar este sistema |
| A largo plazo se economizan algunos costos como el de electricidad. | Es un método demorado para calentar el agua |
| No genera mayor contaminación al medio ambiente. | Limita la hora de uso del agua calentada. |

Fuente: elaboración propia

2.5.3.2 Resistencias para inmersión. Este sistema de calentamiento de agua es el más común y tradicional que se conoce para el calentamiento de fluidos, en especial el agua, ya que su principio y su sencillo funcionamiento de conexión directa a una fuente eléctrica permite calentamiento de forma muy sencilla. A continuación, en la **Figura 19.** se muestra una resistencia eléctrica para el calentamiento de agua por inmersión.

Figura 19. Resistencia para inmersión



Fuente: ELECTRICFOR. Resistencias para inmersión. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2xN7oWJ>.

A continuación, en el **Cuadro 10.**, se presentan las ventajas y desventajas que presenta esta alternativa de solución:

Cuadro 10. Ventajas y desventajas de implementar una resistencia por inmersión

| Ventajas | Desventajas |
|---|---|
| Permite controlar fácilmente la velocidad a la que se calentara el agua | Usar electricidad para calentar el fluido es más costoso que usar gas |
| Es un sistema seguro | Puede generar lesiones si no se controla su uso. |
| Hay redes eléctricas en muchas zonas | Algunas resistencias eléctricas no cuentan con termocuplas. |
| Calienta el agua rápidamente | |
| Bajo costo. | |

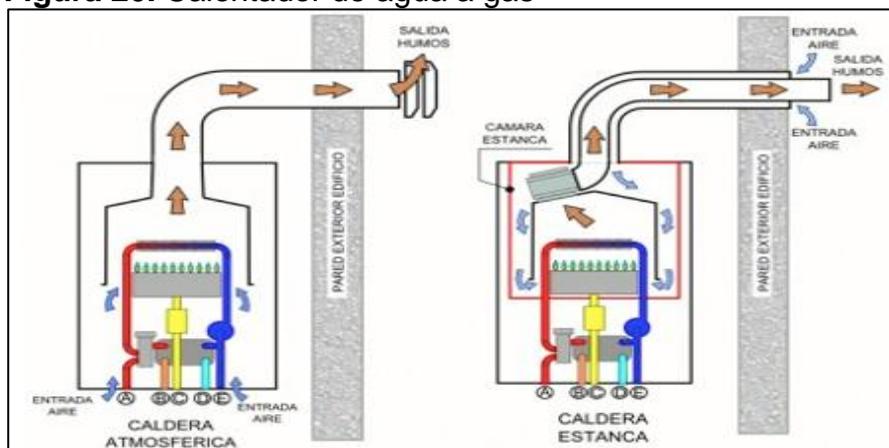
Fuente: elaboración propia

2.5.3.3 Calentador de agua a gas. Otra posible solución para calentar el agua en el sistema, es utilizar un calentador de agua a gas, este equipo tiene la capacidad de calentar el agua a medida que pasa por el sistema, no tiene que acumular el agua como los calentadores de depósito, pero este sistema de calentamiento de agua debe tener una alimentación continua de gas, por lo tanto, hará posible que la llama del calentador permanezca encendida. A través del serpentín donde el agua viaja, calienta el agua que se desplaza hasta su posterior salida a los sistemas hidráulicos donde se requiere.

Este sistema de calentamiento necesita de un sistema de control por lazo cerrado que regule la llama, para mantener la temperatura en el valor deseado, entre las desventajas de este sistema se encuentra que genera gases residuales producto de la combustión.

A continuación, se muestra un calentador de agua a gas de paso continuo, en la **Figura 20.**

Figura 20. Calentador de agua a gas



Fuente: VALCÁRCEL. Calentadores atmosféricos prohibidos. Madrid, España. 13 de abril de 2013. [En línea]. Disponible en: “<https://bit.ly/2NQOBF1>”

A continuación, en el **Cuadro 11.**, se presentan las ventajas y desventajas que presenta esta alternativa de solución:

Cuadro 11. Ventajas y desventajas de implementar un calentador de agua a gas

| Ventajas | Desventajas |
|---|--|
| Es posible regular fácilmente la intensidad de la flama | Es necesario disponer de una conexión a una red de gas natural en el lugar donde se instala el banco |
| Permite calentar el agua en el tanque rápidamente | Puede llegar a ser inseguro para que los estudiantes lo manipulen |
| El costo del gas es menor que el de la electricidad | El costo inicial es más elevado que otros equipos para calentar el agua. |

Fuente: elaboración propia

2.5.4 Elementos para realizar el acople de la tubería modular. Debido a que se va a diseñar un banco de tipo modular, se necesita tener un sistema que permita acoplar y desacoplar fácilmente el módulo del banco, estos acoples deben ser capaces de resistir la temperatura máxima del fluido, la presión de este, resistentes a la erosión, corrosión y oxidación, que no sufran desgaste al desacoplar el módulo y que no generen caídas de presión significativas que afecten las mediciones del banco.

Entre los criterios que se van a tomar en cuenta para realizar el acople de la tubería modular se encuentran:

- ✓ Impermeabilidad.
- ✓ Resistencia a la temperatura.
- ✓ Costo.
- ✓ Vida útil.
- ✓ Rapidez para remplazar la pieza.

2.5.4.1 Acople con tubería roscada. Uno de los tipos de acople para la sección modular de la tubería en el banco de pruebas es mediante teflón en el roscado, este tipo de acople permite una excelente conexión, impidiendo que el fluido se fugue y soportando muy bien las diferentes temperaturas de las pruebas (Ver **Figura 21.**). El mayor problema de este sistema es que aplicar teflón en la tubería toma tiempo, lo que no permitiría cambiar rápidamente el módulo y esto haría que las prácticas con el banco no fueran para nada rápidas.

Figura 21. Roscado de teflón



Fuente: TRAXCO. Usos del teflón. 26 de mayo del 2009. [En línea]. Disponible en: “<https://bit.ly/2JDMFKA>”

A continuación, en el **Cuadro 12.**, se presentan las ventajas y desventajas que presenta esta alternativa de solución:

Cuadro 12. Ventajas y desventajas de implementar acoples con tubería roscada

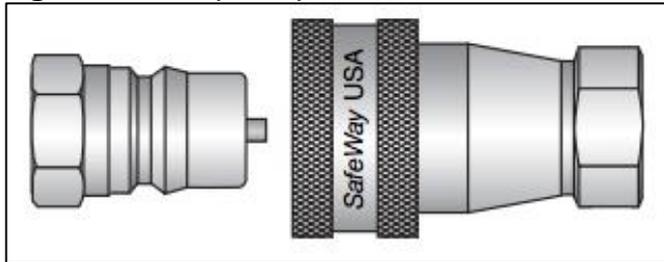
| Ventajas | Desventajas |
|---|---|
| Este sistema presenta pocas fugas | Es demorado para cambiar el módulo de la tubería, ya que es necesario teflonar las conexiones cada vez que se vaya a realizar una unión |
| Su instalación no presenta ningún tipo de riesgo para quien realice el montaje de las tuberías. | Se generan gastos repetitivos de teflón cada vez que se vaya a remplazar el módulo. |
| Su costo es mínimo. | Poco funcional. |

Fuente: elaboración propia

2.5.4.2 Acople Rápido “Racor”. Los acoples rápidos, también conocidos como racores cuya función principal es garantizar la conexión de tuberías para que el flujo de fluidos no presente ningún tipo de fugas (Ver **Figura 22.**). Estos acoples rápidos por lo general son utilizados donde no se contempló algún tipo de conexión adicional o que debido a las condiciones del diseño se debe realizar algún tipo de conexión y el material de la tubería no puede ser reducido o acortado. Por lo general son de tipo industrial o agrícola donde la variación de sus tamaños, materiales y componentes puede variar. Estos acoples incorporan sellado de elastómero con válvulas de asiento cónico para poder transferir presiones superiores.

La mayor ventaja de este tipo de acople es que se puede remplazar rápidamente el módulo en el banco, lo que permitiría que las prácticas con el banco de pruebas sean bastante dinámicas.

Figura 22. Acople rápido



Fuente: SAFEWAY CUSTOM FLUID TRANSFER. Racor. [En línea]. Disponible en: ["https://bit.ly/2JuxIRD"](https://bit.ly/2JuxIRD)

A continuación, en el **Cuadro 13.**, se presentan las ventajas y desventajas que presenta esta alternativa de solución:

Cuadro 13. Ventajas y desventajas de implementar acoples rápidos o racores

| Ventajas | Desventajas |
|---|---|
| Rápido cambio del módulo. | Son más costosos que otro tipo de acople |
| Fácil sistema de operación donde no se necesita mayor esfuerzo para el respectivo cambio de modulo. | A largo tiempo presentan desgaste de los empaques internos. |
| | Generan mayores pérdidas de presión por su mecanismo interno de funcionamiento. |

Fuente: elaboración propia

2.5.4.3 Bridas. Este sistema de unión de tuberías utiliza uniones que son sujetadas y ajustadas por medio de tornillos, este sistema permite realizar el desmontaje de las piezas sin necesidad de utilizar algún método destructivo (Ver **Figura 23.**). Este tipo de uniones permite manejar grandes presiones en el fluido que pasa a través de esta, las pérdidas de presión asociadas a estas bridas son mínimas comparadas con otros tipos de uniones.

Figura 23. Brida Plástica



Fuente: POOLARIA: piscina wellness & garden. Brida con manguito PVC. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2xJ596S>.

A continuación, en el **Cuadro 14.**, se presentan las ventajas y desventajas que presenta esta alternativa de solución:

Cuadro 14. Ventajas y desventajas de implementar bridas

| Ventajas | Desventajas |
|---|--|
| Mayor unión entre las secciones modulares y fijas | Su instalación es demorada, ya que tiene demasiadas uniones de tornillos. |
| Produce menor pérdida de presión. | Puede generar daños en el sistema de tuberías por el montaje y desmontaje de tornillos |

Fuente: elaboración propia

2.5.5 Tanque para almacenar el fluido del banco. Acorde a lo investigado, el tanque debe ser capaz de almacenar un volumen de agua equivalente a cuatro veces la capacidad del circuito hidráulico, debe ser resistente a la corrosión y oxidación que podría llegar a generar el agua, resistente a la variación de la temperatura, debe ser capaz de soportar la presión generada por el agua al estar almacenada en este y debe tener una geometría ideal para garantizar que el tanque no vaya a fallar.

Entre los criterios que se van a tomar en cuenta para seleccionar el tanque para almacenar el fluido del banco se encuentran:

- ✓ Resistencia a la corrosión y oxidación.
- ✓ Resistencia a la temperatura.
- ✓ Tamaño compacto.
- ✓ Aislamiento de la contaminación.
- ✓ Control visual.

2.5.5.1 Tanque de almacenamiento cerrado. Con el uso del tanque de almacenamiento de fluido cerrado, se previene la contaminación, este tipo de tanque solo deberá tener abertura superior de llenado, desagüe inferior y en su preferencia un rebose para que en el momento de llenado no supere el límite deseado (Ver **Figura 24.**).

Figura 24. Tanque de almacenamiento de agua cerrado



Fuente: LEROY MERLÍN. Depósitos de agua. [En línea]. Disponible en: “<https://bit.ly/2XJ2OID>”

A continuación, en el **Cuadro 15.**, se presentan las ventajas y desventajas que presenta esta alternativa de solución:

Cuadro 15. Ventajas y desventajas de implementar un tanque de almacenamiento cerrado

| Ventajas | Desventajas |
|---|--|
| Menor consumo de agua | Imposibilita medir el nivel cuando se daña el sensor de nivel. |
| Menor contaminación del ambiente al agua. | Limita el acceso de descarga del agua en el sistema. |

Fuente: elaboración propia

2.5.5.2 Tanque de almacenamiento abierto. Con un tanque de almacenamiento del fluido de tipo abierto, se pueden presentar contaminaciones del ambiente, este tipo de tanque permite el acceso e instalación de la bomba que se requiera para darle la energía al fluido que recorra todo el sistema, también permite visualizar más fácilmente el nivel del agua en el tanque.

Figura 25. Tanque de almacenamiento de agua abierto



Fuente: JULABO THE TEMPERATURE CONTROL COMPANY. Cubeta transparente resistente hasta 100°C para termostatos de inmersión. [En línea]. Disponible en: “<https://bit.ly/2JvnmvL4>”

A continuación, en el **Cuadro 16.**, se presentan las ventajas y desventajas que presenta esta alternativa de solución:

Cuadro 16. Ventajas y desventajas de implementar un tanque de almacenamiento abierto.

| Ventajas | Desventajas |
|---|--|
| Posibilita revisar el nivel del tanque cuando el sensor de nivel se dañe. | Más fácil de contaminar. |
| Permite una mejor distribución de los descargues de tubería del sistema. | Puede generar derrames de agua a cualquier tipo de movimientos que se le genere. |

Fuente: elaboración propia

2.5.6 Tipo de válvulas en cada una de las diferentes aberturas del tanque.

El tanque donde se va a almacenar el agua va a contar con cuatro aberturas, una para la entrada del agua desde el sistema de alcantarillado, otra para la salida de agua hacia la bomba, el retorno de agua al tanque después de recorrer el circuito y finalmente, el sistema de desagüe para vaciar el tanque, esto para evitar que el agua se pudra debido a un periodo de almacenamiento muy largo.

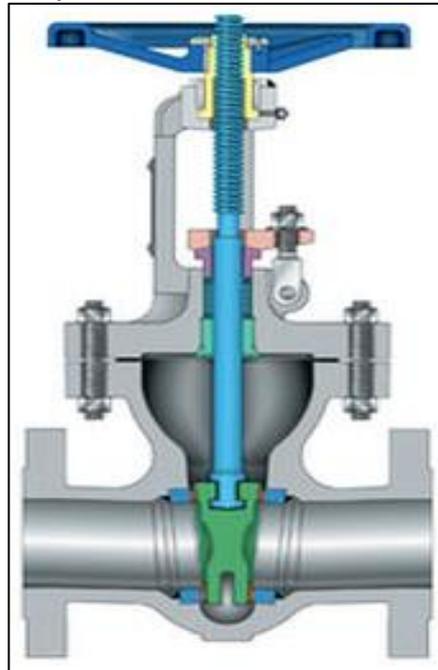
Entre los criterios que se van a tomar en cuenta para seleccionar el tipo de válvula en cada una de las diferentes aberturas del tanque se encuentran:

- ✓ Resistencia a la corrosión y oxidación.
- ✓ Resistencia a la temperatura.

- ✓ Tamaño compacto.
- ✓ Aislamiento de la contaminación.
- ✓ Control visual.

2.5.6.1 Válvula de compuerta. Es un tipo de válvula que se caracteriza porque genera un cierre de tajadera y volante, cuando está abierta genera una baja pérdida de carga, cuando está cerrada genera una buena estanqueidad, es muy útil en aplicaciones donde se desea cerrar totalmente el paso de fluido o abrirlo totalmente, no es buena para regular por esta misma razón, necesita de un par alto para poder realizar su accionamiento y finalmente no se visualiza su posición, este tipo de válvula se presenta en la **Figura 26**.

Figura 26. Válvula de compuerta



Fuente: VELAN. Válvula de compuerta. [En línea]. Disponible en: <https://www.directindustry.es/product/velan/product-24371-851409.html>.

A continuación, en el **Cuadro 17.**, se presentan las ventajas y desventajas que presenta esta alternativa de solución:

Cuadro 17. Ventajas y desventajas de implementar una válvula limitadora de presión

| Ventajas | Desventajas |
|---|---|
| Genera un cierre tajante y hermético | No es una buena opción si se desea regular el flujo |
| Cuando está abierta genera una baja pérdida de carga | Necesita de un par torsional alto para accionarla |
| Útil en aplicaciones en donde se necesita cerrar o abrir totalmente el paso de fluido | No es posible visualizar la posición de la válvula |

Fuente: elaboración propia

2.5.6.2 Válvula de mariposa. Se caracteriza por generar un cierre por medio de un disco giratorio, cuando tiene una apertura de 90° está abierta y cuando tiene una apertura de 0° está cerrada, presenta riesgo en caso de que se necesite ejecutar una maniobra rápida, cuando se encuentra abierta genera una baja pérdida de carga, tiene buen precio cuando el diámetro es mayor que 300 mm, necesita un par bajo para su accionamiento y es posible visualizar fácilmente su posición en su accionamiento (Ver **Figura 27.**).

Figura 27. Válvula Mariposa



Fuente: DIRECT INDUSTRY. Catálogo de válvula de mariposa con actuador eléctrico. Consultado el 10 de Julio del 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.directindustry.es/prod/ebro-armaturen-gebr-broeer-gmbh/product-7410-1415975.html>.

A continuación, en el **Cuadro 18.**, se presentan las ventajas y desventajas que presenta esta alternativa de solución:

Cuadro 18. Ventajas y desventajas de implementar una válvula de mariposa

| Ventajas | Desventajas |
|---|--|
| Permite bloquear la totalidad del fluido. | Presenta riesgo en caso de que sea necesario ejecutar una maniobra rápida |
| Permite realizarle un fácil y sencillo mantenimiento. | Perdidas de presión debido a que parte de la válvula se presenta al flujo. |
| Permite restringir el paso de un fluido parcialmente. | |

Fuente: elaboración propia

2.5.6.3 Válvula de bola: Este tipo de válvula se caracteriza porque posee un cierre esférico giratorio, presenta un riesgo de maniobrabilidad rápida, tiene una excelente estanqueidad, posee un buen precio para diámetros menores a 50 mm, cuando se encuentra abierta genera una baja pérdida de carga, maneja mejor la cavitación que la válvula de compuerta y finalmente, es posible visualizar su posición en base a su palanca de accionamiento (Ver **Figura 28.**).

Figura 28. Válvula de bola



Fuente: IMPOVAR. Válvula bola. Consultado el 10 de Julio del 2019. [En línea]. Disponible en: http://www.impovar.cl/tienda/index.php?id_product=5377&controller=product

A continuación, en el **Cuadro 19.**, se presentan las ventajas y desventajas que presenta esta alternativa de solución:

Cuadro 19. Ventajas y desventajas de implementar una válvula de bola

| Ventajas | Desventajas |
|---|---|
| No son de elevado costo. | El desgaste de empaques es alto. |
| Tienen cierre hermético. | Es vulnerable a que se presente cavitación. |
| Ventajas | Desventajas |
| Permite que la circulación del fluido sea lineal. | Alta torsión para poder accionarla. |

Fuente: elaboración propia

2.5.7 Diámetro del circuito de la tubería. Para el diseño del banco se utilizará un diámetro de tubería uniforme, la principal restricción para seleccionar el diámetro de tubería del banco es que, dependiendo del diámetro seleccionado, la longitud del módulo cambiará, para que al momento que el fluido recorra el banco se generen pérdidas de carga apreciables.

Por solicitud de la empresa (Calibration Service S.A.S.), se determinó que el diámetro de la tubería debe ser de 1", esto con el propósito de contar con un banco con unas dimensiones no tan grandes, ya que, con una tubería de mayor diámetro, se necesita de una longitud mayor para poder registrar las pérdidas de carga.

2.5.8 Estructura a utilizar para soportar el banco para pérdidas de carga. En cuanto al tipo de estructura, se debe seleccionar una configuración que resista la carga generada por los elementos ubicados en la parte superior del banco considerando que se encuentre el sistema cargado de agua, que sea resistente a la corrosión y a la oxidación considerando el ambiente en donde se va a ubicar esta y que no supere las condiciones mínimas establecidas.

Entre los criterios que se van a tomar en cuenta para seleccionar el tipo de estructura a utilizar para soportar el banco para pérdidas de carga se encuentran:

- ✓ Tamaño.
- ✓ Resistencia a la oxidación y corrosión.
- ✓ Resistencia al cambio de temperatura.
- ✓ Facilidad de instalación.
- ✓ Facilidad de mantenimiento.

2.5.8.1 Estructura Vertical. Mediante la estructura de tipo vertical se puede ensamblar y trabajar el sistema hidráulico para el banco de pruebas, este tipo de orientación permite disponer de menos espacio donde se planeó ubicar, los bancos de pruebas por lo general son de este tipo.

A continuación, en el **Cuadro 20.**, se presentan las ventajas y desventajas que presenta esta alternativa de solución:

Cuadro 20. Ventajas y desventajas de implementar una estructura vertical

| Ventajas | Desventajas |
|---|---|
| Ocupa menos espacio donde se ubique el banco de pruebas | Los equipos deben estar sujetos, lo cual produce desgaste y desajuste de los accesorios. |
| Más fácil la operación del banco de pruebas. | Las personas de estatura baja pueden tener problemas para operar las partes más altas del banco de pruebas. |

Fuente: elaboración propia

2.5.8.2 Estructura Horizontal. Con una estructura de tipo horizontal se limita el espacio de ubicación del equipo ya que ocupará un poco más de espacio que de tipo vertical. Con un diseño de tipo horizontal se puede distribuir de mejor manera los equipos para que sea más fácil realizar las prácticas de laboratorio y su respectivo mantenimiento.

A continuación, en el **Cuadro 21.**, se presentan las ventajas y desventajas que presenta esta alternativa de solución:

Cuadro 21. Ventajas y desventajas de implementar una estructura horizontal

| Ventajas | Desventajas |
|---|--|
| Mejor distribución de los accesorios del banco de pruebas | Ocupa más espacio donde se ubique el equipo. |
| Personas de estatura baja pueden trabajar mejor en este equipo. | Puede presentar mayores deformaciones en la estructura comparado con la estructura de tipo vertical. |
| Menor desajuste de los accesorios del banco de pruebas. | Requiere de mayor cuidado de los equipos instalados en el equipo. |

Fuente: elaboración propia.

2.5.9 Materiales de tuberías que puedan resistir la variación de temperatura.

Se debe garantizar que el material seleccionado de la tubería sea capaz de soportar las variaciones de temperatura, resistente a la corrosión y oxidación y es muy importante utilizar materiales que tengan aplicaciones industriales.

Entre los criterios que se van a tomar en cuenta para seleccionar el material de tuberías que puedan resistir la variación de temperatura para el banco exceptuando el módulo se encuentran:

- ✓ Resistencia a la corrosión y oxidación.
- ✓ Resistencia al cambio de temperatura.
- ✓ Facilidad para el mantenimiento
- ✓ Menores pérdidas por fricción
- ✓ Capacidad de resistir presión

2.5.9.1 Tubería de cobre. La tubería de cobre es comúnmente utilizada para sistemas hidráulicos donde es conveniente para el uso de fluidos tanto calientes como fríos, su fácil instalación, su gran durabilidad y la protección de los fluidos hace que sean un material muy común para el transporte de fluidos (Ver **Figura 29.**).

Figura 29. Tubería de cobre



Fuente: PROGRAMA CASA SEGURA. Consultado el 10 de Julio del 2019. [En línea]. Disponible en: <http://programacasasegura.org/mx/el-cobre-por-un-tubo/>.

A continuación, en el **Cuadro 22.**, se presentan las ventajas y desventajas que presenta esta alternativa de solución:

Cuadro 22. Ventajas y desventajas de implementar una tubería de cobre

| Ventajas | Desventajas |
|--|--|
| Resistente a la corrosión. | Difícil reparación. |
| De muy buena seguridad | Precio alto. |
| Permite manejar elevadas temperaturas del fluido | Puede tener roturas con temperatura baja |

Fuente: elaboración propia

2.5.9.2 Tubería CPVC. Es el tipo de tubería más utilizado en el mercado para el transporte de fluidos, incluido los fluidos calientes. El CPVC es una variación del Policloruro de Vinilo que es sometido a una reacción llamada Cloración de Radicales Libres. Sus características físicas permiten que sea de fácil uso para diferentes escenarios, fácil soldadura y deformación, así mismo puede trabajar a temperaturas hasta de 90° C (Ver **Figura 30.**).

Figura 30. Tubería CPVC



Fuente: MEXICHEN. Tubería CPVC. Consultado el 10 de Julio del 2019 <http://www.mexichemcompuestos.com/casos-de-estudio/construccion-e-infraestructura/compuestos-cpvc-para-tuber-as-de-agua-caliente/3364/>

A continuación, en el **Cuadro 23.**, se presentan las ventajas y desventajas que presenta esta alternativa de solución:

Cuadro 23. Ventajas y desventajas de implementar una tubería de CPVC

| Ventajas | Desventajas |
|-------------------------------------|--|
| No tiene mayores pérdidas de carga. | Se pueden romper fácilmente. |
| Requiere menor mantenimiento. | A muy altas temperaturas pierde resistencia. |
| Fácil instalación. | Pueden sufrir alteraciones a altas temperaturas. |

Fuente: elaboración propia.

2.5.9.3 Tubería galvanizada. Tubería metálica con el proceso de galvanizado es aún utilizada para sistemas hidráulicos, donde el proceso de galvanizado lo que hace es recubrir toda la tubería con capas de Zinc, esto permite que no se produzca oxidación al exponerse al oxígeno. La tubería galvanizada permite también utilizar temperaturas de fluidos aún mayores que las soportadas por el CPVC y presiones más altas (Ver **Figura 31.**).

Figura 31. Tubería Galvanizada



Fuente: LAMINAS Y ACEROS. Tubería Galvanizada. Consultado el 2 de Julio del 2019. [En línea]. Disponible en: "<https://blog.laminasyaceros.com/blog/tuber%C3%ADa-de-acero>"

A continuación, en el **Cuadro 24.**, se presentan las ventajas y desventajas que presenta esta alternativa de solución:

Cuadro 24. Ventajas y desventajas de implementar una tubería galvanizada.

| Ventajas | Desventajas |
|---------------------------|---|
| Fácil inspección | Presenta corrosión interna con el tiempo. |
| Resiste alta temperaturas | Contamina el agua. |
| Precio bajo | |

Fuente: elaboración propia

Finalmente, para concluir se presenta una matriz morfológica que sirve como resumen, para mostrar los diferentes componentes que pueden suplir cada una de las características que necesita el banco, además es un paso previo a realizar la selección de componentes para el banco de pruebas para determinar las pérdidas de carga.

2.5.10 Sistema para el control de nivel para el tanque. En caso de que se decida implementar una bomba o el tanque elevado en el banco de pruebas, será necesario contar con un control de nivel que evite que el fluido baje o suba de cierto nivel. Entre las diferentes opciones a considerar para mantener un control del nivel tanque se encuentran:

2.5.10.1 Medidor de nivel de flotador. Consiste en un flotador que se ubica en el líquido y conectado al exterior del tanque indicando directamente el nivel sobre una escala graduada. Es el modelo más antiguo y es utilizado ampliamente en tanques de enorme capacidad como pueden ser los tanques de gasolina y de

petróleo. Tiene el inconveniente de que las partes móviles están expuestas al fluido y pueden romperse, además el flotador debe mantenerse limpio (Ver **Figura 32.**).

Figura 32. Medidor de nivel de fluido por medio de un flotador



Fuente: DirectIndustry. Sensores de nivel de flotadores. 2019. [En línea]. Disponible en: “<https://bit.ly/2MdwPbm>”

Vale la pena resaltar que, en estos instrumentos, el flotador puede tener formas diversas y estar formados por distintos tipos de materiales según el tipo de fluido y las características de este. Los instrumentos de este tipo tienen un grado de precisión de 0.5%. Son adecuados para medir niveles en tanques cerrados, abiertos, a vacío o a presión, y son independientes del peso específico del líquido contenido. Por otra parte, el flotador podría llegar a agarrotarse en el tubo guía por un eventual depósito de los sólidos o cristales que el líquido pueda contener y, además, los tubos guías muy largos pueden dañarse ante olas bruscas en la superficie del líquido o ante la caída violenta del líquido en el estanque.

2.5.10.2 Medidor de nivel manométrico. Este consiste en un manómetro conectado directamente a la sección inferior del tanque. Este equipo mide la presión debida a la altura de líquido h que existe entre el eje del instrumento y el nivel del tanque. Por esta razón, el rango de medida del instrumento corresponderá a:

Ecuación 21. Cálculo de la presión manométrica en el tanque

$$P_H = \rho * g * h$$

Fuente: Ejemplode. Presión Manométrica. 2018. [En línea]. Disponible en: “<https://bit.ly/2MfS1wU>”

Como las alturas son limitadas, el rango de medida es pequeño, de modo que el manómetro que se emplea tiene un elemento de medida del tipo fuelle.

El instrumento solo se puede emplear en fluidos limpios, esto se refiere a ningún tipo de mezcla ya que, si el líquido llega a ser corrosivo, coagula o tiene presencia de sólidos en suspensión, el fuelle puede bloquearse perdiendo su elasticidad o destruirse; por otro lado, como el rango de medida es pequeño no es posible utilizar sellos de diafragma. La medida está limitada exclusivamente a tanques abiertos y el nivel viene influido por las variaciones de la densidad en el líquido.

2.5.10.3 Medidor de nivel ultrasónico. Se basa en la emisión de una onda ultrasónica a una superficie de tipo reflectante y la recepción del eco del mismo en un receptor. El retardo en la captación del eco depende del nivel del fluido en el tanque (Ver **Figura 33.**).

La precisión de esta clase de instrumentos es del orden de +/- 1 a 3 %. Son adecuados para todo tipo de líquidos y tanques pudiendo construirse a prueba de explosión. Presentan el problema de ser bastante sensibles a la densidad de los fluidos y de dar señales erróneas cuando la superficie del nivel de líquido no es muy clara como es el caso de líquidos que forman espuma, ya que se producen falsos ecos de los ultrasonidos. La implementación de una computadora permite, a través de un programa, almacenar el perfil ultrasónico del nivel, y así tener en cuenta las características particulares en la superficie del líquido, tal como la espuma, con lo cual se mejora significativamente la precisión de la medida.

Figura 33. Medidor de nivel ultrasónico



Fuente: Equitrol, Equipos de Control. Medidor de nivel ultrasónico ZMICROFLEX (Opción ATEX). [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/35axltj>

A continuación, en el **Cuadro 25.**, se presenta una matriz morfológica de cada una de las alternativas que podría suplir cada una de las funciones del banco.

Cuadro 25. Matriz Morfológica

| Funciones | Alternativas | | |
|---|-----------------------------------|--|----------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Métodos para suministrar energía al fluido | Tanque elevado | Bomba hidráulica | Alimentación directa |
| Elementos para medir la presión | Manómetro diferencial | Transductor de presión amplificado con alta linealidad | Manómetros digitales |
| Elementos para calentar el agua y medir la temperatura del fluido | Calentamiento por paneles solares | Resistencias eléctricas por inmersión | Calentador de agua a gas |
| Elementos para realizar el acople de la tubería modular | Acople con tubería roscada | Acople rápido (racor) | Bridas |
| Tanque para almacenar el fluido del banco | Tanque de almacenamiento abierto | Tanque de almacenamiento cerrado | |
| Tipo de válvulas en cada una de las diferentes aberturas del tanque | Válvula de compuerta | Válvula de mariposa | Válvula de bola |
| Estructura utilizada para soportar el banco | Estructura horizontal | Estructura vertical | Mesa |
| Materiales para la tubería | Cobre | CPVC | Galvanizado |
| Sistema para el control de nivel del tanque | Medidor de nivel de flotador | Medidor de nivel manométrico | Medidor de nivel por ultrasonido |

Fuente: elaboración propia

2.6 SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA DEL BANCO DE PRUEBAS DE PÉRDIDAS DE CARGA

Para realizar la selección de la mejor alternativa de diseño, se usará el método PUGH, antes de realizar la selección de cada uno de los componentes del banco en la siguiente sección se explicará en que consiste este método.

2.6.1 La Matriz de PUGH para la Toma de Decisiones. Al momento de seleccionar alternativas es muy importante dejar de lado la subjetividad. Para conseguir esto existen una gran cantidad de técnicas para conseguir ser objetivo al momento de tomar decisiones. Una de estas es denominada la matriz de PUGH, debido a su creador: el inglés Stuart Pugh. Este fue un reconocido ingeniero de diseño, responsable de acuñar el término que se conoce actualmente como diseño total. Esta es la actividad consecutiva necesaria que va desde el momento en el que se identifica la necesidad del usuario o el mercado, hasta la comercialización exitosa del producto o servicio para satisfacerla. El diseño total es una actividad que abarca productos, procesos, personas e incluso organizaciones²⁰.

La matriz PUGH es una herramienta de tipo cualitativa que permite realizar comparaciones entre diferentes opciones por medio de un arreglo multidimensional (matriz de decisiones). Su aplicación más típica es durante la fase de diseño de un producto, ya sea una actualización de un producto existente o uno completamente nuevo. El primer paso consiste en realizar una identificación de los criterios que serán evaluados, estos son básicamente las necesidades del cliente, estos son ubicados normalmente como filas pertenecientes a la matriz, a continuación, se deben especificar los probables conceptos de diseño que apunten al cumplimiento de los criterios definidos, estos aparecerán en las columnas de la matriz²¹.

En general, se implementa la matriz de PUGH cuando se desea realizar una mejora a un producto que existe previamente. El diseño actual del producto en este caso se toma como una referencia, el cual aparece como una columna sobre la que se realizarán las posteriores comparaciones. A través del uso de técnicas grupales como la lluvia de ideas se irán evaluando cada criterio para cada una de las alternativas de diseño comparándolo con el diseño de referencia, la situación actual²².

²⁰ SEJZER, R. La matriz PUGH para la toma de decisiones. Calidad Total. 2016. [En línea]. Disponible en: "<https://bit.ly/2xs7keB>"

²¹ Ibid.

²² Ibid.

Figura 34. Matriz PUGH con criterios y alternativas de diseño

| | | CONCEPTOS (Alternativas de diseño) | | | | | | |
|-----------|------------|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | Referencia | Diseño 1 | Diseño 2 | Diseño 3 | Diseño 4 | Diseño 5 | Diseño 6 |
| CRITERIOS | Criterio 1 | REF | | | | | | |
| | Criterio 2 | REF | | | | | | |
| | Criterio 3 | REF | | | | | | |
| | Criterio 4 | REF | | | | | | |
| | Criterio 5 | REF | | | | | | |

Fuente: SEJZER, R. La matriz PUGH para la toma de decisiones. Calidad Total. 2016. [En línea]. Disponible en: “<https://bit.ly/2xs7keB>”

La mecánica consiste en lo siguiente: a partir de la primera alternativa de diseño se analiza criterio por criterio si su cumplimiento es superior, igual o inferior al diseño actual. Si es superior se le asigna un signo “+” a la casilla, si es igual un “0” y si es inferior un signo “- “. Para una mayor comodidad, se suelen utilizar los números +1, 0 y -1 respectivamente ya que permiten operar fácilmente en las hojas de cálculo. Esta nomenclatura se implementará a partir de ahora. Una vez se ha completado toda la tabla, se realiza la suma de cada columna para cada una de las alternativas de diseño. La alternativa que obtenga un resultado más elevado, producto de la suma entre positivos, neutralidades y negativos, será la mejor solución²³.

A continuación, se presenta un ejemplo para ilustrar lo que se ha presentado anteriormente:

Suponiendo que se tiene una empresa que fabrica calzado deportivo, se determina que existen cinco criterios fundamentales que influyen de forma directa en la satisfacción del cliente²⁴:

- ✓ El peso del calzado.
- ✓ Diseño anatómico.
- ✓ La duración de la suela.
- ✓ La disponibilidad de colores.
- ✓ El precio.

Para mejorar el modelo que se comercializa actualmente, se propusieron seis alternativas de diseño innovadoras. El grupo de trabajo empieza a trabajar y a comparar cada una de las alternativas criterio a criterio²⁵. Todos los datos de la comparación se vuelcan en la tabla:

²³ Op. cit. La matriz PUGH para la toma de decisiones. Calidad Total. 2016. [En línea]. Disponible en: “<https://bit.ly/2xs7keB>”

²⁴ Op. cit. La matriz PUGH para la toma de decisiones. Calidad Total. 2016. [En línea]. Disponible en: “<https://bit.ly/2xs7keB>”

²⁵ Op. cit. La matriz PUGH para la toma de decisiones. Calidad Total. 2016. [En línea]. Disponible en: “<https://bit.ly/2xs7keB>”

Figura 35. Ejemplo PUGH comparación de alternativas

| | | CONCEPTOS (Alternativas de diseño) | | | | | | |
|--------------------|---------------------------|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | Referencia | Diseño 1 | Diseño 2 | Diseño 3 | Diseño 4 | Diseño 5 | Diseño 6 |
| CRITERIOS | Peso del calzado | REF | -1 | -1 | -1 | 1 | -1 | -1 |
| | Diseño anatómico | REF | 0 | 1 | 1 | -1 | 0 | 1 |
| | Duración de suela | REF | 1 | 0 | 1 | -1 | 1 | -1 |
| | Disponibilidad de colores | REF | -1 | -1 | 0 | 1 | -1 | 0 |
| | Precio | REF | 1 | -1 | 1 | -1 | 0 | 1 |
| Suma positivos (+) | | | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 |
| Suma negativos (-) | | | 2 | 3 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| SUMA GENERAL | | | 0 | -2 | 2 | -1 | -1 | 0 |

Fuente: SEJZER, R. La matriz PUGH para la toma de decisiones. Calidad Total. 2016. [En línea]. Disponible en: “<https://bit.ly/2xs7keB>”

Si se observa en la **Figura 35**, por ejemplo, la alternativa de diseño 3 es una mejor solución con respecto al tema del peso del calzado que el resto de alternativas y que el modelo de calzado que se implementa actualmente, sin embargo, su diseño no es tan anatómico, el precio empeora y la suela no dura tanto. Al realizar el balance entre aspectos positivos, neutros y negativos de cada una de las alternativas se concluye que el diseño #3 es el más acertado²⁶.

Se supondrá que no todos los criterios de diseño poseen el mismo impacto sobre la percepción del cliente sobre el producto. Puede ser que la disponibilidad de colores no sea tan crítica como la duración de la suela o el precio. En este tipo de casos, y generalmente es así, se debe realizar una ponderación a cada criterio para que el impacto de cada comparación no posea el mismo peso, es decir; que no sea lo mismo hablar de un criterio crítico que de uno que posee poca importancia²⁷. Volvemos al ejemplo, agregando una columna de peso para cada criterio:

²⁶ Op. cit. La matriz PUGH para la toma de decisiones. Calidad Total. 2016. [En línea]. Disponible en: “<https://bit.ly/2xs7keB>”

²⁷ Op. cit. La matriz PUGH para la toma de decisiones. Calidad Total. 2016. [En línea]. Disponible en: “<https://bit.ly/2xs7keB>”

Figura 36. Ejemplo PUGH asignando el peso a cada criterio

| CRITERIOS | Peso | CONCEPTOS (Alternativas de diseño) | | | | | | |
|---------------------------|------|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | Referencia | Diseño 1 | Diseño 2 | Diseño 3 | Diseño 4 | Diseño 5 | Diseño 6 |
| Peso del calzado | 2 | REF | -1 | -1 | -1 | 1 | -1 | -1 |
| Diseño anatómico | 2 | REF | 0 | 1 | 1 | -1 | 0 | 1 |
| Duración de suela | 3 | REF | 1 | 0 | 1 | -1 | 1 | -1 |
| Disponibilidad de colores | 0,5 | REF | -1 | -1 | 0 | 1 | -1 | 0 |
| Precio | 1 | REF | 1 | -1 | 1 | -1 | 0 | 1 |
| Suma positivos (+) | | | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 |
| Suma negativos (-) | | | 2 | 3 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| SUMA GENERAL | | | 0 | -2 | 2 | -1 | -1 | 0 |

Fuente: SEJZER, R. La matriz PUGH para la toma de decisiones. Calidad Total. 2016. [En línea]. Disponible en: “<https://bit.ly/2xs7keB>”

Aplicando el peso a cada uno de los criterios, obtenemos la tabla ponderada:

Figura 37. Ejemplo PUGH suma ponderada y ranking

| | Diseño 1 | Diseño 2 | Diseño 3 | Diseño 4 | Diseño 5 | Diseño 6 |
|---------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Peso del calzado | -2 | -2 | -2 | 2 | -2 | -2 |
| Diseño anatómico | 0 | 2 | 2 | -2 | 0 | 2 |
| Duración de suela | 3 | 0 | 3 | -3 | 3 | -3 |
| Disponibilidad de colores | -0,5 | -0,5 | 0 | 0,5 | -0,5 | 0 |
| Precio | 1 | -1 | 1 | -1 | 0 | 1 |
| SUMA PONDERADA | 1,5 | -1,5 | 4 | -3,5 | 0,5 | -2 |
| RANKING | 2 | 4 | 1 | 6 | 3 | 5 |

Fuente: SEJZER, R. La matriz PUGH para la toma de decisiones. Calidad Total. 2016. [En línea]. Disponible en: “<https://bit.ly/2xs7keB>”

En este ejemplo, la alternativa de diseño 3 vuelve a ser la mejor solución. Pero podría no serlo, ponderar los criterios puede hacer que la mejor alternativa varié.

La matriz PUGH funciona como una versión simplificada al extremo de la técnica conocida como QFD (Quality Function Deployment), el que consiste en implementar las demandas por parte de los clientes en el diseño de algún producto o servicio.

2.6.2 Aplicación de la matriz PUGH para seleccionar la mejor alternativa para cada una de las funciones del banco. A continuación, se presentan los cuadros en los que se realizó la selección de cada una de las alternativas divididas por función, los criterios utilizados son los que se presentaron anteriormente. La alternativa con el puntaje más alto es la que es considerada

más viable, por lo tanto, es la que se implementará en el diseño detallado banco de pruebas²⁸.

2.6.2.1 Calificación de peso para criterios de selección. A continuación, se muestra la asignación de valores para la calificación de los criterios de selección.

Cuadro 26. Asignación de valores

| Peso de Calificación | Asignación de Valor |
|----------------------|---|
| 0 | No cumple o no es necesario para el diseño |
| 1 | Se puede utilizar en el diseño |
| 2 | Cumple con los requerimientos mínimos del diseño |
| 3 | Es necesario para el diseño |
| 4 | Cumple a cabalidad con el diseño |
| 5 | Cumple satisfactoriamente con el diseño con algún valor agregado. |

Fuente: SEJZER, R. La matriz PUGH para la toma de decisiones. Calidad Total. 2016. [En línea]. Disponible en: “<https://bit.ly/2xs7keB>”

2.6.2.2 Selección del método para suministrar energía al fluido.

Cuadro 27. Método para suministrar energía al fluido información suministrada

| Método para suministrar energía al fluido | | | | |
|---|--------------|------------------------------------|------------------|----------------------|
| CRITERIOS | Peso (0 @ 5) | CONCEPTOS (Alternativas de diseño) | | |
| | | Tanque elevado | Bomba hidráulica | Alimentación directa |
| Ahorro de agua | 2 | -1 | 1 | -1 |
| Costo | 4 | 0 | 1 | -1 |
| Control de la presión | 5 | 1 | 1 | -1 |
| Resistencia al aumento de la temperatura | 4 | 1 | 1 | 0 |
| Seguridad | 3 | -1 | 0 | 0 |
| Confiabilidad | 4 | 0 | 1 | -1 |
| Facilidad para el mantenimiento | 3 | 0 | 0 | 1 |
| Suma positivos (+) | | 2 | 5 | 1 |
| Suma negativos (-) | | 2 | 0 | 4 |
| SUMA GENERAL | | 0 | 5 | -3 |

Fuente: elaboración propia

²⁸ Op. cit. La matriz PUGH para la toma de decisiones. Calidad Total. 2016. [En línea]. Disponible en: “<https://bit.ly/2xs7keB>”

Cuadro 28. Método para suministrar energía al fluido resultado obtenido

| Método para suministrar energía al fluido (TABLA PONDERADA) | | | |
|--|---|-------------------------|-----------------------------|
| CRITERIOS | CONCEPTOS (Alternativas de diseño) | | |
| | Tanque elevado | Bomba hidráulica | Alimentación directa |
| Ahorro de agua | -2 | 2 | -2 |
| Costo | 0 | 4 | -4 |
| Control de la presión | 5 | 5 | -5 |
| Resistencia al aumento de la temperatura | 4 | 4 | 0 |
| Seguridad | -3 | 0 | 0 |
| Confiabilidad | 0 | 4 | -4 |
| Facilidad para el mantenimiento | 0 | 0 | 3 |
| SUMA PONDERADA | 4 | 19 | -12 |
| RANKING | 2 | 1 | 3 |

Fuente: elaboración propia

Posterior al análisis PUGH realizado para determinar cuál es el método que se va a usar para suministrar energía al fluido, en base al análisis (Referirse al **Cuadro 27.** y al **Cuadro 28.**) se determinó que la mejor opción es emplear una bomba hidráulica en el banco de pruebas.

2.6.2.3 Selección de los elementos para medir la presión

Cuadro 29. Elementos para medir la presión información suministrada

| Elementos para medir la presión | | | | |
|--|-------------|---|---|--------------------------|
| CRITERIOS | Peso | CONCEPTOS (Alternativas de diseño) | | |
| | | Manómetro diferencial | Transductor de presión amplificado con alta linealidad | Manómetro digital |
| Resolución del instrumento | 5 | 0 | 0 | 1 |
| Resistencia a la temperatura | 4 | 1 | -1 | -1 |
| Costo | 3 | 1 | -1 | 0 |
| Seguridad | 3 | 0 | 0 | 0 |
| Vida útil | 3 | 0 | 0 | 0 |
| Confiabilidad | 3 | 0 | 0 | 1 |
| Facilidad para el mantenimiento | 4 | 0 | 0 | 0 |
| Suma positivos (+) | | 2 | 0 | 2 |
| Suma negativos (-) | | 0 | 2 | 1 |
| SUMA GENERAL | | 2 | -2 | 1 |

Fuente: elaboración propia

Cuadro 30. Elemento para medir la presión resultado obtenido

| Elementos para medir la presión (TABLA PONDERADA) | | | |
|--|---|---|--------------------------|
| CRITERIOS | CONCEPTOS (Alternativas de diseño) | | |
| | Manómetro diferencial | Transductor de presión amplificado con alta linealidad | Manómetro digital |
| Resolución del instrumento | 0 | 0 | 5 |
| Resistencia a la temperatura | 4 | -4 | -4 |
| Costo | 3 | -3 | 0 |
| Seguridad | 0 | 0 | 0 |
| Vida útil | 0 | 0 | 0 |
| Confiabilidad | 0 | 0 | 3 |
| Facilidad para el mantenimiento | 0 | 0 | 0 |
| SUMA PONDERADA | 7 | -7 | 4 |
| RANKING | 1 | 3 | 2 |

Fuente: elaboración propia

Posterior al análisis PUGH realizado para determinar cuál es el elemento que se va a usar para medir la presión, en base al análisis (Referirse al **Cuadro 29.** y al **Cuadro 30.**) se determinó que la mejor opción es emplear un manómetro diferencial en el banco de pruebas.

2.6.2.4 Selección del elemento para calentar el agua y medir la temperatura del fluido

Cuadro 31. Elemento para calentar el agua y medir la temperatura del fluido información suministrada

| Elemento para calentar el agua y medir la temperatura del fluido | | | | |
|---|-------------|---|--------------------------------|-------------------------|
| CRITERIOS | Peso | CONCEPTOS (Alternativas de diseño) | | |
| | | Paneles Solares | Resistencias eléctricas | Calentador a gas |
| Rapidez para calentar el agua | 4 | -1 | 1 | 0 |
| Costo | 3 | -1 | 0 | -1 |
| Vida útil | 4 | 0 | 0 | 0 |
| Seguridad | 5 | 1 | 0 | 0 |
| Confiabilidad | 4 | 0 | 0 | 0 |
| Facilidad para el mantenimiento | 3 | -1 | 0 | 0 |
| Suma positivos (+) | | 1 | 1 | 0 |
| Suma negativos (-) | | 2 | 0 | 1 |
| SUMA GENERAL | | -2 | 1 | -1 |

Fuente: elaboración propia

Cuadro 32. Elemento para calentar el agua y medir la temperatura del fluido resultado obtenido

| Elemento para calentar el agua y medir la temperatura del fluido (TABLA PONDERADA) | | | |
|---|---|--------------------------------|-------------------------|
| CRITERIOS | CONCEPTOS (Alternativas de diseño) | | |
| | Paneles Solares | Resistencias eléctricas | Calentador a gas |
| Rapidez para calentar el agua | -4 | 4 | 0 |
| Costo | -3 | 0 | -3 |
| Vida útil | 0 | 0 | 0 |
| Seguridad | 5 | 0 | 0 |
| Confiabilidad | 0 | 0 | 0 |
| Facilidad para el mantenimiento | -3 | 0 | 0 |
| SUMA PONDERADA | -5 | 4 | -3 |
| RANKING | 3 | 1 | 2 |

Fuente: elaboración propia

Posterior al análisis PUGH realizado para determinar cuál es el elemento que se va a usar para calentar el agua y medir la temperatura del fluido, en base al análisis (Referirse al **Cuadro 31.** y al **Cuadro 32.**) se determinó que la mejor opción es emplear una resistencia eléctrica y una termocupla para medir la temperatura en el banco de pruebas.

2.6.2.5 Selección del elemento para realizar el acople de la tubería modular

Cuadro 33. Elemento para realizar el acople de la tubería modular información suministrada

| Elemento para realizar el acople de la tubería modular | | | | |
|--|------|------------------------------------|-----------------------|--------|
| CRITERIOS | Peso | CONCEPTOS (Alternativas de diseño) | | |
| | | Acople con tubería roscada | Acople Rápido (Racor) | Bridas |
| Permeabilidad | 5 | 0 | 0 | 0 |
| Resistencia a la temperatura | 4 | 1 | 0 | 1 |
| Seguridad | 3 | -1 | 1 | 1 |
| Costo | 2 | 1 | 0 | 0 |
| Vida útil | 4 | 0 | 1 | 0 |
| Rapidez para remplazar la pieza | 4 | -1 | 1 | -1 |
| Suma positivos (+) | | 2 | 3 | 2 |
| Suma negativos (-) | | 2 | 0 | 1 |
| SUMA GENERAL | | 0 | 3 | 1 |

Fuente: elaboración propia

Cuadro 34. Elemento para realizar el acople de la tubería modular resultado obtenido

| Elemento para realizar el acople de la tubería modular (TABLA PONDERADA) | | | |
|--|------------------------------------|-----------------------|--------|
| CRITERIOS | CONCEPTOS (Alternativas de diseño) | | |
| | Acople con tubería roscada | Acople Rápido (Racor) | Bridas |
| Impermeabilidad | 0 | 0 | 0 |
| Resistencia a la temperatura | 4 | 0 | 4 |
| Seguridad | -3 | 3 | 3 |
| Costo | 2 | 0 | 0 |
| Vida útil | 0 | 4 | 0 |
| Rapidez para remplazar la pieza | -4 | 4 | -4 |
| SUMA PONDERADA | -1 | 11 | 3 |
| RANKING | 3 | 1 | 2 |

Fuente: elaboración propia

Posterior al análisis PUGH realizado para determinar cuál es el elemento que se va a usar para realizar el acople de la tubería modular, en base al análisis (Referirse al **Cuadro 33.** y al **Cuadro 34.**) se determinó que la mejor opción es emplear un acople rápido en el banco de pruebas.

2.6.2.6 Selección del tanque para almacenar el fluido

Cuadro 35. Tanque para almacenar el fluido información suministrada

| Tanque para almacenar el fluido del banco | | | |
|--|-------------|---|-----------------------|
| CRITERIOS | Peso | CONCEPTOS (Alternativas de diseño) | |
| | | Tanque cerrado | Tanque abierto |
| Resistencia a la corrosión y oxidación | 4 | 1 | 1 |
| Resistencia al aumento de temperatura | 5 | 0 | 1 |
| Seguridad | 3 | 1 | 0 |
| Tamaño compacto | 4 | 0 | 0 |
| Aislamiento de la contaminación | 3 | 1 | 0 |
| Control visual | 2 | -1 | 1 |
| Suma positivos (+) | | 3 | 3 |
| Suma negativos (-) | | 1 | 0 |
| SUMA GENERAL | | 2 | 3 |

Fuente: elaboración propia

Cuadro 36. Tanque para almacenar el fluido resultado obtenido

| Tanque para almacenar el fluido del banco (TABLA PONDERADA) | | |
|--|---|-----------------------|
| CRITERIOS | CONCEPTOS (Alternativas de diseño) | |
| | Tanque cerrado | Tanque abierto |
| Resistencia a la corrosión y oxidación | 4 | 4 |
| Resistencia al aumento de temperatura | 0 | 5 |
| Seguridad | 3 | 0 |
| Tamaño compacto | 0 | 0 |
| Aislamiento de la contaminación | 3 | 0 |
| Control visual | -2 | 2 |
| SUMA PONDERADA | 8 | 11 |
| RANKING | 2 | 1 |

Fuente: elaboración propia

Posterior al análisis PUGH realizado para determinar cuál es el tanque para almacenar fluido que se va a emplear, en base al análisis (Referirse al **Cuadro**

35. y al Cuadro 36.) se determinó que la mejor opción es emplear un tanque abierto en el banco de pruebas.

2.6.2.7 Selección del tipo de válvula en cada una de las diferentes aberturas del tanque.

Cuadro 37. Válvulas en cada una de las diferentes aberturas del tanque información suministrada

| Tipo de válvulas en cada una de las diferentes aberturas del tanque | | | | |
|--|-------------|---|----------------------------|------------------------|
| CRITERIOS | Peso | CONCEPTOS (Alternativas de diseño) | | |
| | | Válvula de compuerta | Válvula de mariposa | Válvula de bola |
| Facilidad para operar la válvula | 3 | 0 | 1 | 1 |
| Estanqueidad | 5 | 1 | 0 | 1 |
| Seguridad | 3 | 0 | 0 | 1 |
| Posibilidad de ver la posición de la válvula | 3 | -1 | 1 | 0 |
| Resistencia a la corrosión y a la oxidación | 4 | 0 | 0 | 0 |
| Resistencia al cambio de temperatura | 5 | 0 | 0 | 0 |
| Suma positivos (+) | | 1 | 2 | 3 |
| Suma negativos (-) | | 1 | 0 | 0 |
| SUMA GENERAL | | 0 | 2 | 3 |

Fuente. elaboración propia

Cuadro 38. Válvulas en cada una de las diferentes aberturas del tanque resultado obtenido

| Tipo de válvulas en cada una de las aberturas del tanque (TABLA PONDERADA) | | | |
|---|---|----------------------------|------------------------|
| CRITERIOS | CONCEPTOS (Alternativas de diseño) | | |
| | Válvula de compuerta | Válvula de mariposa | Válvula de bola |
| Facilidad para operar la válvula | 0 | 3 | 3 |
| Estanqueidad | 5 | 0 | 5 |
| | 0 | 0 | 3 |
| Posibilidad de ver la posición de la válvula | -3 | 3 | 0 |
| Resistencia a la corrosión y a la oxidación | 0 | 0 | 0 |
| Resistencia al cambio de temperatura | 0 | 0 | 0 |
| SUMA PONDERADA | 2 | 6 | 11 |
| RANKING | 3 | 2 | 1 |

Fuente: elaboración propia

Posterior al análisis PUGH realizado para determinar cuál es la mejor válvula para emplear en cada una de las diferentes aberturas del tanque, en base al análisis (Referirse al **Cuadro 37.** y al **Cuadro 38.**) se determinó que la mejor opción es emplear válvulas de bola en el banco de pruebas.

2.6.2.8 Estructura a utilizar para soportar el banco.

Cuadro 39. Estructura a utilizar para soportar el banco información suministrada

| Estructura a utilizar para soportar el banco | | | |
|---|-------------|---|------------------------------|
| CRITERIOS | Peso | CONCEPTOS (Alternativas de diseño) | |
| | | Estructura vertical | Estructura horizontal |
| Tamaño compacto | 4 | 1 | 0 |
| Resistencia a la corrosión y oxidación | 2 | 0 | 0 |
| Seguridad | 3 | 0 | 1 |
| Resistencia al cambio de temperatura | 2 | 0 | 0 |
| Facilidad de instalación | 5 | 0 | 1 |
| Facilidad del mantenimiento | 3 | 0 | 1 |
| Suma positivos (+) | | 1 | 3 |
| Suma negativos (-) | | 0 | 0 |
| SUMA GENERAL | | 1 | 3 |

Fuente: elaboración propia

Cuadro 40. Estructura a utilizar para soportar el banco resultado obtenido

| Estructura a utilizar para soportar el banco (TABLA PONDERADA) | | |
|---|---|------------------------------|
| CRITERIOS | CONCEPTOS (Alternativas de diseño) | |
| | Estructura vertical | Estructura horizontal |
| Tamaño compacto | 4 | 0 |
| Resistencia a la corrosión y oxidación | 0 | 0 |
| Seguridad | 0 | 3 |
| Resistencia al cambio de temperatura | 0 | 0 |
| Facilidad de instalación | 0 | 5 |
| Facilidad del mantenimiento | 0 | 3 |
| SUMA PONDERADA | | 11 |
| RANKING | | 1 |

Fuente: elaboración propia

Posterior al análisis PUGH realizado para determinar cuál es la mejor estructura a utilizar para soportar el banco, con base en análisis (Referirse al **Cuadro 39.** y al **Cuadro 40.**) se determinó que la mejor opción es emplear una estructura de tipo horizontal en el banco de pruebas.

2.6.2.9 Materiales de tuberías que componen el banco exceptuando el módulo

Cuadro 41. Materiales de tuberías que componen el banco exceptuando el módulo información suministrada

| Materiales de tuberías que componen el banco exceptuando el módulo | | | | |
|---|-------------|---|-------------|--------------------|
| CRITERIOS | Peso | CONCEPTOS (Alternativas de diseño) | | |
| | | Cobre | CPVC | Galvanizada |
| Resistencia a la corrosión y oxidación | 3 | 1 | 1 | 0 |
| Resistencia al cambio de temperatura | 4 | 1 | 0 | 1 |
| Seguridad | 3 | 0 | 0 | 0 |
| Facilidad para el transporte | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Menores pérdidas por fricción | 5 | 0 | 1 | -1 |
| Capacidad de resistir presión | 4 | 0 | 0 | 0 |
| Suma positivos (+) | | 2 | 2 | 1 |
| Suma negativos (-) | | 0 | 0 | 1 |
| SUMA GENERAL | | 2 | 2 | 0 |

Fuente: elaboración propia

Cuadro 42. Materiales de tuberías que componen el banco exceptuando el módulo resultado obtenido.

| Materiales de tuberías que componen el banco exceptuando el módulo (TABLA PONDERADA) | | | |
|---|---|-------------|--------------------|
| CRITERIOS | CONCEPTOS (Alternativas de diseño) | | |
| | Cobre | CPVC | Galvanizada |
| Resistencia a la corrosión y oxidación | 3 | 3 | 0 |
| Resistencia al cambio de temperatura | 4 | 0 | 4 |
| Seguridad | 0 | 0 | 0 |
| Facilidad para el mantenimiento | 0 | 0 | 0 |
| Menores pérdidas por fricción | 0 | 5 | -5 |
| Capacidad de resistir presión | 0 | 0 | 0 |
| SUMA PONDERADA | 7 | 8 | -1 |
| RANKING | 2 | 1 | 3 |

Fuente: elaboración propia

Posterior al análisis PUGH realizado para determinar cuál es el mejor material para las tuberías que componen el banco de pruebas exceptuando el módulo, en base al análisis (Referirse al **Cuadro 41.** y al **Cuadro 42.**) se determinó que la mejor opción es emplear una tubería de CPVC exceptuando el módulo en el banco de pruebas.

2.6.2.10 Sistema para el control de nivel del tanque

Cuadro 43. Sistema para el control de nivel del tanque para el banco de pruebas

| Sistema para el control de nivel del tanque | | | | |
|---|------|------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| CRITERIOS | Peso | CONCEPTOS (Alternativas de diseño) | | |
| | | Medidor de nivel de flotador | Medidor de nivel manométrico | Medidor de nivel por ultrasonido |
| Resistencia a la corrosión y oxidación | 3 | 0 | 0 | 0 |
| Precisión | 4 | -1 | 1 | 1 |
| Seguridad | 3 | 0 | 0 | 0 |
| Confiabilidad | 4 | 0 | 0 | 1 |
| Costo | 5 | 1 | 0 | 0 |
| Facilidad del mantenimiento | 4 | 1 | 1 | 1 |
| Suma positivos (+) | | 2 | 2 | 3 |
| Suma negativos (-) | | 1 | 0 | 0 |
| SUMA GENERAL | | 1 | 2 | 3 |

Fuente: elaboración propia

Cuadro 44. Resultado de selección del sistema de control de nivel del tanque para el banco de pruebas

| Sistema para el control de nivel del tanque (TABLA PONDERADA) | | | |
|---|------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| CRITERIOS | CONCEPTOS (Alternativas de diseño) | | |
| | Medidor de nivel de flotador | Medidor de nivel manométrico | Medidor de nivel por ultrasonido |
| Resistencia a la corrosión y oxidación | 0 | 0 | 0 |
| Resistencia al cambio de temperatura | -4 | 4 | 4 |
| Seguridad | 0 | 0 | 0 |
| Facilidad para el mantenimiento | 0 | 0 | 4 |
| Menores pérdidas por fricción | 5 | 0 | 0 |
| Capacidad de resistir presión | 4 | 4 | 4 |
| SUMA PONDERADA | 5 | 8 | 12 |
| RANKING | 3 | 2 | 1 |

Fuente: elaboración propia.

Posterior al análisis PUGH realizado para determinar cuál es el mejor sistema de control de nivel del tanque, en base al análisis (Referirse al **Cuadro 43.** y al **Cuadro 44.**) se determinó que la mejor opción es emplear un medidor de nivel por ultrasonido.

Posteriormente, se muestra las diferentes selecciones una vez terminado el proceso de selección mediante el método PUGH.

Cuadro 45. Selección de los diferentes componentes resultado del método PUGH

| Funciones | Alternativas | | |
|---|----------------------------------|--|----------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Métodos para suministrar energía al fluido | Tanque elevado | Bomba hidráulica | Alimentación directa |
| Elementos para medir la presión | Manómetro diferencial | Transductor de presión amplificado con alta linealidad | Manómetros digitales |
| Elementos para calentar el agua y medir la temperatura del fluido | Calentamiento por solares | Resistencias eléctricas por inmersión | Calentador de agua a gas |
| Elementos para realizar el acople de la tubería modular | Acople con tubería roscada | Acople rápido (racor) | Bridas |
| Tanque para almacenar el fluido del banco | Tanque de almacenamiento abierto | Tanque de almacenamiento cerrado | |
| Tipo de válvulas en cada una de las diferentes aberturas del tanque | Válvula de compuerta | Válvula de mariposa | Válvula de bola |
| Estructura utilizada para soportar el banco | Estructura horizontal | Estructura vertical | Mesa |
| Materiales para la tubería | Cobre | CPVC | Galvanizado |
| Sistema para el control de nivel del tanque | Medidor de nivel flotador | Medidor de nivel manométrico | Medidor de nivel por ultrasónico |

Fuente: elaboración propia.

2.7 COMPONENTES DE CADA UNO DE LOS SISTEMAS DEL BANCO DE PRUEBAS

Con base en la selección realizada previamente por medio del método de PUGH, a continuación, se van a mostrar en mayor detalle los componentes seleccionados (Ver **Cuadro 46.**), a partir de estos se van a tener mayores criterios para proceder con el desarrollo del diseño en detalle, vale la pena aclarar que para la selección de algunos de estos componentes no fue necesaria la aplicación de la matriz de selección debido a la facilidad para seleccionar el componente.

Cuadro 46. Componentes a utilizar en cada uno de los sistemas del banco

| Sistema | Función | Componente a Implementar |
|------------------------|--|-------------------------------------|
| Hidráulico | Darle la energía suficiente al agua para que sea capaz de fluir a través de todo el sistema diseñado. | Bomba hidráulica |
| Medición y Control | Mediante manómetros diferenciales se permite tomar la medición de las caídas de presión en los módulos de tubería. | Manómetro diferencial. |
| Temperatura | Capaz de dar el suministro eléctrico en el fluido para darle variación de temperatura. | Resistencia eléctrica por inmersión |
| Estructural | Con los acoples rápidos se permite fijar los diferentes módulos intercambiables de tubería, ya que permite de una manera fácil realizar la instalación de manera segura. | Acople rápido (Racor) |
| Hidráulico/Estructural | El tanque de almacenamiento permite alimentar la bomba hidráulica con el fluido suficiente para darle la energía mecánica y circule en todo el sistema. El fluido después de circulado descarga en el tanque de nuevo. | Tanque de almacenamiento abierto |
| Hidráulico/Estructural | Permite restringir el paso del fluido a través del sistema hidráulico donde se requiera. | Válvula de bola |
| Estructural | Con la estructura de tipo horizontal facilita la manipulación de todo el banco de pruebas. | Estructura horizontal |
| Hidráulico | Por medio de la tubería de CPVC circula el fluido a las diferentes temperaturas. | Material de tubería CPVC |
| Medición y Control | Con un medidor de nivel ultrasónico permite mantener el nivel de fluido controlado en el tanque (por medio de una alarma sonora), evitando que se derrame agua, esto se logra por su alarma sonora. | Medidor de nivel por ultrasónico |

Fuente: elaboración propia

3. DISEÑO DETALLADO DEL BANCO DE PRUEBAS DE PÉRDIDAS DE CARGA

Posterior a la selección de los componentes que se realizó en la sección anterior, se procederá a realizar los cálculos respectivos del sistema hidráulico y de potencia del banco de pruebas, se va a realizar el diseño del sistema de medición y control, se realizará el diseño de la estructura cuyo tipo fue seleccionado en la sección anterior (con forma de mesa horizontal), se realizarán los planos de cada una de las partes diseñadas para el banco de pruebas, el plano del banco de pruebas para determinar las pérdidas de carga como conjunto y finalmente, se realizará un listado de los elementos que componen el banco.

3.1 DISEÑO DETALLADO DEL SISTEMA HIDRÁULICO Y DE POTENCIA

Primero se van a realizar los cálculos hidráulicos acorde a los parámetros establecidos en el capítulo anterior, la carga sobre la bomba se va a establecer despejando el parámetro de la ecuación de Bernoulli, en base a los resultados obtenidos posteriormente se seleccionaron los componentes por medio de catálogos de diferentes fabricantes.

3.1.1 Diseño del sistema hidráulico. El primer paso consiste en establecer los parámetros de entrada por medio de los cuales se van a realizar los cálculos, estos se encuentran contenidos en los cuadros que se presentan a continuación (Ver **Cuadro 47.**, **Cuadro 48.**, **Cuadro 49.**, **Cuadro 50.**, **Cuadro 51.**, **Cuadro 52.**), también, vale la pena realizar la aclaración de que se están tomando en cuenta todos los parámetros de diseño establecidos en el capítulo anterior.

Cuadro 47. Propiedades del agua y caudal

| Agua a temperatura 20°C / Agua a temperatura 60°C | |
|---|---------------------------------------|
| Densidad Tablas (kg/m ³) | 998 / 984 |
| Viscosidad Tablas (Pa*s) | 1.02E-3 / 4.60E-4 |
| Caudal (m ³ /h) | 2.4 (Sacado del catálogo de la bomba) |
| Peso específico (kN/m ³) | 9.79 / 9.65 |

Fuente: elaboración propia

Cuadro 48. Características de las tuberías que conforman el banco

| Características de la tubería que compone el banco | |
|--|---------|
| Material | CPVC |
| Diámetro (in) | 1 |
| Diámetro interno (m) | 0.02376 |
| Diámetro externo (m) | 0.0296 |
| Longitud total (m) | 3.9 |
| Entrada circuito bordes afilados (k) | 0.5 |
| Salida circuito, tubería abierta | 1 |

Fuente: elaboración propia

Cuadro 49. Características del módulo

| Características del módulo instalado en el banco de pruebas | |
|---|---|
| Material | Varía dependiendo del módulo que sea requerido para la práctica |
| Diámetro (in) | 1 |
| Diámetro interno (m) | 0.02376 |
| Diámetro externo (m) | 0.0296 |
| Longitud total (m) | 1.9 |
| Entrada circuito borde afilados (k) | 0.5 |
| Salida circuito, tubería abierta | 1 |

Fuente: elaboración propia

Cuadro 50. Válvulas de las que se compone el banco

| Válvulas presentes en el banco | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|------|
| Tipo de válvula | Cantidad de válvulas | Le/D |
| Válvula de globo | 1 | 340 |
| Válvula de dos vías | 2 | 60 |
| Medidor de presión diferencial | 2 (dos puntos donde toma presión) | 8 |
| Codo a 90° | 3 | 30 |

Fuente: elaboración propia

Cuadro 51. Materiales a utilizar en el módulo

| Materiales a utilizar en el módulo | Rugosidad E (m) |
|------------------------------------|-----------------|
| Hierro dúctil, no recubierto | 0.00024 |
| Hierro dúctil recubierto | 0.00012 |
| Hierro galvanizado | 0.00015 |
| Acero comercial | 0.000046 |
| Tubo extruido de cobre | 0.0000015 |
| CPVC (Plástico) | 0.0000003 |

Fuente: elaboración propia

Cuadro 52. Tabla de longitudes de tubería

| Longitudes de cada uno de los tramos de tuberías | |
|--|------------|
| L1 (m) | 0.8 |
| L2 (m) | 0.8 |
| L3 (m) | 0.4 |
| L4 (m) | 0.8 |
| L5 (m) | 0.1 |
| L6 (m) | 0.1 |
| L7 (m) | 0.1 |
| L8 (m) Módulo | 1.9 |
| L9 (m) | 0.1 |
| L10 (m) | 0.1 |
| L11 (m) | 0.6 |
| L Total (m) | 5.8 |

Fuente: elaboración propia.

También se debe tomar en cuenta que se usó una eficiencia para la bomba del 70%, esto con base en las fuentes consultadas, para una bomba del tamaño de la que se seleccionó.

A continuación, se va a mostrar cómo se realizó el cálculo del banco con agua a una temperatura de 20°C y no 60°C (esto debido a que como la viscosidad es mayor y la densidad también a 20°C, es el escenario donde las pérdidas son mayores, por tanto, donde se necesita mayor potencia) y con un módulo de hierro dúctil no recubierto; debido a que este material es el que presenta una rugosidad más alta entre los materiales seleccionados.

El primer paso consiste en realizar la conversión del caudal de m³/h a m³/s, el cual se presenta en la **Ecuación 22.**:

Ecuación 22. Conversión del caudal m³/h a m³/s

$$2.4 \frac{m^3}{h} * \frac{1 h}{3600 s} = 0.000666667 \frac{m^3}{s}$$

Fuente: UNITJUGGLER, Convertido todo fácilmente. Conversión de metros cúbicos por hora a metros cúbicos por segundo. 2019. [En línea]. Disponible en: “<https://bit.ly/2Vj7JeN>”

El siguiente paso consiste en calcular el área interior de la tubería por medio del diámetro interior, el procedimiento se ilustra en la **Ecuación 23.**:

Ecuación 23. Área interna de la tubería

$$A = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2 = \pi * \left(\frac{0.02376 m}{2}\right)^2 = 0.000443387 m^2$$

Fuente: Punjab Board of Technical Education. Chapter 12: Area of Circle. P. 299.

El siguiente paso consiste en calcular la velocidad en la tubería, por medio de la **Ecuación 24.**:

Ecuación 24. Velocidad del agua en la tubería

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0.000666667 \frac{m^3}{s}}{0.000443387 m^2} = 1.503578084 \frac{m}{s}$$

Fuente: UNIVERSITY OF IDAHO. Flow and Velocity Calculations. [En línea]. Disponible en: “<https://bit.ly/2oW84bn>”

Posterior a esto, se va a calcular un factor que se usa bastante en el cálculo de las pérdidas de carga en el sistema hidráulico, como se observa en la **Ecuación 25.**:

Ecuación 25. Factor para el cálculo de las pérdidas

$$\frac{v^2}{2 * g} = \frac{(1.503578084 m/s)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} = 0.115226659 m$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánica de Fluidos. Sexta edición. Pearson Educación. 2006. Pág. 3.

A continuación, el siguiente paso consiste en consultar las propiedades del agua a 20°C, los datos se encuentran consignados en el **Cuadro 53.**:

Cuadro 53. Propiedades del agua a una temperatura de 20°C.

| Propiedades del agua a 20°C | |
|--------------------------------------|---------|
| Densidad Tablas (kg/m ³) | 998 |
| Viscosidad Tablas (Pa*s) | 0.00102 |
| Peso específico (N/m ³) | 9790 |

Fuente: MOTT. Robert. Mecánica de Fluidos. Sexta edición. Pearson Educación. 2006. Pág. 589.

Con todo esto, ahora es posible calcular el número de Reynolds para un flujo con las características mencionadas anteriormente, por medio de la **Ecuación 26.**:

Ecuación 26. Cálculo del número de Reynolds

$$Re = \frac{v * D_i * \rho}{\mu} = \frac{1.503578084 \frac{m}{s} * 0.02376 m * 998 \frac{kg}{m^3}}{0.00102 Pa * s} = 35582.40$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánica de Fluidos. Sexta edición. Pearson Educación. 2006. Pág. 247.

En base al Reynolds obtenidos con las condiciones establecidas, se determinó que el flujo que se presenta es de tipo turbulento, esto debe tenerse en cuenta en etapas posteriores del proceso de diseño hidráulico y de potencia.

En base a las rugosidades de los diferentes materiales que se encuentran consignados en el cuadro presentado anteriormente, se estableció que la rugosidad de la tubería de CPVC corresponde a 0.0000003 m, este valor se utilizó para calcular la rugosidad relativa por medio de la **Ecuación 27.**:

Ecuación 27. Cálculo de la rugosidad tubería del banco

$$Rugosidad\ relativa = \frac{\epsilon}{D_i} = \frac{0.0000003 m}{0.02376 m} = 1.26263E - 05$$

Fuente: UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA DE URUGUAY. Hidráulica en tuberías a presión. 2015. P. 14.

Con este valor de rugosidad relativa y el número de Reynolds, usando la página web “Moody’s chart calculator”²⁹, se determinó el factor de fricción para cálculos posteriores. el cual corresponde a 0.02260579. Posterior a todos estos cálculos previos, el siguiente paso consiste en calcular las pérdidas generadas en cada uno de los diferentes elementos del circuito. Todos estos cálculos se presentan en las ecuaciones que se ilustran a continuación de forma individual (Ver de la **Ecuación 28.** a la **Ecuación 48.**).

Ecuación 28. Pérdida calculada generada a la entrada

$$h_{entrada} = k * \left(\frac{v_1^2}{2 * g} \right)$$

$$h_{entrada} = 0.5 * 0.115226659 \text{ m} = 0.05761333$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánica de Fluidos. Sexta edición. Pearson Educación. 2006. Pág. 3.

Ecuación 29. Pérdida de fricción L₁

$$h_{L1} = \text{Factor de fricción} * \frac{L_1}{D_i} * \frac{v^2}{2 * g}$$

$$h_{L1} = 0.02260579 * \frac{0.8 \text{ m}}{0.0254 \text{ m}} * 0.115226659 \text{ m} = 0.087703356 \text{ m}$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánica de Fluidos. Sexta edición. Pearson Educación. 2006. Pág. 3.

Ecuación 30. Pérdida de fricción L₂

$$h_{L2} = \text{Factor de fricción} * \frac{L_2}{D_i} * \frac{v^2}{2 * g}$$

$$h_{L2} = 0.02260579 * \frac{0.8 \text{ m}}{0.0254 \text{ m}} * 0.115226659 \text{ m} = 0.087703356 \text{ m}$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánica de Fluidos. Sexta edición. Pearson Educación. 2006. Pág. 3.

Ecuación 31. Pérdida por el primer codo a 90°

$$h_{c90} = \text{Factor de fricción} * \left(\frac{Le}{d} \right)_{\text{Codos a } 90^\circ} * \frac{v^2}{2 * g}$$

$$h_{c90} = 0.02260579 * 30 * 0.115226659 \text{ m} = 0.07814369 \text{ m}$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánica de Fluidos. Sexta edición. Pearson Educación. 2006. Pág. 3.

²⁹ Maley, Michael. Moody Chart Calculator. [En línea]. Disponible en: “http://www.advdelpsisys.com/michael_maley/moody_chart/”

Ecuación 32. Pérdida de fricción L_3

$$h_{L3} = \text{Factor de fricción} * \frac{L_3}{D_i} * \frac{v^2}{2 * g}$$

$$h_{L3} = 0.02260579 * \frac{0.4 \text{ m}}{0.0254 \text{ m}} * 0.115226659 \text{ m} = 0.043851678 \text{ m}$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánica de Fluidos. Sexta edición. Pearson Educación. 2006. Pág. 3.

Ecuación 33. Pérdida de fricción por válvula de globo.

$$h_{v.globo} = \text{Factor de fricción} * \left(\frac{Le}{d}\right)_{v.globo} * \frac{v^2}{2 * g}$$

$$h_{v.globo} = 0.02260579 * 0.115226659 \text{ m} = 0.88562485 \text{ m}$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánica de Fluidos. Sexta edición. Pearson Educación. 2006. Pág. 3.

Ecuación 34. Pérdida de fricción L_4

$$h_{L4} = \text{Factor de fricción} * \frac{L_4}{D_i} * \frac{v^2}{2 * g}$$

$$h_{L4} = 0.02260579 * \frac{0.8 \text{ m}}{0.0254 \text{ m}} * 0.115226659 \text{ m} = 0.087703356 \text{ m}$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánica de Fluidos. Sexta edición. Pearson Educación. 2006. Pág. 3.

Ecuación 35. Pérdida por el segundo codo a 90°

$$h_{c90} = \text{Factor de fricción} * \left(\frac{Le}{d}\right)_{\text{Codos a } 90^\circ} * \frac{v^2}{2 * g}$$

$$h_{c90} = 0.02260579 * 30 * 0.115226659 \text{ m} = 0.07814369 \text{ m}$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánica de Fluidos. Sexta edición. Pearson Educación. 2006. Pág. 3.

Ecuación 36. Pérdida de fricción L_5

$$h_{L5} = \text{Factor de fricción} * \frac{L_5}{D_i} * \frac{v^2}{2 * g}$$

$$h_{L5} = 0.02260579 * \frac{0.1 \text{ m}}{0.0254 \text{ m}} * 0.115226659 \text{ m} = 0.010962919 \text{ m}$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánica de Fluidos. Sexta edición. Pearson Educación. 2006. Pág. 3.

Ecuación 37. Pérdida por fricción válvula de tres vías

$$h_{v3vías} = \text{Factor de fricción} * \left(\frac{Le}{d}\right)_{v3vías} * \frac{v^2}{2 * g}$$

$$h_{v3vías} = 0.02260579 * 60 * 0.115226659 \text{ m} = 0.15628738 \text{ m}$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánica de Fluidos. Sexta edición. Pearson Educación. 2006. Pág. 3.

Ecuación 38. Pérdida de fricción L_6

$$h_{L6} = \text{Factor de fricción} * \frac{L_6}{D_i} * \frac{v^2}{2 * g}$$

$$h_{L6} = 0.02260579 * \frac{0.1 \text{ m}}{0.0254 \text{ m}} * 0.115226659 \text{ m} = 0.010962919 \text{ m}$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánica de Fluidos. Sexta edición. Pearson Educación. 2006. Pág. 3.

Ecuación 39. Pérdida por medidor de presión entrada.

$$h_{med.pres.entre.} = \text{Factor de fricción} * \left(\frac{Le}{d}\right)_{med.pres.entre.} * \frac{v^2}{2 * g}$$

$$h_{med.pres.entre.} = 0.02260579 * 8 * 0.115226659 \text{ m} = 0.020838317 \text{ m}$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánica de Fluidos. Sexta edición. Pearson Educación. 2006. Pág. 3.

Ecuación 40. Pérdida de fricción L_7

$$h_{L7} = \text{Factor de fricción} * \frac{L_7}{D_i} * \frac{v^2}{2 * g}$$

$$h_{L7} = 0.02260579 * \frac{0.1 \text{ m}}{0.0254 \text{ m}} * 0.115226659 \text{ m} = 0.010962919 \text{ m}$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánica de Fluidos. Sexta edición. Pearson Educación. 2006. Pág. 3.

Ecuación 41. Pérdida por fricción racor de entrada

$$h_{racore\ entrada} = \text{Factor de fricción} * \left(\frac{Le}{d}\right)_{racore\ entrada} * \frac{v^2}{2 * g}$$

$$h_{racore\ entrada} = 0.02260579 * 16 * 0.115226659 \text{ m} = 0.041676635 \text{ m}$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánica de Fluidos. Sexta edición. Pearson Educación. 2006. Pág. 3.

Ecuación 42. Pérdida de fricción L₈ módulo

$$h_{L8 \text{ módulo}} = \text{Factor de fricción} * \frac{L_8}{D_i} * \frac{v^2}{2 * g}$$

$$h_{L8 \text{ módulo}} = 0.02260579 * \frac{1.9 \text{ m}}{0.0254 \text{ m}} * 0.115226659 \text{ m} = 0.180930938 \text{ m}$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánica de Fluidos. Sexta edición. Pearson Educación. 2006. Pág. 3.

Ecuación 43. Pérdida por fricción racor de salida

$$h_{\text{racore salida}} = \text{Factor de fricción} * \left(\frac{Le}{d}\right)_{\text{racore salida}} * \frac{v^2}{2 * g}$$

$$h_{\text{racore salida}} = 0.02260579 * 16 * 0.115226659 \text{ m} = 0.041676635 \text{ m}$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánica de Fluidos. Sexta edición. Pearson Educación. 2006. Pág. 3.

Ecuación 44. Pérdida de fricción L₉

$$h_{L9} = \text{Factor de fricción} * \frac{L_9}{D_i} * \frac{v^2}{2 * g}$$

$$h_{L9} = 0.02260579 * \frac{0.1 \text{ m}}{0.0254 \text{ m}} * 0.115226659 \text{ m} = 0.010962919 \text{ m}$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánica de Fluidos. Sexta edición. Pearson Educación. 2006. Pág. 3.

Ecuación 45. Pérdida por medidor de presión salida.

$$h_{\text{med.pres.salida.}} = \text{Factor de fricción} * \left(\frac{Le}{d}\right)_{\text{med.pres.salida.}} * \frac{v^2}{2 * g}$$

$$h_{\text{med.pres.salida.}} = 0.02260579 * 8 * 0.115226659 \text{ m} = 0.020838317 \text{ m}$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánica de Fluidos. Sexta edición. Pearson Educación. 2006. Pág. 3.

Ecuación 46. Pérdida de fricción L₁₀

$$h_{L10} = \text{Factor de fricción} * \frac{L_{10}}{D_i} * \frac{v^2}{2 * g}$$

$$h_{L10} = 0.022698463 * \frac{0.1 \text{ m}}{0.0254 \text{ m}} * 0.115226659 \text{ m} = 0.010962919 \text{ m}$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánica de Fluidos. Sexta edición. Pearson Educación. 2006. Pág. 3.

Ecuación 47. Pérdida por el tercer codo a 90°

$$h_{c90} = \text{Factor de fricción} * \left(\frac{Le}{d}\right)_{\text{Codos a } 90^\circ} * \frac{v^2}{2 * g}$$

$$h_{c90} = 0.022698463 * 30 * 0.115226659 \text{ m} = 0.07814369 \text{ m}$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánica de Fluidos. Sexta edición. Pearson Educación. 2006. Pág. 3.

Ecuación 48. Pérdida de fricción L₁₁

$$h_{L11} = \text{Factor de fricción} * \frac{L_{11}}{D_i} * \frac{v^2}{2 * g}$$

$$h_{L11} = 0.022698463 * \frac{0.6 \text{ m}}{0.0254 \text{ m}} * 0.115226659 \text{ m} = 0.065777517 \text{ m}$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánica de Fluidos. Sexta edición. Pearson Educación. 2006. Pág. 3.

A continuación, en el **Cuadro 54.** se muestra el cálculo de todas las pérdidas generadas en el sistema hidráulico propuesto, esto incluye tubería y accesorios.

Cuadro 54. Perdidas en el sistema hidráulico.

| | |
|---|--------------------|
| Pérdida a la entrada $h_1=k*(v^2/2g)$ (m) | 0.05761333 |
| Pérdida de fricción L1 (m) | 0.087703356 |
| Pérdida de fricción L2 (m) | 0.087703356 |
| Pérdida por el codo a 90° (m) | 0.07814369 |
| Pérdida por fricción L3 (m) | 0.043851678 |
| Pérdida de fricción por válvula de globo (m) | 0.885628485 |
| Pérdida por fricción L4 (m) | 0.087703356 |
| Pérdida por el codo a 90° (m) | 0.07814369 |
| Pérdida por fricción L5 (m) | 0.010962919 |
| Pérdida por fricción válvula de tres vías (m) | 0.15628738 |
| Pérdida por fricción L6 (m) | 0.010962919 |
| Pérdida medidor presión (m) | 0.020838317 |
| Pérdida por fricción L7 (m) | 0.010962919 |
| Pérdida por fricción racor (m) | 0.041676635 |
| Pérdida por fricción módulo L8 (m) | 0.180930938 |
| Pérdida por fricción racor (m) | 0.041676635 |
| Pérdida por fricción L9 (m) | 0.010962919 |
| Pérdida medidor presión (m) | 0.020838317 |
| Pérdida por fricción L10 (m) | 0.010962919 |
| Pérdida por el codo a 90° (m) | 0.07814369 |
| Pérdida por fricción L11 (m) | 0.065777517 |
| PÉRDIDAS TOTALES (m) | 2.067474965 |

Fuente: elaboración propia

Después de haber calculado las pérdidas en todo el sistema hidráulico, se calculan las pérdidas totales en este.

Ecuación 49. Pérdidas en el circuito hidráulico totales

$$h_{\text{Totales}} = \sum h = 2.067474965 \text{ m}$$

Fuente: elaboración propia

3.1.2 Diseño del sistema de potencia. Por medio de los resultados obtenidos en los cálculos hidráulicos, se hará uso de la ecuación de Bernoulli (Ver **Ecuación 50.**) y su simplificación para determinar la carga que debe suministrar la bomba en el sistema, estos cálculos se representan en las ecuaciones que se encuentran a continuación.

Ecuación 50. Ecuación de Bernoulli

$$\left(\frac{P_1}{\rho * g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 \right) - \left(\frac{P_2}{\rho * g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \right) = h_f + h_m - H_p$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánica de Fluidos. Sexta edición. Pearson Educación. 2006. Pág. 3.

En donde:

P= Presión (Pa)

ρ = Densidad (kg/m³)

v= Velocidad del fluido (m/s)

g= Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

h= Altura del punto de referencia (m)

h_f = representa las pérdidas de presión debido a la fricción del fluido en la tubería.

h_m = es el valor de las pérdidas menores a través del flujo.

h_p = es la energía suministrada por la bomba.

Al simplificar la ecuación de Bernoulli acorde con las condiciones establecidas en el sistema, las cuales son que el punto 1 se encuentra en la parte superior del líquido en el tanque, y el punto 2 esta en la salida de la tubería de descarga del sistema, se emplea la siguiente **Ecuación 51.**:

Ecuación 51. Ecuación de Bernoulli simplificada

$$h_p = h_f + z_2 + \frac{v_2^2}{2 * g}$$

$$h_p = 2.232696 \text{ m}$$

Fuente: elaboración propia

El siguiente paso consiste en determinar la potencia sobre la bomba por medio de la **Ecuación 52.** y realizar su respectiva conversión por medio de la **Ecuación 53.**

....

Ecuación 52. Potencia que debe suministrar la bomba

$$\begin{aligned} \text{Potencia Bomba (kW)} &= \frac{h_p * \gamma * Q}{\text{Eficiencia Bomba}} * \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} \\ \text{Potencia Bomba (kW)} &= \frac{2.232696 \text{ m} * 9790 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} * 0.000666 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.70 * 1000} \\ &= 0.02079641 \text{ kW} \end{aligned}$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánica de Fluidos. Sexta edición. Pearson Educación. 2006. Pág. 3.

Ecuación 53. Conversión de la potencia de kW a hp

$$\text{Potencia Bomba (kW)} = 0.02079641 \text{ kW} * \frac{1.34102 \text{ hp}}{1 \text{ kW}} = 0.02788841 \text{ hp}$$

Fuente: CALCULADORA CONVERSION. KW a HP. [En línea]. Disponible en: "https://bit.ly/2OmH9zU"

Con base en esta potencia por medio de catálogos se debe realizar la selección de la bomba que se va a implementar, la potencia a suministrar debe ser mayor que la potencia que necesita el sistema, en otras palabras, la potencia mínima de la bomba es de aproximadamente 0.028 Hp.

3.1.3 Selección de los componentes en base a catálogos a los cálculos previos. En esta sección se van a presentar los componentes seleccionados correspondientes a la tubería, codos, instrumentos para medir presión, válvulas de globo, válvulas de tres vías, bomba centrífuga, sistema para controlar el nivel en el tanque y el sistema para controlar la temperatura en este. Para esto se va a tomar en cuenta la potencia generada por la bomba y la temperatura máxima a la cual va a trabajar el agua:

Respecto a la temperatura máxima a la cual va a operar el fluido es de 60°C, razón por la cual se deben buscar equipos que puedan trabajar a una temperatura más alta que esta.

3.1.3.1 Tubería seleccionada para el banco. Para seleccionar la tubería se consideraron los parámetros mencionados anteriormente, por lo tanto, la selección se realizó por medio del catálogo de Pavco para tubería CPVC (acorde a la selección realizada en el capítulo anterior). A continuación, se muestra la **Figura 38.** donde está la tubería seleccionada para este diseño.

Figura 38. Tubería CPVC seleccionada para llevar a cabo el banco.

| <h2>Tuberías</h2> | | | | |
|---|------------|----------------|-------------------|------------------|
| | Referencia | Diámetro pulg. | Unidad de empaque | Precio x tubo \$ |
| Tuberías Presión de Trabajo a 82°C 100 psi (Tamaño Cobre) 3 metros  | 2900206 | ½ | 48 tubos | 17.949 |
| | 2900208 | ¾ | 48 tubos | 29.495 |
| | 2900205 | 1 | 24 tubos | 49.899 |
| | 2903760 | 1 ¼ * | 1 tubo | 204.372 |
| | 2903761 | 1 ½ * | 1 tubo | 294.556 |
| | 2903762 | 2 * | 1 tubo | 501.371 |
| | * 6 metros | | | |

Fuente: PAVCO. Lista de precios octubre 2018. [En línea]. Disponible en: “<https://bit.ly/2lrV2Jy>”

Por medio del presente catálogo se estableció que se necesita de dos tuberías de la referencia 2900205 para construir el banco, debido a que estas miden tres metros y el banco diseñado necesita de 5.8 m de tubería, abarcando también el módulo de tubería que corresponde a CPVC. También, entre las características que esta presenta son suficientes para soportar las condiciones del fluido, es capaz de soportar una temperatura de hasta 82°C y la temperatura máxima a la que va a circular el fluido es de 60°C, respecto a la presión de 100 psi que es capaz de soportar, esta es superior a los 45 m.c.a. que genera la bomba que corresponden en psi a 64.

3.1.3.2 Codos seleccionados para el banco. Al igual que con la tubería, se va a usar el catálogo de Pavco para realizar la selección de los codos que componen el banco de pruebas, estos al igual que la tubería están fabricados en CPVC y con un diámetro de una pulgada.

Figura 39. Codos a 90° utilizados en el banco

| | Referencia | Diámetro pulg. | Unidad de empaque | Precio x unidad \$ |
|---|------------------------------|----------------|-------------------|--------------------|
|  | Codo 90 ° CPVC SCH 80 | | | |
| | 2907464 | ½ | 1 ud | 9.073 |
| | 2907465 | ¾ | 1 ud | 10.515 |
| | 2907466 | 1 | 1 ud | 17.961 |
| | 2907467 | 1¼ | 1 ud | 34.445 |
| | 2907468 | 1½ | 1 ud | 43.377 |
| | 2907469 | 2 | 1 ud | 72.072 |
| | 2906871 | 2½ | 1 ud | 118.712 |
| | 2906872 | 3 | 1 ud | 145.193 |
| | 2906873 | 4 | 1 ud | 219.077 |
| 2907470 | 6 | 1 ud | 417.326 | |

Fuente: PAVCO. Lista de precios octubre 2018. [En línea]. Disponible en: “<https://bit.ly/31SsNvc>”

Por medio del presente catálogo (Ver **Figura 39.**), se seleccionaron los codos de la referencia 2907466, para la construcción del banco se van a emplear tres de estos, la resistencia a la presión y a la temperatura de estos es la misma que la de la tubería CPVC de este mismo catálogo.

3.1.3.3 Tuberías seleccionadas para el módulo. Debido a que se van a fabricar distintos módulos para el banco de pruebas, se deben buscar tuberías de distintos materiales con diámetro de una pulgada, que puedan soportar las condiciones determinadas por los cálculos de la sección anterior.

✓ **Tubería de Cobre.** Este catálogo fue tomado de la información que se encuentra consignada en la página web de la empresa PIPECO S.A., esta tubería como se puede observar en la figura que se presenta a continuación, es capaz de soportar una presión de hasta 725 psi, lo cual es muy superior a lo que genera la bomba y, además, como dice en la parte inferior, es una tubería de Tipo K; la cual es capaz de soportar altas temperaturas.

Figura 40. Tubería de cobre utilizada en el banco.

Las tuberías rígidas son producidas bajo los más altos estándares de calidad, con Norma ASTM B-88, fabricadas en tramos de 6 Ml, identificadas internacionalmente con marca de color y tipo de tubería de acuerdo a sus aplicaciones

| DIMENSIONES, PESOS Y PRESIONES | | | | | | | |
|---|---------------|--------|------------|------------------|--------|----------|-------------|
| TIPO (Color) | DIAM. NOMINAL | | DIAM. EXT. | ESPESOR DE PARED | | PESO | PRESION MAX |
| | PULGADA | m.m. | PULGADA | PULGADA | m.m. | Kg/Tramo | LBS/Pulg2 |
|  | 1/4" | 6,350 | 3/8" | 0,375 | 0,890 | 1,296 | 1.210 |
| | 3/8" | 9,500 | 1/2" | 0,049 | 1,245 | 2,445 | 1.266 |
| | 1/2" | 12,700 | 5/8" | 0,049 | 1,245 | 3,128 | 995 |
| | 5/8" | 15,875 | 3/4" | 0,049 | 1,245 | 3,168 | 668 |
| | 3/4" | 19,000 | 7/8" | 0,065 | 1,651 | 5,817 | 938 |
| | 1" | 25,000 | 1.1/8" | 0,065 | 1,651 | 7,627 | 725 |
| | 1.1/4" | 32,000 | 1.3/8" | 0,065 | 1,651 | 9,454 | 583 |
| | 1.1/2" | 38,000 | 1.5/8" | 0,072 | 1,829 | 12,363 | 540 |
| | 2" | 51,000 | 2.1/8" | 0,083 | 2,108 | 18,727 | 483 |
| | 2.1/2" | 64,000 | 2.5/8" | 2,625 | 2,410 | 26,100 | 441 |
| 3" | 76,000 | 3.1/8" | 3,125 | 2,770 | 35,640 | 427 | |

Tipo K: uso industrial, donde las presiones y temperaturas de trabajo son altas. Para Gas combustible y medicinal, agua, aire y refrigeración.

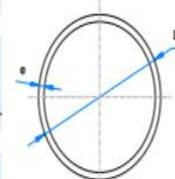
Fuente: PIPECO S.A. TUBERÍA RÍGIDA K. L Y M NORMA ASTM B-88. [En línea]. Disponible en: "http://cort.as/-NReq"

Acorde a lo que dice la **Figura 40.**, se vende en tramos de seis metros esta tubería, sin embargo, para el banco se necesita una tubería con una longitud de 1.9 m, por lo cual sobrarían 4.1 m de tubería.

- ✓ **Tubería de Acero Galvanizado.** Para la tubería de este material, se va a emplear la que provee la empresa Fanalca, se va a buscar que al igual que con los otros materiales esta sea capaz de soportar las condiciones que se establecieron con los cálculos anteriores (Ver **Figura 41.**).

Figura 41. Tubería galvanizada utilizada en el banco.

| Tubos redondos Galvanizados | | | | | | | |
|-----------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|-------------------|----------------|------------------------|-------------------|
| Origen | Tamaño Nominal (NPS) | Diámetro ext. D (pulg.) | Diámetro ext. D (mm) | Espesor e (pulg.) | Espesor e (mm) | Peso teórico tubo (kg) | Unidad de empaque |
| FN | 1/2 | 0.815" | 20.70 | 0.048 | 1.20 | 3.617 | 127 |
| | | | | 0.055 | 1.40 | 4.154 | 127 |
| | | | | 0.059 | 1.50 | 4.451 | 127 |
| | | | | 0.075 | 1.90 | 5.548 | 127 |
| | | | | 0.080 | 2.00 | 5.840 | 127 |
| | | | | 0.098 | 2.50 | 7.065 | 127 |
| FN | 3/4 | 1.028" | 26.11 | 0.048 | 1.20 | 4.578 | 91 |
| | | | | 0.055 | 1.40 | 5.275 | 91 |
| | | | | 0.059 | 1.50 | 5.852 | 91 |
| | | | | 0.075 | 1.90 | 7.159 | 91 |
| | | | | 0.080 | 2.00 | 7.536 | 91 |
| | | | | 0.098 | 2.50 | 9.420 | 91 |
| FN | 1 | 1.319" | 33.5 | 0.048 | 1.20 | 5.878 | 61 |
| | | | | 0.055 | 1.40 | 6.858 | 61 |
| | | | | 0.059 | 1.50 | 7.277 | 61 |
| | | | | 0.075 | 1.90 | 9.128 | 61 |
| | | | | 0.080 | 2.00 | 9.608 | 61 |
| | | | | 0.098 | 2.50 | 11.893 | 61 |
| FN | 1 1/4 | 1.663" | 42.24 | 0.048 | 1.20 | 7.574 | 37 |
| | | | | 0.055 | 1.40 | 8.770 | 37 |
| | | | | 0.059 | 1.50 | 9.396 | 37 |
| | | | | 0.075 | 1.90 | 11.723 | 37 |
| | | | | 0.080 | 2.00 | 12.340 | 37 |
| | | | | 0.098 | 2.50 | 15.308 | 37 |
| FN / MT | 1 1/2 | 1.9" | 48.26 | 0.048 | 1.20 | 8.591 | 37 |
| | | | | 0.055 | 1.40 | 9.891 | 37 |
| | | | | 0.059 | 1.50 | 10.598 | 37 |
| | | | | 0.075 | 1.90 | 13.245 | 37 |
| | | | | 0.080 | 2.00 | 13.942 | 38 |
| | | | | 0.098 | 2.50 | 17.427 | 37 |
| FN | 2 | 2.36" | 59.94 | 0.048 | 1.20 | 10.626 | 19 |
| | | | | 0.055 | 1.40 | 12.331 | 19 |
| | | | | 0.059 | 1.50 | 13.212 | 19 |
| | | | | 0.075 | 1.90 | 16.645 | 19 |
| | | | | 0.080 | 2.00 | 17.521 | 19 |
| | | | | 0.098 | 2.50 | 21.666 | 19 |
| FN | 2 1/2 | 2.875" | 73.02 | 0.048 | 1.20 | 13.056 | 19 |
| | | | | 0.055 | 1.40 | 15.166 | 19 |
| FN / MT | 2 1/2 | 2.875" | 73.02 | 0.059 | 1.50 | 16.250 | 19 |
| | | | | 0.075 | 1.90 | 20.404 | 19 |
| | | | | 0.080 | 2.00 | 21.478 | 19 |
| | | | | 0.098 | 2.50 | 26.612 | 19 |
| FN | 3 | 3.0" | 76.2 | 0.048 | 1.20 | 13.621 | 19 |
| | | | | 0.055 | 1.40 | 15.694 | 19 |
| | | | | 0.059 | 1.50 | 16.815 | 19 |
| | | | | 0.075 | 1.90 | 21.299 | 19 |
| | | | | 0.080 | 2.00 | 22.420 | 19 |
| | | | | 0.098 | 2.50 | 27.789 | 19 |
| MT | 3 | 3.5" | 88.9 | 0.080 | 2.00 | 25.717 | 19 |
| | | | | 0.098 | 2.50 | 31.961 | 19 |
| MT | 3 1/2 | 4" | 101.60 | 0.080 | 2.00 | 29.475 | 7 |
| | | | | 0.098 | 2.50 | 36.659 | 7 |
| MT | 4 | 4.5" | 114.3 | 0.080 | 2.00 | 33.293 | 7 |
| | | | | 0.098 | 2.50 | 41.431 | 7 |
| MT | | 5.0" | 127.0 | 0.098 | 2.50 | 46.055 | 7 |



Fuente: FANALCA. Tubos de Acero Galvanizado. [En línea]. Disponible en: ["https://bit.ly/33cQHBX"](https://bit.ly/33cQHBX)

- ✓ **Tubería de Acero Inoxidable.** Respecto a la tubería de acero inoxidable, se va a emplear un catálogo perteneciente a WESCO Acero Inoxidable, al igual que para los módulos anteriores se va a utilizar una tubería con un diámetro de una pulgada (Ver **Figura 42.**).

Figura 42. Tubería de acero inoxidable utilizada en el banco.

| Tubería SCHEDULE 10 con Costura | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|--------|--------|--------|-------|--------------------|-------|-------------|------|
| Diámetro Nominal | Diámetro Externo | | SCH 10 | | | | | | |
| | NPS | pg | mm | Grosor | Pared | Presión Int. Trab. | | Peso Aprox. | |
| | | | | pg | mm | PSI | Kg/m | Lb/pie | Kg/m |
| 1/8 | .405 | 10.29 | .049 | 1.24 | 4270 | 300 | .19 | .28 | |
| 1/4 | .540 | 13.72 | .065 | 1.65 | 4240 | 298 | .33 | .49 | |
| 3/8 | .675 | 17.15 | .065 | 1.65 | 3320 | 233 | .42 | .63 | |
| 1/2 | .840 | 21.34 | 0.83 | 2.11 | 3420 | 240 | .67 | 1.00 | |
| 3/4 | 1.050 | 26.67 | .083 | 2.11 | 2690 | 189 | .86 | 1.28 | |
| 1 | 1.315 | 33.40 | .109 | 2.77 | 2830 | 199 | 1.40 | 2.09 | |
| 1 1/4 | 1.660 | 42.16 | .109 | 2.77 | 2210 | 155 | 1.81 | 2.69 | |
| 1 1/2 | 1.900 | 48.26 | .109 | 2.77 | 1920 | 135 | 2.09 | 3.11 | |
| 2 | 2.375 | 60.33 | .109 | 2.77 | 1520 | 107 | 2.64 | 3.93 | |
| 2 1/2 | 2.875 | 73.03 | .120 | 3.05 | 1380 | 97 | 3.53 | 5.27 | |
| 3 | 3.500 | 88.90 | .120 | 3.05 | 1120 | 79 | 4.33 | 6.46 | |
| 3 1/2 | 4.000 | 101.60 | .120 | 3.05 | 980 | 69 | 4.97 | 7.42 | |
| 4 | 4.500 | 114.30 | .120 | 3.05 | 867 | 61 | 5.61 | 8.37 | |
| 6 | 6.625 | 168.28 | .134 | 3.40 | 655 | 46 | 9.29 | 13.85 | |
| 8 | 8.625 | 219.08 | .148 | 3.76 | 555 | 39 | 13.40 | 19.98 | |
| 10 | 10.750 | 273.05 | .165 | 4.19 | 495 | 35 | 18.70 | 27.88 | |
| NORMA: ASTM A312 | | | | | | | | | |
| Longitud aprox. 6 mts con costura | | | | | | | | | |

Figura: WESCO ACERO INOXIDABLE. Tubería SCH10. SCH80 y SCH 40. [En línea]. Disponible en: “<https://www.wesco.com.co/default.asp?iID=GFLJKE>”

- ✓ **Tubería de CPVC.** Para el módulo de tubería en CPVC se va a emplear la misma tubería que para el resto del banco, si se desean ver las especificaciones de este se recomienda referirse a la sección anterior donde se selecciona la tubería del banco.

3.1.3.4 Bomba Centrífuga. Para la selección de la bomba se tuvo en cuenta factores como potencia, caudal, NPSH y eficiencia. En la selección de la bomba se decidió utilizar la marca fabricante Barnes de Colombia S.A.³⁰, como primera referencia de selección se tuvo en cuenta la potencia mínima requerida como resultado de la carga necesaria en el sistema hidráulico 0.025850498 HP.

³⁰ BARNES DE COLOMBIA S.A. Catálogo bombas periféricas DE 1 5-1. Bogotá. Barnes. 2019.

Se utilizó la referencia DE 1 10-1 HF con una potencia de 1 HP, a continuación, se muestra las características del equipo en la **Figura 43**.

Figura 43. Características Bomba Barnes de referencia DE 1 5-1.

| Modelo | Ref. | Potencia (HP) | Voltaje (v) | H max. (mca) * | Q max. (GPM) ** | Succión | Descarga | Peso (Kg) |
|-----------|--------|---------------|-------------|----------------|-----------------|---------|----------|-----------|
| DE 1 5-1 | 1A0077 | 0.5 | 110/220 | 22 | 35 | 1-1/4" | 1" | 13 |
| DE 1 10-1 | 1A0079 | 1.0 | 110/220 | 32 | 47 | 1-1/4" | 1" | 16 |

Fuente: BARNES DE COLOMBIA S.A. Catálogo bombas periféricas DE 1 5-1. Bogotá. Barnes. 2019.

Una vez comprobada la potencia requerida de la bomba para el banco de pruebas se debe identificar que no se permita la cavitación en el sistema hidráulico, mediante el método referido en el libro Mecánica de Fluidos de Robert Mott se despeja el NPSH disponible (Ver **Ecuación 54**). El NPSH (Net Positive Head Suction) conocido como la carga de succión positiva requerida.

Ecuación 54. Cálculo de la NPSH disponible.

$$NPSH = h_{sp} + h_s - h_f - h_{vp}$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánico de fluidos. Sexta edición. Naucalpan de Juárez. Edo. de México: 2006. 414p.

Donde:

Psp: Presión estática (absoluta) sobre el fluido en el depósito.

hsp: Carga de presión estática (absoluta) sobre el fluido en el almacenamiento; se expresa en metros o en pies de líquido; $h_{sp} = P_{sp}/\gamma$.

hs: Diferencia de elevación desde el nivel del fluido en el depósito a la línea central de la entrada de succión de la bomba; se expresa en metros o en pies.

hf: Pérdida de carga en la tubería de succión, debido a la fricción y pérdidas menores; se expresa en metros o pies.

Pvp: Presión de vapor (absoluta) del líquido a la temperatura que se bombea.

hvp: Carga de presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo; se expresa en metros o en pies de líquido; $h_{vp} = P_{vp}/\gamma$.

Ecuación 55. Presión absoluta.

$$P_{abs} = P_{man} + P_{atm}$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánico de fluidos. Sexta edición. Naucalpan de Juárez. Edo. de México: 2006. 414p.

Ecuación 56. Presión absoluta para NSPH disponible @20°C

$$P_{abs} = \left(9.8 \frac{m}{s^2} * 998 \frac{Kg}{m^3} * 0.4m \right) + 74660.5 Pa = 78572.66 Pa$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánico de fluidos. Sexta edición. Naucalpan de Juárez. Edo. de México: 2006. 414p.

Ecuación 57. Presión absoluta para NSPH disponible @60°C

$$P_{abs} = \left(9.8 \frac{m}{s^2} * 984 \frac{Kg}{m^3} * 0.4m \right) + 74660.5 Pa = 78517.78 Pa$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánico de fluidos. Sexta edición. Naucalpan de Juárez. Edo. de México: 2006. 414p.

Ecuación 58. Cálculo de hsp para NPSH @20°C

$$h_{sp} = \frac{P_{sp}}{\gamma} = \frac{78572.66 N/m^2}{9780 N/m^3} = 8.034 m$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánico de fluidos. Sexta edición. Naucalpan de Juárez. Edo. de México: 2006. 414p.

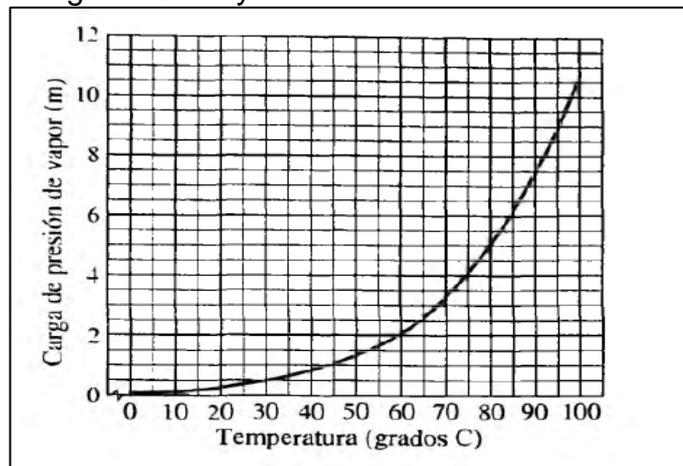
Ecuación 59. Cálculo de hsp para NPSH @60°C.

$$h_{sp} = \frac{P_{sp}}{\gamma} = \frac{78517.78 N/m^2}{9650 N/m^3} = 8.1365 m$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánico de fluidos. Sexta edición. Naucalpan de Juárez. Edo. de México: 2006. 414p.

Mediante la **Gráfica 1** de carga de vapor se halla Pvp a referencia de 20°C como temperatura inicial de pruebas y 60°C como temperatura final de pruebas para el banco de pérdidas de carga de presión.

Gráfica 1. Carga de presión de vapor para agua a 20°C y 60°C.



Fuente: MOTT. Robert. Mecánico de fluidos. Sexta edición. Naucalpan de Juárez. Edo. de México: 2006. 414p.

Ecuación 60. Cálculo de hvp para NPSH @20°C.

$$h_{vp} = \frac{P_{vp}}{\gamma} = \frac{2339.2 N/m^2}{9790 N/m^3} = 0.2389 m$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánico de fluidos. Sexta edición. Naucalpan de Juárez. Edo. de México: 2006. 414p.

Ecuación 61. Cálculo de hvp para NPSH @60°C

$$h_{vp} = \frac{P_{vp}}{\gamma} = \frac{19947N/m^2}{9650N/m^3} = 2.067 m$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánico de fluidos. Sexta edición. Naucalpan de Juárez. Edo. de México: 2006. 414p.

Donde @20°C y @60°C; $h_s = 0.4 m$. $h_f = 0.013m$.

Ecuación 62. Sumatoria NPSH @20°C.

$$NPSH = 8.034 m + 0.4m - 0.014m - 0.2389m = 8.1821 m.$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánico de fluidos. Sexta edición. Naucalpan de Juárez. Edo. De México: 2006. 414p.

Ecuación 63. Sumatoria NPSH @60°C.

$$NPSH = 8.1365 m + 0.4m - 0.01m - 2.067m = 6.4565 m.$$

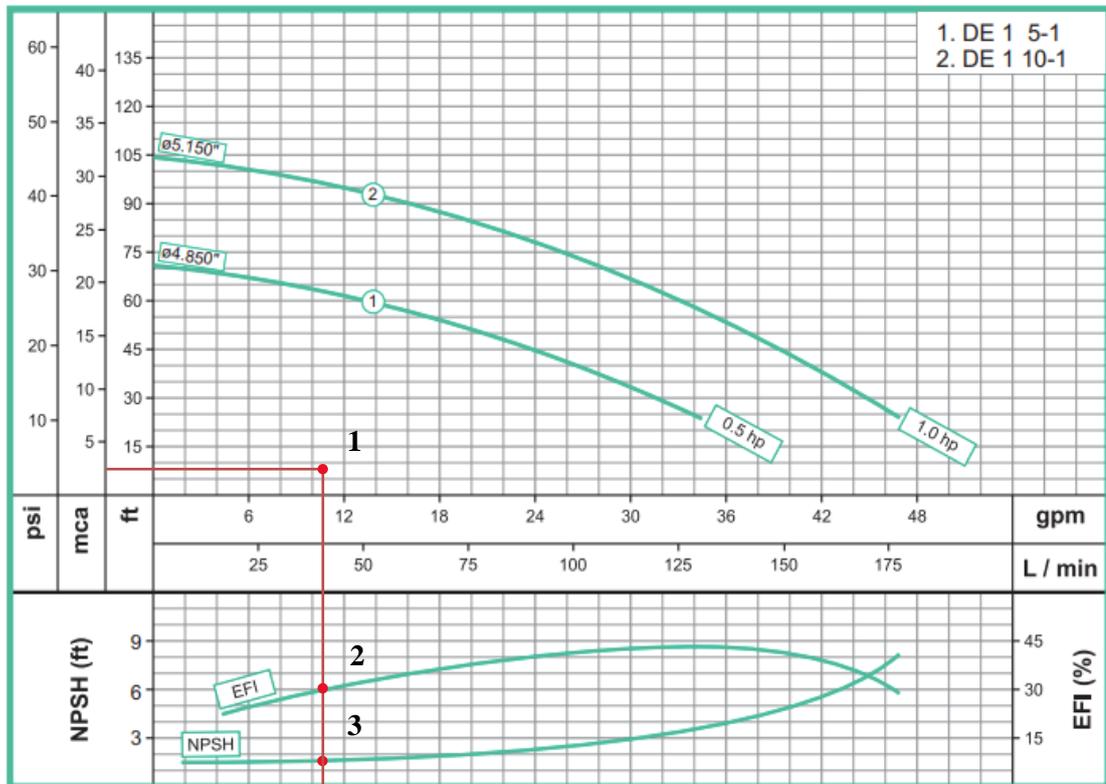
Fuente: MOTT. Robert. Mecánico de fluidos. Sexta edición. Naucalpan de Juárez. Edo. De México: 2006. 414p.

Una vez calculado el NPSH disponible del sistema hidráulico se debe obtener el NPSH requerido, este valor siempre es definido por catálogo del fabricante.

$$NPSH \text{ disponible} > NPSH \text{ requerido}$$

La eficiencia de la bomba se define por medio de la curva dada por el fabricante, el cual se entra por medio del caudal definido en el sistema, para el banco de pruebas de pérdidas de carga es $2.4 m^3/h \approx 40 l/m$. A continuación, en la **Gráfica 2.**, se identifica el NPSH requerida y la eficiencia de la bomba.

Gráfica 2. Curva de eficiencia de bomba Barnes DE 5-1.



Fuente: BARNES DE COLOMBIA S.A. Catálogo bombas periféricas DE 5-1. Bogotá. Barnes. 2019.

Donde el punto 1 demuestra el trabajo que estaría realizando la bomba según su punto de operación. En el punto 2 se identifica que la bomba tiene una eficiencia real de 30% en su punto de operación. Para el punto 3 se identifica que el NPSH requerido es de +/- 1.5 pies, con estos valores se deduce que la bomba seleccionada no generará cavitación ya que el NPSH disponible es mucho mayor que el NPSH requerido. $6.45 \text{ m} > 1.5 \text{ m}$.

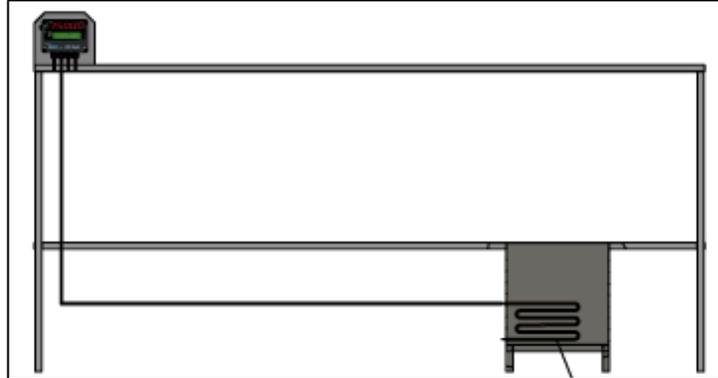
3.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN Y DE CONTROL

En esta sección primero que todo se va a realizar a establecer donde se van a ubicar los dispositivos para realizar las mediciones de presión, medición de nivel del fluido en el tanque y el sistema de medición de temperatura del tanque, se definirán los requerimientos funcionales y operacionales para posteriormente realizar la selección.

3.2.1 Ubicación de los dispositivos de medición y control. Los dispositivos necesarios para el sistema de control de medición tienen diferente distribución según su funcionamiento u operación, esto significa que serán tres puntos fundamentales de ubicación:

- ✓ Se utilizará una caja de control o caja de mando, esta se encargará de controlar y modificar las diferentes variables de funcionamiento del sistema, temperatura y nivel en el tanque del fluido de agua. En la **Figura 44.** se ilustra el dispositivo y la ubicación dentro del banco de pruebas para determinar las pérdidas de energía.

Figura 44. Ubicación de la caja de control del sistema de medición y control.

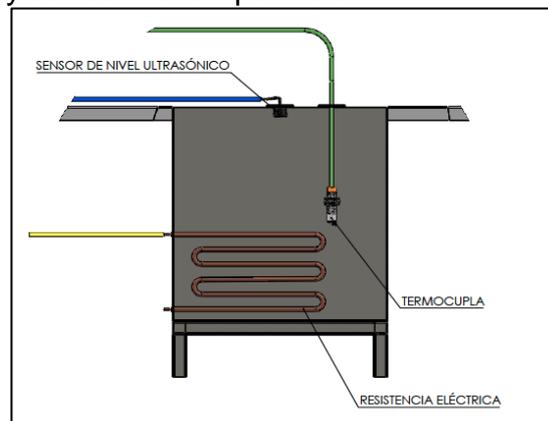


Fuente: elaboración propia.

- ✓ Sensor de nivel ubicado en la parte superior del tanque que se encarga de recibir las diferentes señales que emite hacia el fluido, esta señal será transmitida a la caja de control.
- ✓ Sensor de temperatura (Termocupla) se ubicará a nivel inferior del tanque, encargado de registrar la medición de temperatura del agua en el tanque y transmitir esta señal para controlar en rangos operativos de 20°C a 60°C.

En la **Figura 45** se ilustra la ubicación de los sensores de nivel y temperatura.

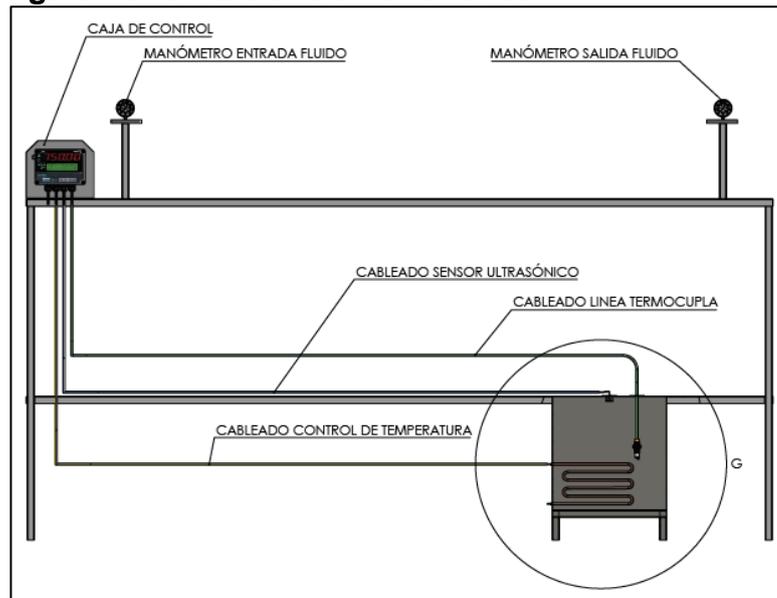
Figura 45. Ubicación de sensor de nivel y sensor de temperatura.



Fuente: elaboración propia.

- ✓ Los medidores de presión, conocidos mejor como manómetros se ubicarán justo en el inicio y final de la sección modular intercambiable de tubería, esto con el fin de poder cambiar los diferentes materiales de tubería y así poder identificar las medidas de presión que estas sufren. A continuación, se muestra la ubicación de los manómetros en la **Figura 46**.

Figura 46. Ubicación de manómetros.



Fuente: elaboración propia.

3.2.2 Requerimientos funcionales y operacionales. Como requerimientos funcionales y operacionales para el sistema de medición y control encontramos lo siguiente:

- ✓ El sistema de control debe ser capaz de controlar el nivel de agua en el tanque, adicional controlar la temperatura de operación en el sistema hidráulico, la temperatura de operación es de 20°C a 60°C, por medio del panel de control.
- ✓ Tener la característica de medir el nivel en todo el tanque.
- ✓ El sistema de medición de presión debe tener la suficiente resolución para cuantificar las mediciones de presión en el sistema hidráulico.
- ✓ Tanto para la medición y control de temperatura y nivel, se debe integrar en una caja de mando capaz de controlar estas variables de una forma más intuitiva.

3.2.3 Selección del sistema de medición. Para la medición de las presiones en el sistema hidráulico del banco de pruebas, se utilizará un manómetro

diferencial capaz de arrojar medidas que estén en el rango de las caídas de presión generadas en el módulo.

Los manómetros ubicados en la entrada y salida del flujo de la sección modular, se encargarán de medir la diferencia de presión cuando entra el agua y cuando sale el agua del mismo.

Es de recordar que la carga en la sección justo donde se ubicará el primer punto de medición es de $0.1809 \text{ mmH}_2\text{O} = 0.01783 \text{ bar} = 17.7397 \text{ hPa}$.

A continuación, se seleccionará un manómetro diferencial de alta precisión para presiones bajas (Ver **Figura 47.**), se utilizará el equipo 312-4 de la marca italiana Testo. Este sensor de presión tiene características que a continuación son ilustradas en el **Cuadro 55**.

Cuadro 55. Manómetro diferencial 312-4

| Características | |
|---------------------------|------------------------|
| Sistema de visualización: | Digital |
| Tecnología: | De presión diferencial |
| Aplicaciones: | Agua |
| Rango de Presión: | Min 0 bar. Max 0.2 bar |
| Exactitud: | -20°C a 200°C |

Fuente: TESTO. testo 312-4 - Manómetro diferencial. {En línea}. Fecha. {20 de septiembre de 2019}. Disponible en: (<https://bit.ly/2LS5Dj6>).

Figura 47. Manómetro diferencial Testo 312-4

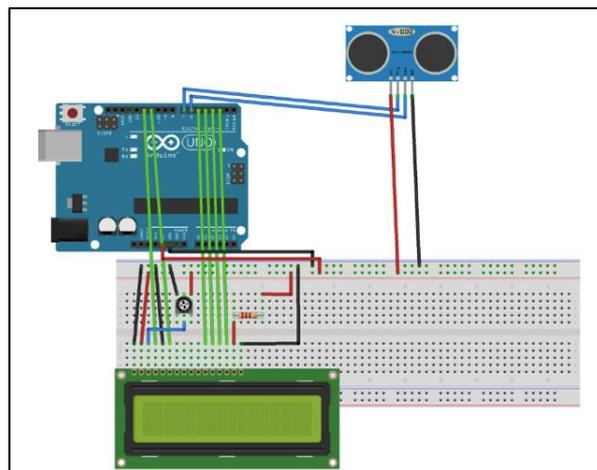


Fuente: TESTO. testo 312-4 - Manómetro diferencial. {En línea}. Fecha. {20 de septiembre de 2019}. Disponible en: (<https://bit.ly/2LS5Dj6>).

3.2.4 Selección del sistema de medición y control. Los sensores de nivel son dispositivos encargados de la medición de altura de un fluido, por lo general agua o gas en tanques o cualquier otro dispositivo de almacenamiento.

Para la selección del sistema de control se utilizarán sensores de nivel de tipo ultrasónico, esta clase de sensor son los más conocidos o utilizados en el mercado industrial debido a su costo, facilidad de operación y precisión. Los sensores ultrasónicos para el control de nivel operan mediante un procesador de señales analógicas, un microprocesador, suiches de rango y el circuito de salida a la caja de control o procesador (Ver **Figura 48.**). Este sistema opera con él envió de impulsos de señal ultrasónico donde los haz chocan contra la superficie del líquido. El sensor de nivel lo que hace después es detectar el eco de la superficie del líquido y lo envía de vuelta al microprocesador para una representación de la distancia entre el sensor y el nivel de la superficie del líquido. Mediante una constante y muy rápida actualización de datos, determina la distancia real entre el sensor y la superficie.

Figura 48. Representación básica del sistema de nivel ultrasónico



Fuente: DEL VALLE. Luis. Sensor de nivel de agua con Arduino {En línea}. Fecha. {20 de septiembre de 2019}. Disponible en: (<https://bit.ly/335CHK4>).

El sensor seleccionado que cumple con los requerimientos funcionales y operativos es hps+25/DD/TC/E/G1 del fabricante Micro Sonic. Este sensor de ultrasonido tiene características que a continuación son mencionadas en el **Cuadro 56.**

Cuadro 56. Sensor de nivel IP67.

| Características | |
|--------------------------------|--------------------|
| Tecnología: | Ultrasonido |
| Aplicaciones: | Para Tanques |
| Medio: | Líquidos |
| Rango Max. Nivel: | 990mm |
| Temperatura de Proceso: | Min -25°C Max 70°C |
| Indicador: | Digital. |

Fuente: DIRECT INDUSTRY. Micro Sonic SENSOR DE NIVEL POR ULTRASONIDOS / PARA LÍQUIDO / CON INDICADOR DIGITAL / IP67. {En línea}. Fecha. {20 de septiembre de 2019}. Disponible en: (<https://bit.ly/2LUK817>).

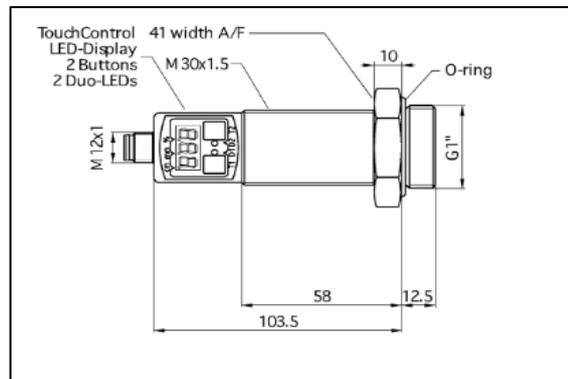
Figura 49. Sensor de nivel IP67



Fuente: DIRECT INDUSTRY. Micro Sonic SENSOR DE NIVEL POR ULTRASONIDOS / PARA LÍQUIDO / CON INDICADOR DIGITAL / IP67. {En línea}. Fecha. {20 de septiembre de 2019}. Disponible en: (<https://bit.ly/2LUK817>).

Este sensor tiene la característica de contar con un indicador digital incorporado que adicional de enviar las señales de alerta según la configuración de altura de nivel del líquido, puede mostrar la lectura de nivel, esto facilitando al usuario del banco de pruebas constatar a que nivel de fluido se tiene en el banco (Ver **Figura 50.**).

Figura 50. Dimensiones Sensor de nivel IP67



Fuente: DIRECT INDUSTRY. Micro Sonic SENSOR DE NIVEL POR ULTRASONIDOS / PARA LÍQUIDO / CON INDICADOR DIGITAL / IP67. {En línea}. Fecha. {20 de septiembre de 2019}. Disponible en: <https://bit.ly/2LUK817>.

Para el control de la temperatura se utilizará la misma caja de controladora, tiene la capacidad de regular la temperatura, este dispositivo viene de la conexión de una termocupla o termopar, donde mediante el envío de señales de información regula la temperatura de agua en el fluido deseable.

El sistema de control de temperatura será de tipo de proporcional donde consiste en mantener reguladamente el calentamiento de la resistencia esto favoreciendo en aproximar siempre la temperatura a la deseada. Debido a que se utilizará un constante movimiento del fluido, la temperatura sufrirá caídas de manera constante y en poco tiempo, como resultado de tener un impulso proporcional del controlador.

Se seleccionará un controlador de la marca **Omega**, la referencia de este dispositivo es CN8Pt, el cual se presenta en la **Figura 51**.

Figura 51. Controlador Omega CN8Pt



Fuente: OMEGA. Controladores de temperatura y proceso. {En línea}. Fecha: {20 de septiembre de 2019}. Disponible en: (<https://bit.ly/2AMubDR>).

3.3 SELECCIÓN DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE TEMPERATURA

En esta sección se van a seleccionar el dispositivo para permitir el calentamiento del agua en el tanque, esto se va a hacer en base al flujo de agua para garantizar que el agua en el tanque se mantenga a la temperatura correcta. Por medio de la **Ecuación 64.**:

Ecuación 64. Potencia necesaria por la resistencia.

$$\dot{q} = \frac{m * C_p * \Delta T}{0.8604}$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánico de fluidos. Sexta edición. Naucalpan de Juárez. Edo. de México: 2006. 414p.

En donde:

Q= Potencia necesaria para aumentar la temperatura de un fluido en cierta temperatura (W).

m= Masa del fluido (kg)

c_p = Calor específico del agua a presión constante (Cal/g*°C)

ΔT = Variación de temperatura esperada en el fluido (°C).

A continuación, se remplazan los valores en la **Ecuación 65.** para determinar la potencia necesaria para incrementar la temperatura del fluido en un tiempo de cinco minutos.

Ecuación 65. Potencia para incrementar la temperatura del fluido

$$\dot{q} = \frac{40kg * 1 \frac{Cal}{g * ^\circ C} * 40^\circ C}{0.8604 * 0.083h} = 22404 W$$

Fuente: MOTT. Robert. Mecánico de fluidos. Sexta edición. Naucalpan de Juárez. Edo. de México: 2006. 414p.

En base a esto. se va a buscar en un catálogo una resistencia que permita suministrar esta potencia establecida (Ver **Figura 52.**).

Figura 52. Calefactor seleccionado para aumentar la temperatura del agua

| Código | L en mm | Rosca tapón pulgadas GAS | Wattios | W/cm² | Material tubo | Peso en Kg | Clase térmica constructiva Electricfor | Gama caja de conexiones | |
|--------|---------|--------------------------|---------|-------|---------------|------------|--|-------------------------|----------|
| | | | | | | | | IP40 (1) | IP66 (2) |
| ED001 | 140 | 2" | 1800 | 7,1 | Inox | 0,84 | T-300-E | C-PA-2" | Gama M1 |
| ED002C | 140 | 2 1/2" | 1800 | 7,1 | Cu | 1,2 | T-175-E | C-FE-2*1/2 | Gama G1 |
| ED003 | 170 | 2" | 2400 | 7 | Inox | 0,92 | T-300-E | C-PA-2" | Gama M1 |
| ED003C | 170 | 2" | 2400 | 7 | Cu | 0,92 | T-175-E | C-PA-2" | Gama M1 |
| ED105 | 235 | 2" | 1200 | 2,2 | Inox | 1,1 | T-300-E | C-PA-2" | Gama M1 |
| ED005 | 235 | 2" | 3600 | 6,7 | Inox | 1,1 | T-300-E | C-PA-2" | Gama M1 |
| ED005C | 235 | 2" | 3600 | 6,7 | Cu | 1,1 | T-175-E | C-PA-2" | Gama M1 |
| ED107 | 345 | 2" | 2700 | 3,1 | Inox | 1,4 | T-300-E | C-PA-2" | Gama M1 |
| ED007 | 345 | 2" | 5400 | 6,3 | Inox | 1,4 | T-300-E | C-PA-2" | Gama M1 |
| ED007C | 345 | 2" | 5400 | 6,3 | Cu | 1,4 | T-175-E | C-PA-2" | Gama M1 |
| ED008 | 345 | 2 1/2" | 5400 | 6,3 | Inox | 1,6 | T-300-E | C-FE-2*1/2 | Gama G1 |
| ED008C | 345 | 2 1/2" | 5400 | 6,3 | Cu | 1,6 | T-175-E | C-FE-2*1/2 | Gama G1 |
| ED009 | 445 | 2" | 7200 | 6,2 | Inox | 1,6 | T-300-E | C-PA-2" | Gama M1 |
| ED009C | 445 | 2" | 7200 | 6,2 | Cu | 1,6 | T-175-E | C-PA-2" | Gama M1 |
| ED109 | 445 | 2 1/2" | 7200 | 6,2 | Inox | 1,8 | T-300-E | C-FE-2*1/2 | Gama G1 |
| ED110 | 505 | 2" | 3000 | 2,2 | Inox | 1,8 | T-300-E | C-PA-2" | Gama M1 |
| ED111 | 505 | 2 1/2" | 3000 | 2,2 | Inox | 1,9 | T-300-E | C-FE-2*1/2 | Gama G1 |
| ED210 | 505 | 2" | 4500 | 3,4 | Inox | 1,8 | T-300-E | C-PA-2" | Gama M1 |
| ED211 | 505 | 2 1/2" | 4500 | 3,4 | Inox | 1,9 | T-300-E | C-FE-2*1/2 | Gama G1 |
| ED010 | 505 | 2" | 9000 | 6,7 | Inox | 1,8 | T-300-E | C-PA-2" | Gama M1 |
| ED010C | 505 | 2" | 9000 | 6,7 | Cu | 1,8 | T-175-E | C-PA-2" | Gama M1 |
| ED011 | 505 | 2 1/2" | 9000 | 6,7 | Inox | 1,9 | T-300-E | C-FE-2*1/2 | Gama G1 |
| ED011C | 505 | 2 1/2" | 9000 | 6,7 | Cu | 1,9 | T-175-E | C-FE-2*1/2 | Gama G1 |
| ED012C | 680 | 2" | 12000 | 6,6 | Cu | 2,3 | T-175-E | C-PA-2" | Gama M2 |
| ED013C | 680 | 2 1/2" | 12000 | 6,6 | Cu | 2,5 | T-175-E | C-FE-2*1/2 | Gama G1 |
| ED014C | 835 | 2" | 15000 | 6,6 | Cu | 2,9 | T-175-E | C-PA-2" | Gama M2 |
| ED015C | 835 | 2 1/2" | 15000 | 6,6 | Cu | 3,1 | T-175-E | C-FE-2*1/2 | Gama G1 |
| ED016C | 990 | 2" | 18000 | 6,5 | Cu | 3,4 | T-175-E | C-PA-2" | Gama M2 |
| ED017C | 990 | 2 1/2" | 18000 | 6,5 | Cu | 3,6 | T-175-E | C-FE-2*1/2 | Gama G2 |

Fuente: BROTOTERMIC. Catálogo resistencias. [En línea]. Disponible en: "https://bit.ly/30UZyGB

En el **Cuadro 57.** se presenta la resistencia seleccionada:

Cuadro 57. Características de la resistencia seleccionada

| Código | ED017C |
|--------------------------|---------------|
| L (mm) | 990 |
| Rosca rapón pulgadas Gas | 2 ½" |
| Wattios | 18000 |
| W/cm ² | 6.5 |
| Material tubo | Cu |
| Peso (kg) | 2.5 |

Fuente: BROTOTERMIC. Catálogo resistencias. [En línea]. Disponible en: "https://bit.ly/2oEL1L"

En la **Figura 53.**, se presenta la resistencia seleccionada para el tanque:

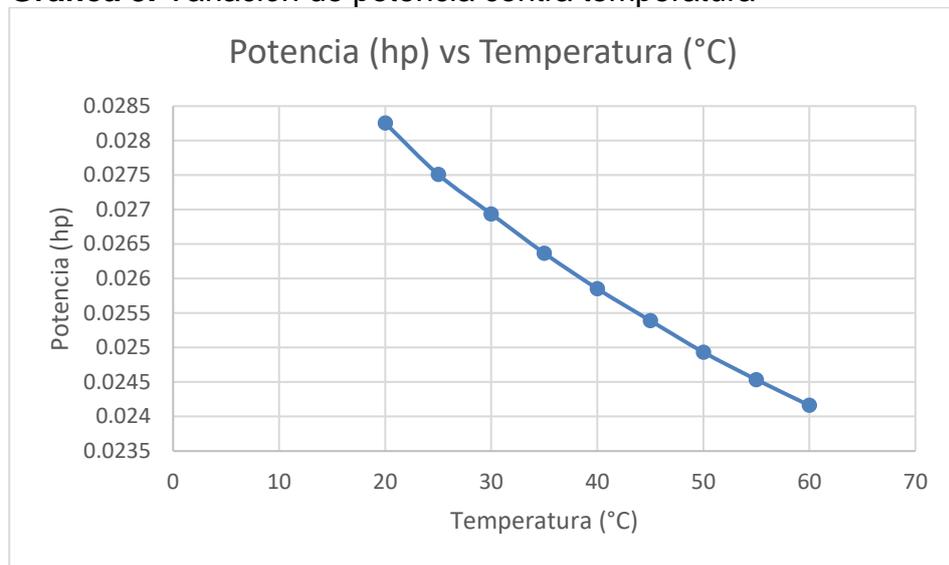
Figura 53. Resistencia eléctrica ED017C Brototermic



Fuente: BROTOTERMIC. Catálogo resistencias. [En línea]. Disponible en: "https://bit.ly/2oEL1L"

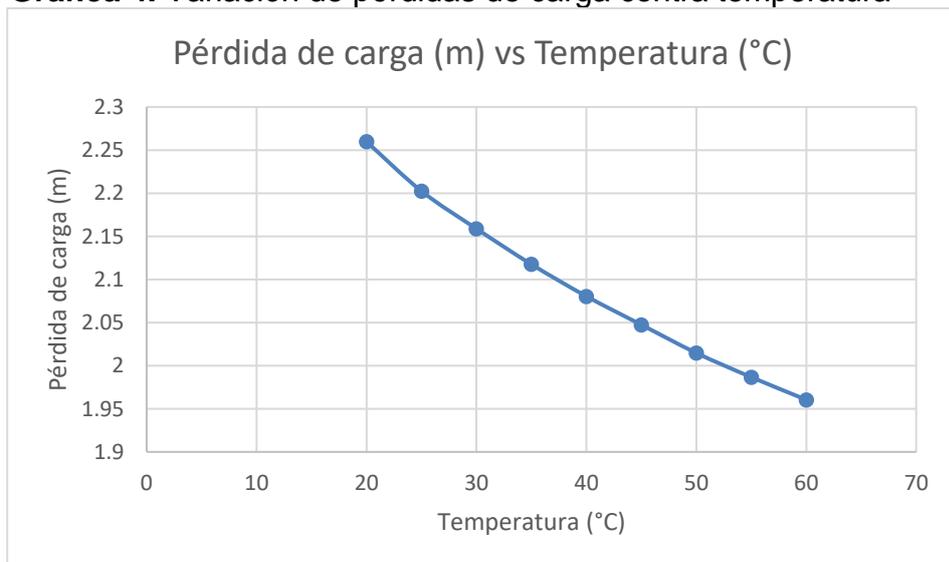
A continuación, se presentan los gráficos de variación de potencia y pérdida de carga, con respecto a la temperatura (Ver **Gráfica 3.** y **Gráfica 4.**).

Gráfica 3. Variación de potencia contra temperatura



Fuente: elaboración propia.

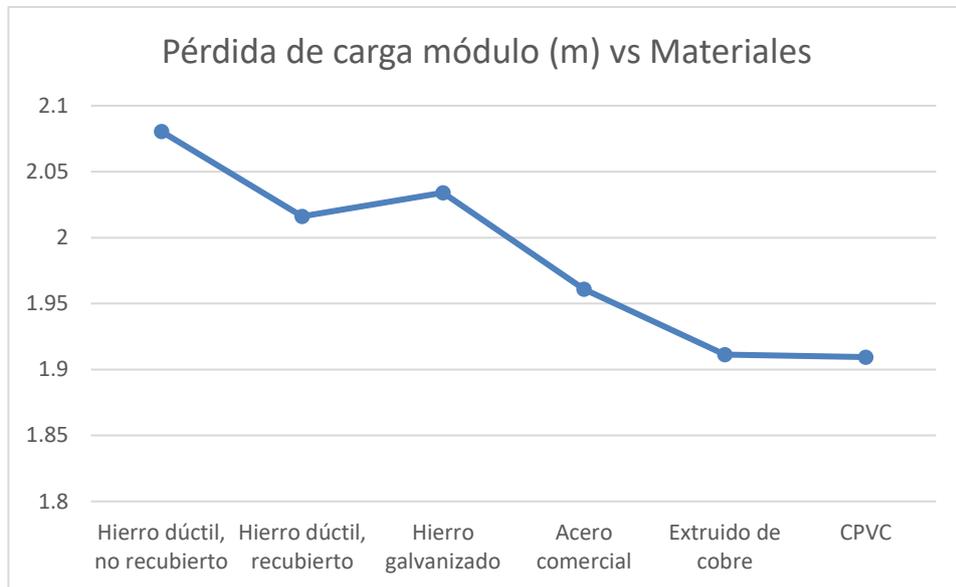
Gráfica 4. Variación de pérdidas de carga contra temperatura



Fuente: elaboración propia.

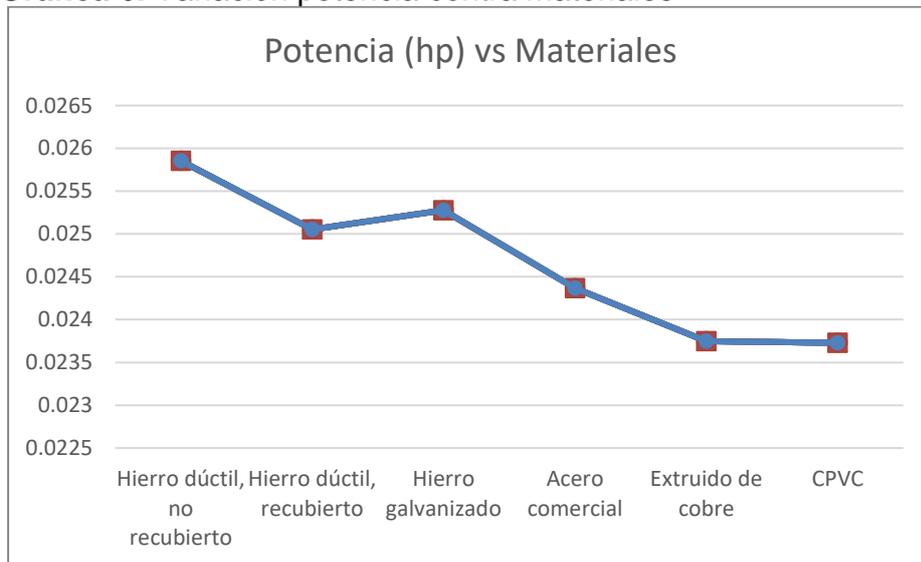
A continuación, se presentan los gráficos de variación de potencia y pérdida de carga, con respecto al material, a una temperatura de 40°C (Ver **Gráfica 5.** y **Gráfica 6.**).

Gráfica 5. Variación de pérdidas de carga contra materiales



Fuente: elaboración propia.

Gráfica 6. Variación potencia contra materiales



Fuente: elaboración propia.

3.4 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL BANCO DE PRUEBAS

En base a los resultados obtenidos en las secciones anteriores de este capítulo, el siguiente paso consiste en diseñar la estructura que soporte todos los elementos que componen el banco de pruebas, es importante buscar un material ligero y resistente, que permita que el banco resista en el escenario más crítico, el cual es cuando este se encuentra completamente lleno de agua, para evitar cualquier posible accidente también se debe considerar un factor de seguridad.

Previo al cálculo de la estructura, se va a establecer el peso que se encuentra soportando está en la sección del módulo, a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 66. Peso que soporta la estructura

$$W = W_{Tubería} + W_{Manómetro} + W_{Agua} + W_{Codos} + W_{Soportes}$$

Fuente: elaboración propia

A continuación, de la **Ecuación 67.** a la **Ecuación 71.**, se va a calcular cada uno de los parámetros de esta ecuación.

Ecuación 67. Peso de la tubería

$$W_{Tubería} = 11.893 \frac{kg}{m} * 1.9 m = 22.597 kg$$

Fuente: elaboración propia

Ecuación 68. Peso de los manómetros

$$W_{Manómetro} = 1.5 kg * 2 = 3 kg$$

Fuente: elaboración propia

Ecuación 69. Peso del agua

$$W_{Agua} = \left(\frac{0.02376 m}{2} \right)^2 * \pi * 1.9 m * 1000 \frac{kg}{m^3} = 0.8424 kg$$

Fuente: elaboración propia

Ecuación 70. Peso de los codos

$$W_{Codos} = 3.5 kg * 2 = 7 kg$$

Fuente: elaboración propia

Ecuación 71. Peso de los soportes

$$W_{Soportes} = 8.545 kg * 2 = 17.09 kg$$

Fuente: elaboración propia

Ahora, aplicando la **Ecuación 66.**, se calcula el peso que aguanta la viga:

Ecuación 72. Peso total que soporta la estructura

$$W = 22.597 kg + 3 kg + 0.8424 kg + 7 kg + 17.09 kg = 50.52 kg$$

Fuente: elaboración propia

Con este peso total se calcula la carga distribuida sobre la viga con la siguiente ecuación:

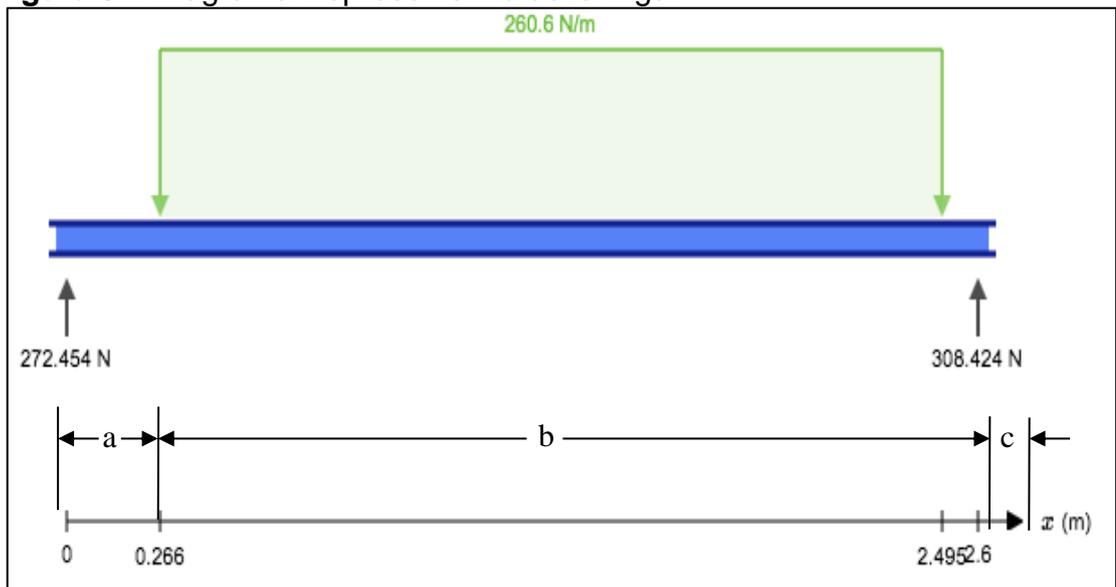
Ecuación 73. Carga distribuida sobre la viga

$$Carga\ Distribuida = \frac{50.52\ kg * 9.8\ \frac{N}{kg}}{1.9\ m} = 260.6\ \frac{N}{m}$$

Fuente: elaboración propia

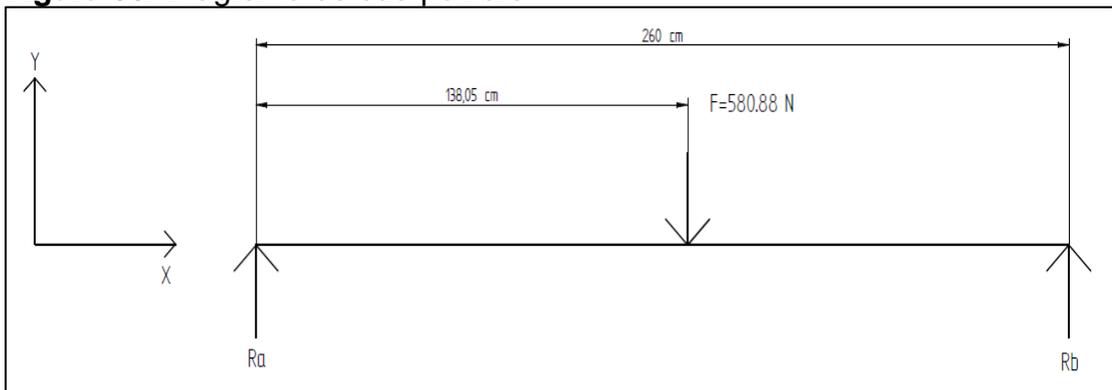
Con este valor de carga distribuida se van a calcular todo el resto de valores.

Figura 54. Diagrama Representativo de la Viga.



Fuente: elaboración propia.

Figura 55. Diagrama de cuerpo libre



Fuente: elaboración propia.

Reacciones en los apoyos:

Ecuación 74. Reacciones en los apoyos

$$\sum F_A = 0$$
$$F = Ra + Rb$$
$$\curvearrowright + \sum M_A = 0$$
$$-F * (a + b) + Rb * (a + b + c) = 0$$
$$Rb = \frac{F * (a + \frac{b}{2})}{(a + b + c)} = \frac{580.88 \text{ N} * (1.3805 \text{ m})}{2.6 \text{ m}} = 308.42 \text{ N}$$
$$Ra = 580.88 \text{ N} - 308.424 = 272.45 \text{ N}$$

Fuente: Elaboración propia.

Ya encontrado las fuerzas en los apoyos podemos calcular la fuerza máxima sobre la viga y el momento máximo que actúa sobre ella.

Momento Flector Intervalos:

Ecuación 75. Momento en el Intervalo [0. 0.26].

$$M(x_1) = R_a * (x_1)$$
$$M1(0) = 272.45 * (0) = 0 \text{ kN} * \text{m}$$

Fuente: elaboración propia.

Ecuación 76. Momento en 0.266m.

$$M1(0.26) = 272.45 * (0.266) = 72.47 \text{ kN} * \text{m}$$

Fuente: elaboración propia.

Ecuación 77. Momentos Intervalo [0.26. 2.599]

$$M(x_2) = R_a * (x_2) - \frac{w * (x_2 - 0.266)^2}{2}$$

Fuente: elaboración propia.

Ecuación 78. Momento en 0.27m.

$$M_2(0.27) = 272.45 * (0.27) - \frac{260.60 * (0.27 - 0.266)^2}{2} = 72.47 \text{ kN} * \text{m}$$

Fuente: elaboración propia.

Ecuación 79. Momento en 2.50m

$$M_2(2.50) = 272.45 * (2.50) - \frac{260.60 * (2.50 - 0.266)^2}{2} = 32.38 \text{ kN} * \text{m}$$

Fuente: elaboración propia.

Ecuación 80. Momento en Intervalo [2.495. 2.6]

$$M(x_3) = R_A * (x_3) - w * (2.496 - 0.266) * \left((x_3 - 2.50) + \frac{2.50 - 0.266}{2} \right)$$

Fuente: elaboración propia.

Ecuación 81. Momento en 2.50.

$$M_3(2.50) = 272.45 * (2.50) - 260.60 * 2.229 * (0 + 1.117) = 32.38 \text{ kN} * \text{m}$$

Fuente: elaboración propia.

Ecuación 82. Momento 2.6m

$$M_3(2.6) = 272.46 * (2.60) - 260.60 * 2.229 * (0.11 + 1.117) = 0 \text{ kN} * \text{m}$$

Fuente: elaboración propia.

Momento flector máximo:

Ecuación 83. Momento flector máximo

$$M(1.3805) = 272.45 * (1.3805) - \frac{260.60 * (1.3805 - 0.266)^2}{2} = 214.27 \text{ kN} * \text{m}$$

Fuente: elaboración propia.

Esfuerzo Cortante por Intervalos

Ecuación 84. Esfuerzo cortante en intervalo [0. 0.26]

$$Q(x_1) = R_a$$

Fuente: elaboración propia.

Ecuación 85. Esfuerzo cortante en intervalo 0m.

$$Q_1(0) = 272.45 = 272.45 \text{ kN}$$

Fuente: elaboración propia.

Ecuación 86. Esfuerzo cortante en intervalo 0.26m.

$$Q_1(0.26) = 272.45 = 272.45 \text{ kN}$$

Fuente: elaboración propia.

Ecuación 87. Esfuerzo cortante en Intervalo [0.26. 2.495]

$$Q(x_2) = R_a - w * (x_2 - 0.266)$$

Fuente: elaboración propia.

Ecuación 88. Esfuerzo cortante en Intervalo 0.26m.

$$Q_2(0.26) = 272.45 - 260.60 * (0.266 - 0.266) = 272.45 \text{ kN}$$

Fuente: elaboración propia.

Ecuación 89. Esfuerzo cortante en Intervalo 2.496m.

$$Q_2(2.50) = 272.46 - 260.60 * (2.495 - 0.266) = -308.42 \text{ kN}$$

Fuente: Elaboración propia.

Ecuación 90. Esfuerzo cortante en Intervalo [2.495. 2.6]

$$Q(x_3) = R_a - w * (2.496 - 0.266)$$

Fuente: elaboración propia.

Ecuación 91. Esfuerzo cortante en Intervalo en 2.5m.

$$Q(2.50) = 272.45 - 260.60 * (2.495 - 0.266) = -308.42 \text{ kN}$$

Fuente: elaboración propia.

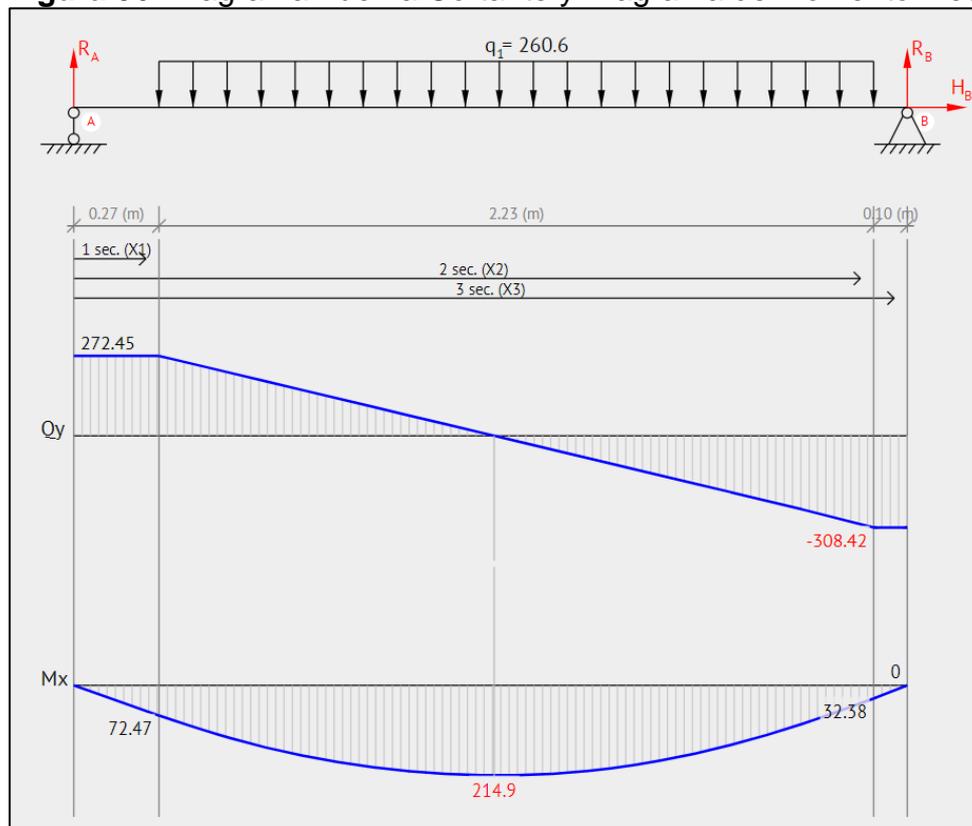
Ecuación 92. Esfuerzo cortante en Intervalo en 2.6m.

$$Q(2.60) = 272.45 - 260.60 * (2.496 - 0.266) = -308.42 \text{ kN}$$

Fuente: elaboración propia.

Obteniendo los siguientes diagramas:

Figura 56. Diagrama Fuerza Cortante y Diagrama de Momento Flector



Fuente: elaboración propia.

Para la selección del perfil de la estructura, se usará el acero ASTM A500. que es el material suministrado en el anexo E de Aceros Colmena donde el esfuerzo último de fluencia es de 350 MPa y el factor de seguridad usado es de 1.5 se selecciona este factor por “Diseño de estructura bajo cargas estáticas donde haya un alto grado de confianza en todos los datos de diseño”³¹. Se calcula el esfuerzo permisible asumiendo el esfuerzo de fluencia como el esfuerzo último.

Ecuación 93. Ecuación de Factor de Seguridad

$$Factor\ de\ seguridad = \frac{\sigma\ Fluencia}{\sigma\ Permisible}$$

Fuente: MOTT. Robert L. et al. Diseño de Elementos de Máquinas. México: Pearson Educación S.A. 2006. Pág. 185.

Ecuación 94. Esfuerzo permisible

$$\sigma\ Permisible = \frac{350\ Mpa}{1.5} = 234\ Mpa$$

Fuente: MOTT. Robert L. et al. Diseño de Elementos de Máquinas. México: Pearson Educación S.A. 2006. Pág. 185.

Ecuación 95. Ecuación de sección modular.

$$S_{requerido} = \frac{Momento_{m\acute{a}x}}{\sigma\ Permisible}$$

Fuente: MOTT. Robert L. et al. Diseño de Elementos de Máquinas. México: Pearson Educación S.A. 2006. Pág. 185.

Ecuación 96. Sección modular requerido.

$$S_{requerido} = \frac{214.91N * m}{234 \times 10^6\ N/m^2} = 0.133913\ cm^3$$

Fuente: MOTT. Robert L. et al. Diseño de Elementos de Máquinas. México: Pearson Educación S.A. 2006. Pág. 185

Según el **Anexo E** del catálogo de vigas de perfil cuadrado de la empresa colmena, que cumple con la sección requerida; se seleccionó el perfil 25 mm x 25 mm x 1.5 mm con módulo de sección de 0.133 cm³.

³¹ MOTT, Robert L., et al. Diseño de Elementos de Máquinas. México: Pearson Educación S.A., 2006. pág. 185.

Figura 57. Características perfil cuadrado de estructura.

| PERFIL CUADRADO | | | | | | | |
|-----------------|-----------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|--|--|---|
| TAMAÑO PERFIL | | ESPESOR DE PARED e mm | PESO NEGRO (kg/m) | ÁREA cm ² | FLEXIÓN | | |
| TAMAÑO NOMINAL | | | | | MOMENTO INERCIA I _x = I _y cm ⁴ | MÓDULO ELÁSTICO S _x = S _y cm ³ | RADIO DE GIRO r _x = r _y cm |
| PULG. | MM | | | | | | |
| 4 X 4 | 100 X 100 | 2,00 | 6,07 | 7,74 | 123,01 | 24,60 | 3,99 |
| | | 2,50 | 7,53 | 9,59 | 150,63 | 30,13 | 3,96 |
| | | 3,00 | 8,96 | 11,41 | 177,05 | 35,41 | 3,94 |
| | | 4,00 | 11,73 | 14,95 | 226,35 | 45,27 | 3,89 |
| | | 6,00 | 16,98 | 21,63 | 311,47 | 62,29 | 3,79 |

Fuente: Catálogo de perfiles metálicos. [En línea]. Disponible en: "https://bit.ly/30T6dRE".

Con las medidas del perfil seleccionado podemos encontrar la deformación de la viga con la ecuación del momento flector definida.

Ecuación 97. Integral de momento máximo.

$$\int EI \frac{d^2 y}{d x^2} = M$$

Fuente: MOTT. Robert L. et al. Diseño de Elementos de Máquinas. México: Pearson Educación S.A. 2006. Pág. 185.

Ecuación 98. Integral de deformación máximo.

$$\int EI \frac{d y}{d x} = M dx + C_1$$

Fuente: MOTT. Robert L. et al. Diseño de Elementos de Máquinas. México: Pearson Educación S.A. 2006. Pág. 185.

Ecuación 99. Primera integral de momento máximo.

$$EI \frac{d y}{d x} = 136.23 * x^2 - 86.86 * (x - 0.266)^3 + 86.86 * (x - 2.459)^3$$

Fuente: Elaboración propia.

Ecuación 100. Segunda Integral de deformación máxima.

$$EI Y_{max} = 45.41 * x^3 - 21.715 * (x - 0.266)^4 + 21.715 * (x - 2.459)^4$$

Fuente: Elaboración propia.

Condiciones de frontera

Ecuación 101. Condiciones de frontera en X=0 V=0

$$EI (0) = 45.41(0)^3 + C_2$$

Fuente: Elaboración propia.

Ecuación 102. Condiciones de frontera en $X=2.6$ $V=0$

$$EI(0) = 45.41 * (2.6)^3 - 21.715 * (2.6 - 0.266)^4 + 21.715 * (2.6 - 2.459)^4 \\ = C1 = 154.05$$

Fuente: elaboración propia.

Donde:

La deformación máxima estará ubicada en el centro de la carga distribuida $x=1.0965m$

Ecuación 103. Sustitución de valores al punto máximo de deformación.

$$EIY_{max} = 45.41 * (1.0965 m)^3 - 21.715 * (1.0965 - 0.266)^4 - 154.05 \\ = 203 N/m^2$$

Fuente: elaboración propia.

Ecuación 104. Deformación máxima en la viga a $1.0965m$.

$$Y_{max} = \frac{203 N/m^2}{EI}$$

Fuente: elaboración propia.

$E=150$ Gpa

$I= 150.63$ mm⁴

Ecuación 105. Deformación máxima en la viga.

$$Y_{max} = \frac{203 \frac{N}{m^2}}{\left(150 * 10^9 \frac{N}{m^2}\right) * (150.63 * 10^{-8}m)} = 0.0008 m = 0.8 mm$$

Fuente: elaboración propia.

Con este resultado podemos encontrar que la deformación de la viga con el perfil seleccionado es de 0.8 mm de deformación, para comprobar que el factor de seguridad escogido es el ideal para el diseño se utiliza la teoría de Von Mises-Hencky³² que es una teoría de la distorsión de la energía para explicar la falla de un material dúctil que es el “área bajo la curva esfuerzo-deformación unitaria hasta el punto donde se aplica el esfuerzo para un estado de esfuerzos unidireccional” permitiendo hallar un esfuerzo efectivo de tensión uniaxial.

Para el cálculo del esfuerzo cortante en el punto medio de la viga se determina con la siguiente ecuación³³ para elementos de pared delgada.

³² NORTON, Robert L. Diseño de Máquinas: Un Enfoque Integrado. (4a.ed.). Distrito Federal: Pearson Education. 2017. Pág.176

³³ BEER, Ferdinand Pierre, et al. Mecánica de Materiales. México: McGraw-Hill, 2009. pág. 390

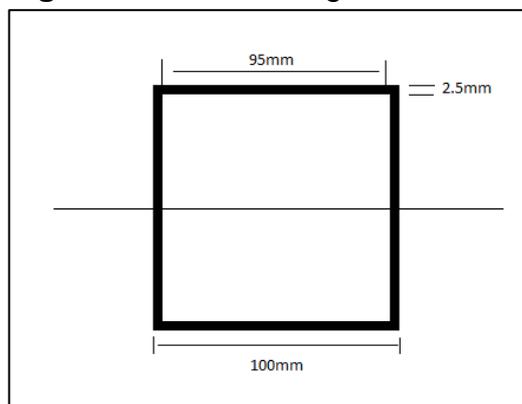
Ecuación 106. Esfuerzo Cortante.

$$\sigma_{TXZ} = \frac{VQ}{Ie}$$

Fuente: BEER. Ferdinand Pierre. et al. Mecánica de Materiales. México: McGraw-Hill. 2009. Pág. 390.

Siendo V el esfuerzo cortante máximo, I el momento de inercia, e es el espesor del perfil y Q el primero momento de área con respecto al eje neutro, en la **Figura 57** podemos encontrar las dimensiones del perfil seleccionado que se necesitan para los cálculos.

Figura 58. Perfil de Viga Cuadrado.



Fuente: elaboración propia

Para poder encontrar Q se utiliza la información de la Figura 57 que se calcula con la siguiente ecuación³⁴

Ecuación 107. Primer momento con respecto al eje neutro.

$$Q = A' * \bar{y}$$

Fuente: BEER. Ferdinand Pierre. et al. Mecánica de Materiales. México: McGraw-Hill. 2009. Pág. 290.

Ecuación 108. Primer momento con respecto al eje neutro.

$$Q = (2.5 \text{ mm})(95 \text{ mm})(48.75 \text{ mm}) \left(\frac{(1 \text{ m})^3}{(1000 \text{ mm})^3} \right) = 1.1578 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Fuente: BEER. Ferdinand Pierre. et al. Mecánica de Materiales. México: McGraw-Hill. 2009. Pág. 290.

³⁴ BEER, Ferdinand Pierre, et al. Mecánica de Materiales. México: McGraw-Hill, 2009. pág. 378

Ecuación 109. Esfuerzo Cortante

$$\sigma_{TXZ} = \frac{(260.6 \text{ N/m})(1.1578 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3)}{(150 \times 10^{-8} \text{ m}^4)(2.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3)} * \frac{1 \text{ Mpa}}{1 \times 10^6 \text{ m}^3} = 0.80 \text{ Mpa}$$

Fuente: Elaboración propia.

Para calcular el esfuerzo cortante máximo lo encontramos con la combinación del esfuerzo cortante con la siguiente ecuación³⁵.

Ecuación 110. Esfuerzo Cortante Máximo.

$$\sigma_{Tmax} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2}\right)^2 + \sigma_{TXZ}^2}$$

Fuente: NORTON. Robert L. Diseño de Máquinas: Un Enfoque Integrado. (4a.ed.). Distrito Federal: Pearson Education. 2017. Pág. 179

Ecuación 111. Esfuerzo cortante máximo.

$$\sigma_{Tmáx} = \sqrt{\left(\frac{234 \text{ Mpa} - 0}{2}\right)^2 + (0.8 \text{ Mpa})^2} = 117.002 \text{ Mpa}$$

Fuente: elaboración propia.

³⁵ NORTON, Robert L. Diseño de Máquinas: Un Enfoque Integrado. (4a.ed.). Distrito Federal: Pearson Education. 2017. Pág. 75

4. MANUAL DE INSTALACIÓN, OPERACIÓN, RECOMENDACIONES DE MANTENIMIENTO Y LA GUÍA DE LABORATORIO PARA LAS PRÁCTICA CON EL BANCO DE PRUEBAS DE PÉRDIDAS DE CARGA

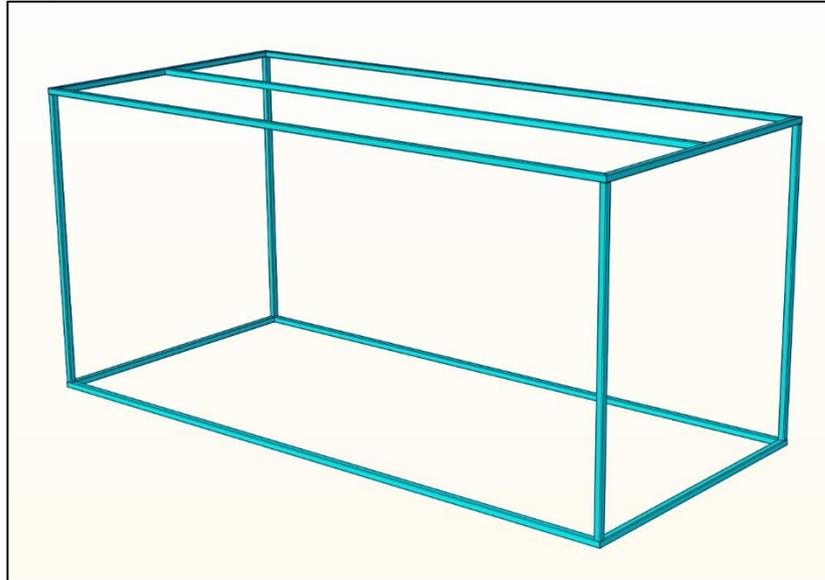
Posterior al diseño completo de todos los sistemas que componen el banco de pruebas, el desarrollo de los planos de este y el listado de elementos que componen el banco. El siguiente paso consiste en el desarrollo de todos los manuales que se le entregaran al cliente, tanto de instalación, operación, recomendaciones de mantenimiento y guía de laboratorio para la práctica con el banco.

4.1 MANUAL DE INSTALACIÓN DEL EQUIPO

| | |
|---|---|
|  <p>Fundación Universidad de América</p> | <p>Manua de Instalación del Banco de Pruebas</p> |
| <p>Materiales:</p> <ul style="list-style-type: none">✓ 30 tornillos de 3 pulgadas con rosca.✓ 30 tuercas de seguridad.✓ 8 perfiles cuadrado de 4x4" de 3ms c/u.✓ 5 Kg de soldadura.✓ 6 ruedas.✓ Resistencia eléctrica.✓ 3 láminas de acero inoxidable 2.60 x 1.20m✓ Caja control de tmeperatura.✓ Medidor de nivel ultrasónico.✓ Bomba eléctrica de 1HP de potencia.✓ 4 tubos CPVC 1" de 3 m c/u.✓ Soldadura para CPVC PAVCO✓ 2 acoples rápidos (Racores)✓ 1 válvula de 3 vías, 1". | |

Para la primera fase de la instalación, se deben tomar los perfiles que conforman la estructura del banco de pruebas y realizar una unión por medio de soldadura de cada uno de estos (Ver **Figura 1.**).

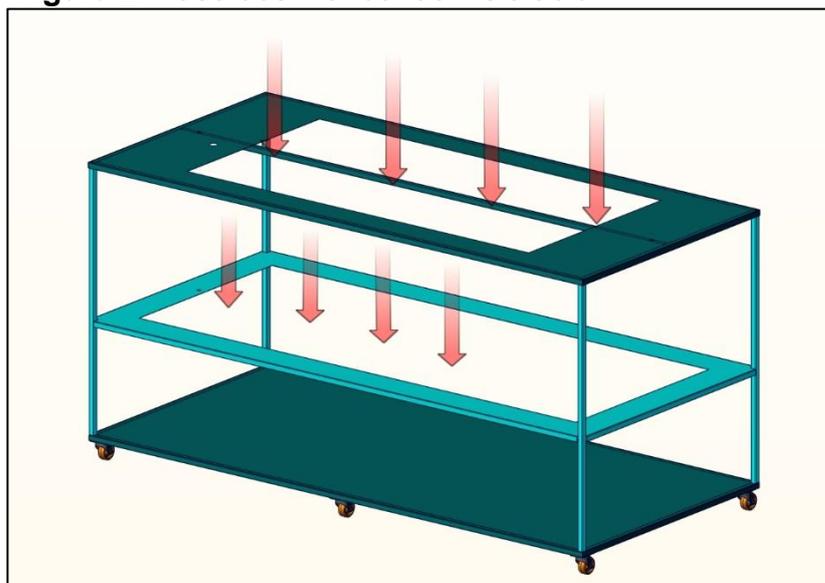
Figura 1. Fase uno manual de instalación



Fuente: elaboración propia

Posterior a la respectiva unión de la primera parte de la estructura con los perfiles, se debe realizar la unión de las láminas en la sección intermedia y superior del banco, la unión de esta al igual que la de los perfiles anteriores se debe hacer también por medio de soldadura (Ver **Figura 2.**).

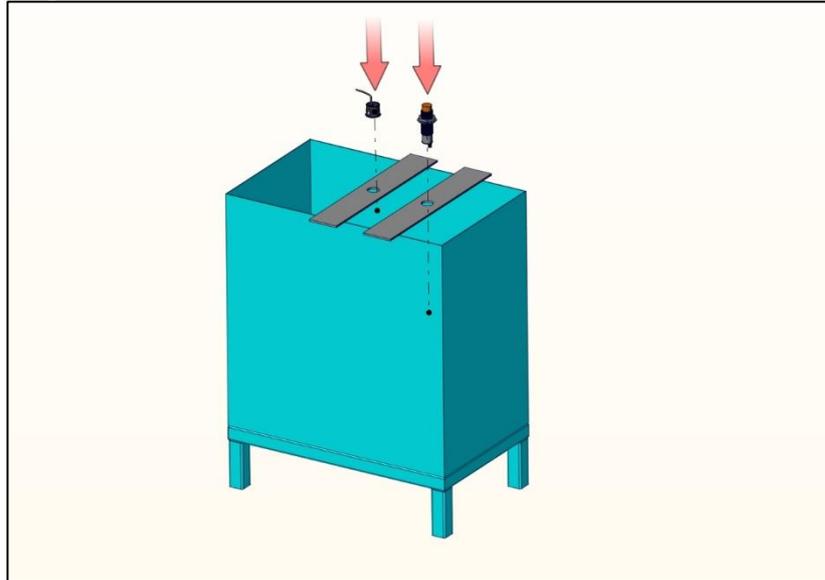
Figura 2. Fase dos manual de instalación



Fuente: elaboración propia

Con la estructura ya lista, el siguiente paso consiste en preparar cada uno de los otros distintos componentes del banco empezando por el tanque, al tanque hay que unirle los soportes de la tubería a través de soldadura y por medio de los orificios que estos poseen se deben instalar los sensores de nivel y de temperatura (Ver **Figura 3.**).

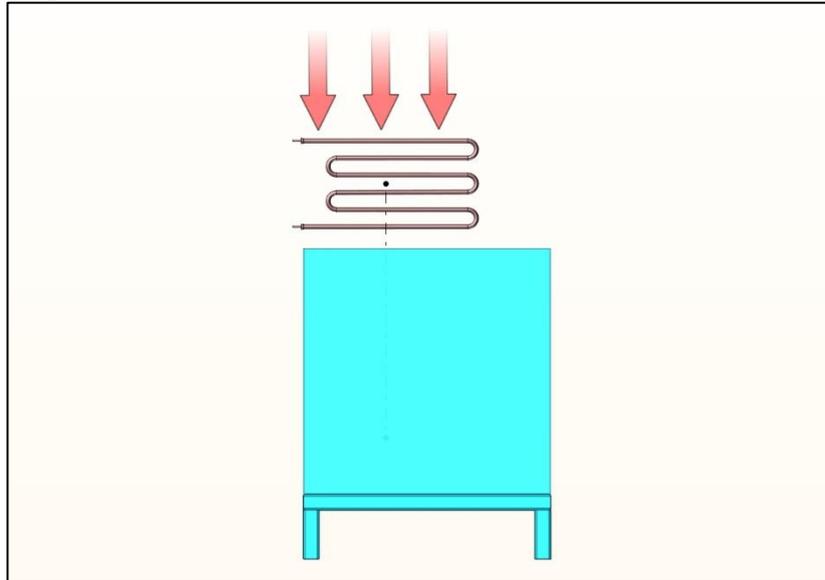
Figura 3. Fase tres manual de instalación



Fuente: elaboración propia

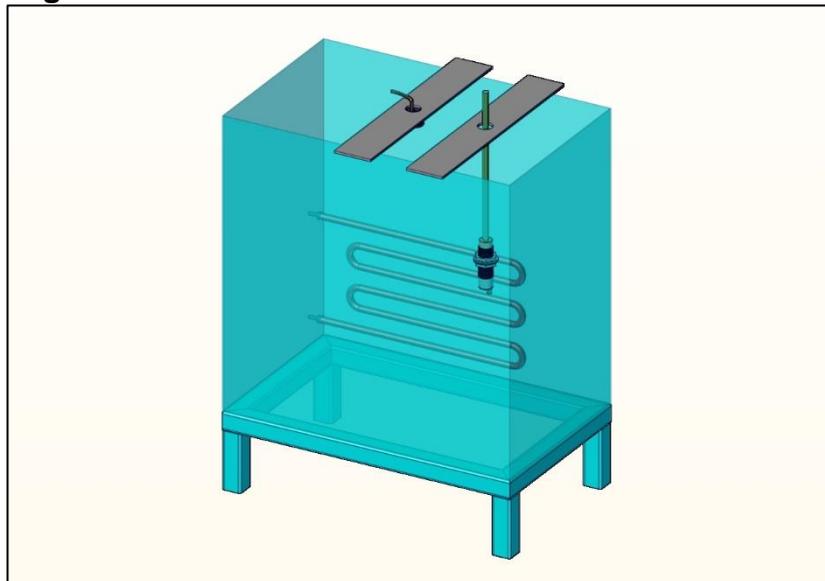
Con los soportes y sensores ya montados, el siguiente paso consiste en ingresar la resistencia al tanque (Ver **Figura 4.**), con esta instalada, el tanque ya se encuentra listo con cada uno de los componentes de este (Ver **Figura 5.**).

Figura 4. Fase cuatro del manual de instalación



Fuente: elaboración propia

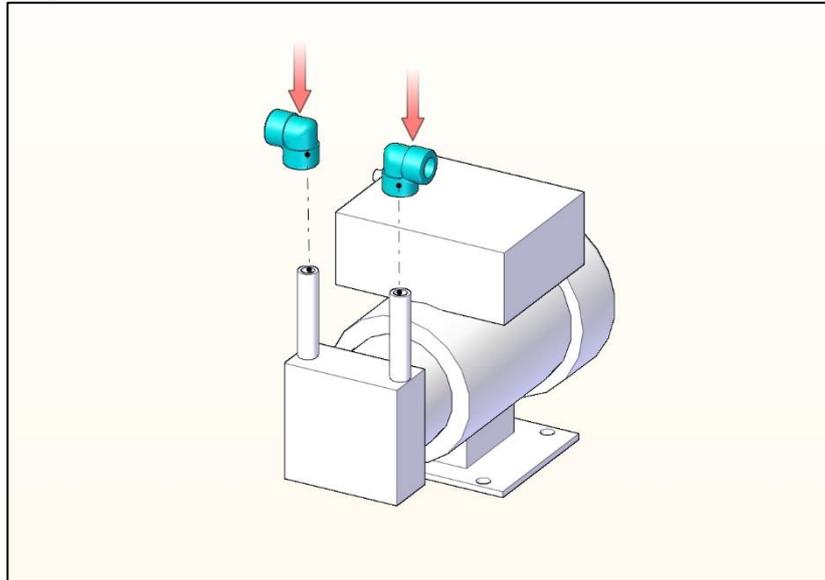
Figura 5. Fase cinco del manual de instalación



Fuente: elaboración propia

El siguiente paso consiste en tomar la bomba seleccionada previamente y se le instalan los codos tanto del fluido que entra a esta, como del fluido que sale, la unión de estos se realiza por medio de soldadura para tubería CPVC de la marca PAVCO (Ver **Figura 6.**).

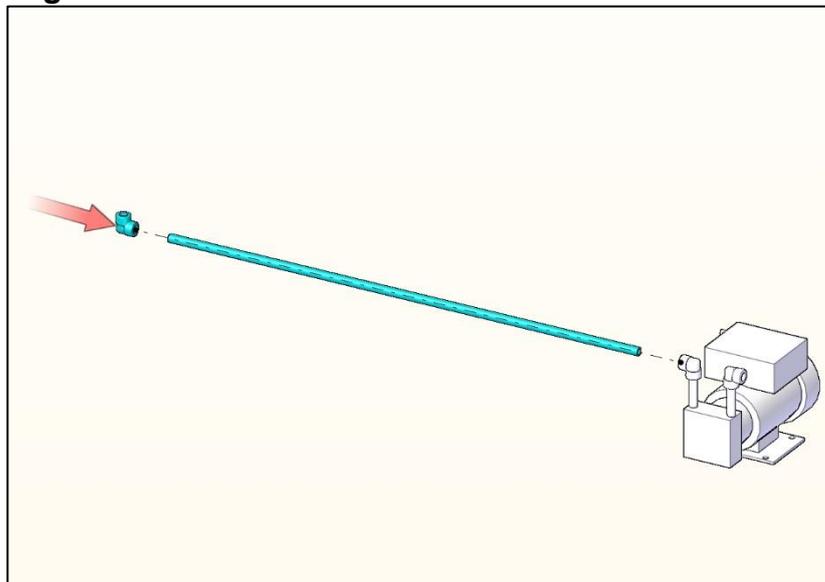
Figura 6. Fase seis del manual de instalación



Fuente: elaboración propia

Se le agrega la tubería CPVC a la salida de la bomba, así como el codo para elevar el fluido y estos se unen también utilizando la soldadura para tubería CPVC Pavco (Ver **Figura 7.**).

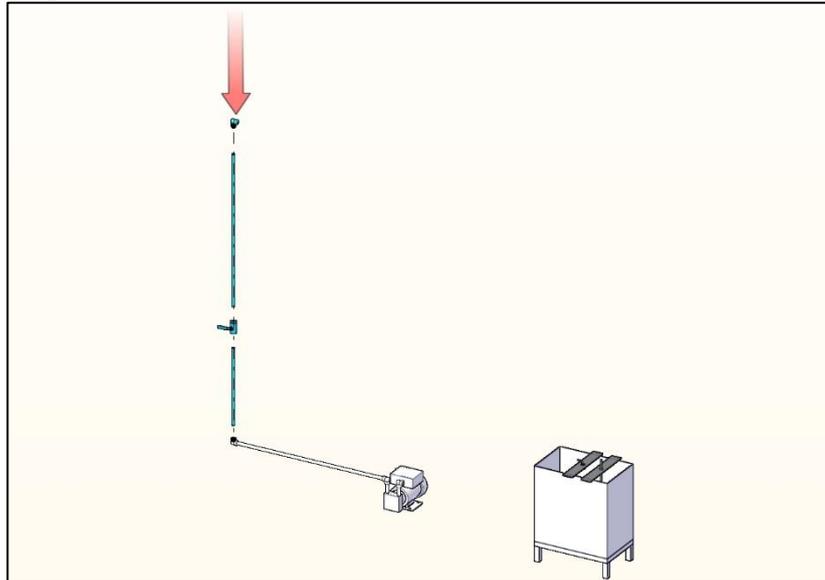
Figura 7. Fase siete del manual de instalación



Fuente: elaboración propia

El siguiente paso consiste en seguir agregando los siguientes tramos de tubería, la válvula para controlar la salida del fluido de la bomba y un codo en la parte superior de este, la unión de todo esto se realiza a través de soldadura para tubería PAVCO (Ver **Figura 8.**).

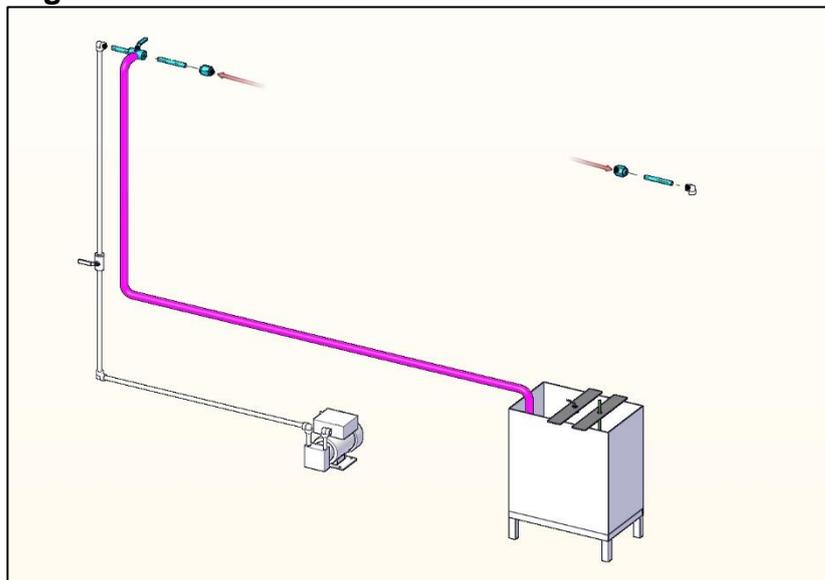
Figura 8. Fase ocho del manual de instalación



Fuente: elaboración propia

A continuación, se instala la tubería para el “by-pass”, así como también la válvula de tres vías para accionarla en caso de que se quiera cambiar el módulo, la unión de todo esto se realiza al igual que en los otros casos con la soldadura PAVCO (Ver **Figura 9.**)

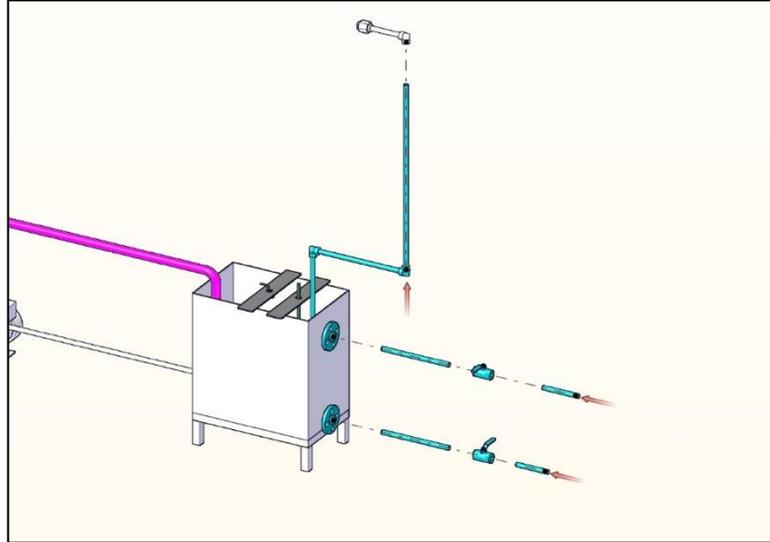
Figura 9. Fase nueve del manual de instalación



Fuente: elaboración propia

A continuación, en el tanque, se instala la tubería para ingresar el fluido a este y la tubería para retirar el fluido al terminar las prácticas, estas se instalan con una brida cada una y con la respectiva válvula en cada una de estas, posterior a esto se instala la tubería a través de la cual va a regresar el fluido al tanque desde el módulo (Ver **Figura 10.**)

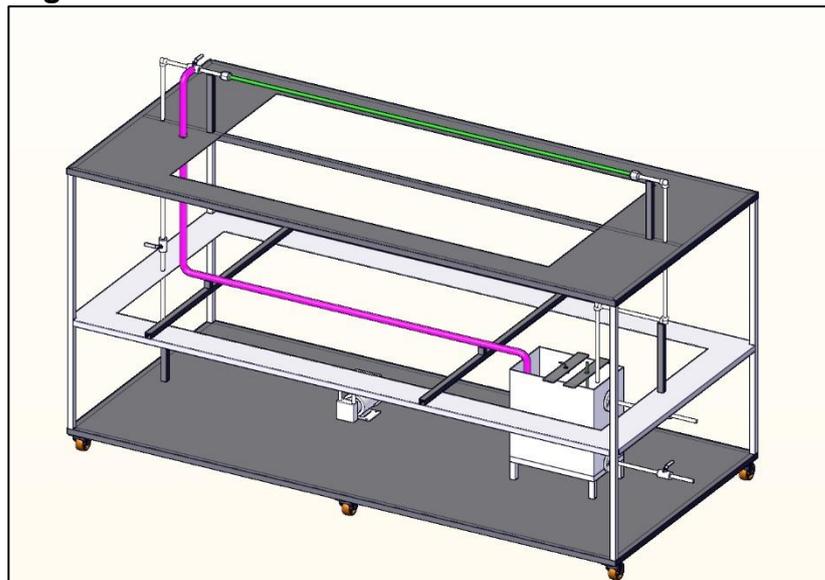
Figura 10. Fase diez del manual de instalación



Fuente: elaboración propia

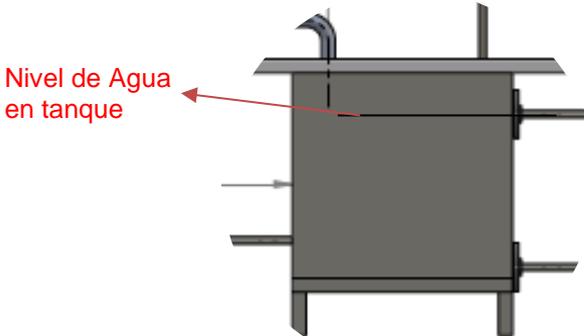
Finalmente, se presenta el banco completamente instalado y operativo, con su respectivo módulo instalado (Ver **Figura 11.**)

Figura 11. Fase once del manual de instalación

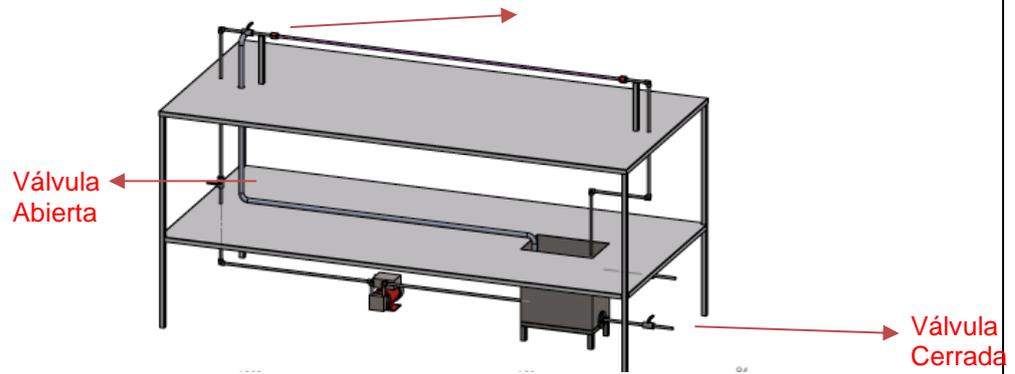


Fuente: elaboración propia

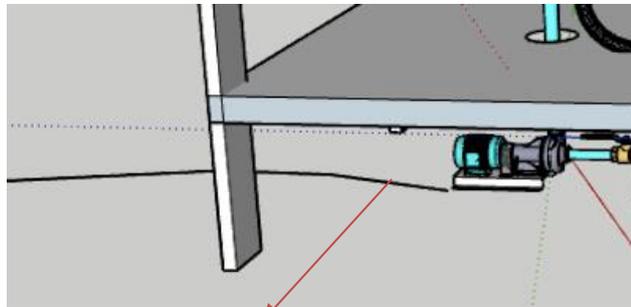
4.2 MANUAL DE OPERACIÓN DEL EQUIPO

| | |
|---|--------------------------|
|  <p>Fundación Universidad de América</p> | <p>GUIA DE OPERACIÓN</p> |
| <p>Primeros Pasos:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Verificar la cantidad de agua en el tanque este por encima de la línea indicadora de nivel. <div style="text-align: center;"><p>Nivel de Agua en tanque</p></div> <ol style="list-style-type: none">2. Comprobar que las válvulas en la línea de alimentación del sistema estén completamente abiertas, todas las demás deben estar completamente cerradas. | |

Válvula Cerrada

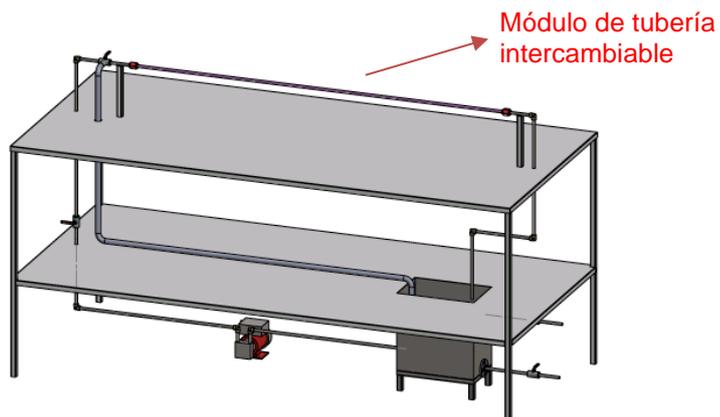


3. Comprobar la conexión eléctrica de la bomba centrífuga.

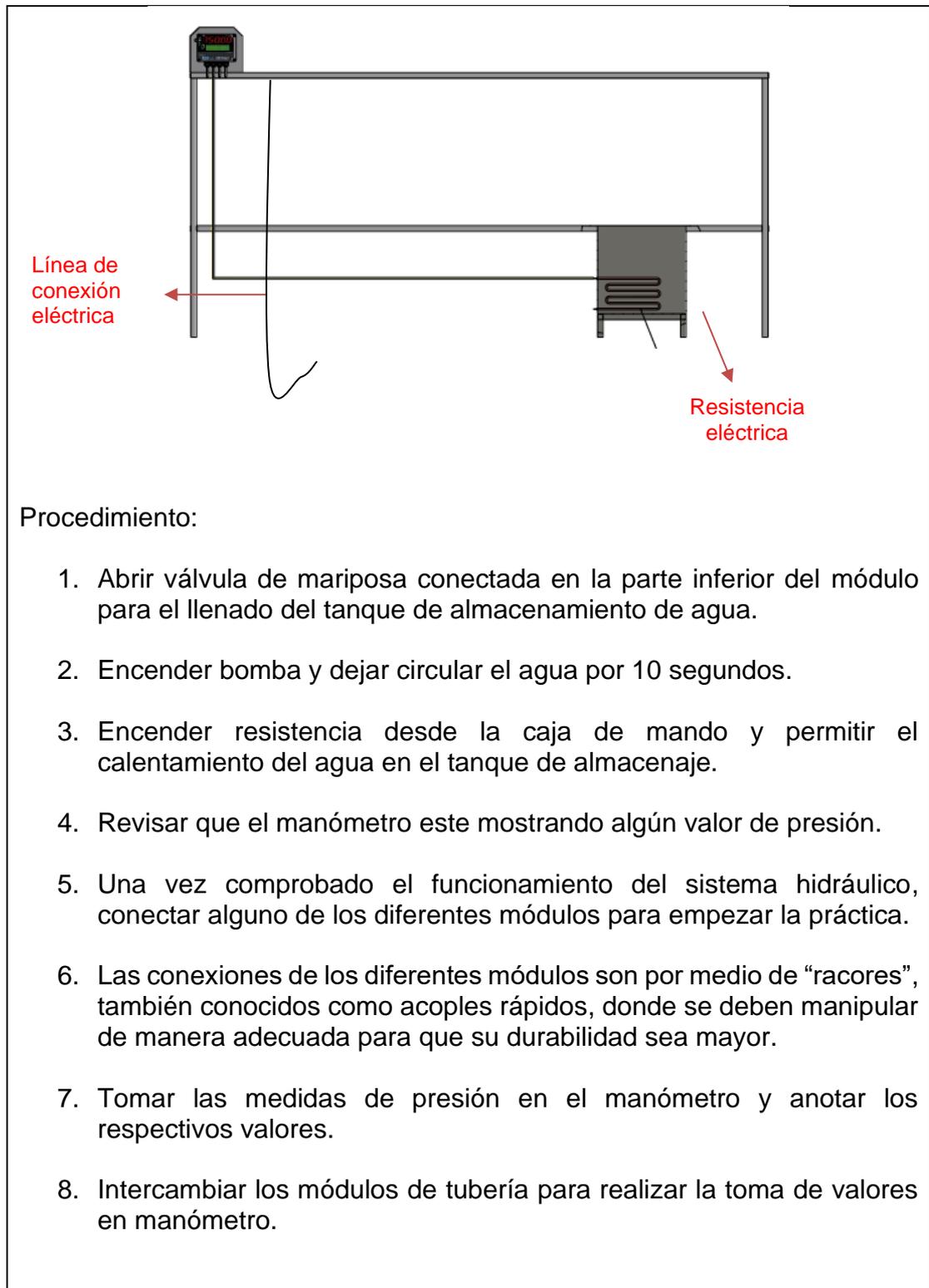


Línea de conexión eléctrica

4. Tener alguno de los módulos instalados para evitar derrame de agua.



5. Comprobar la conexión eléctrica de la resistencia para el respectivo calentamiento de agua.



Fuente: elaboración propia.

4.3 RECOMENDACIONES DE MANTENIMIENTO BÁSICAS PARA EL EQUIPO

| | |
|---|---|
|  <p>Fundación Universidad de América</p> | <p>RECOMENDACIONES DE MANTENIMIENTO BÁSICAS PARA EL EQUIPO</p> |
| <ul style="list-style-type: none">✓ Realizar una inspección visual a todas las uniones de tuberías para poder detectar algún tipo de fuga (diferente a las conexiones rápidas de los módulos cambiables).✓ Realizar una inspección visual a la bomba, incluidas sus uniones para determinar algún tipo de fuga.✓ Realizar la respectiva purga de la bomba según instrucciones de fabricante.✓ Realizar una inspección visual de ruidos o de algunas excesivas vibraciones de la bomba. ✓ Realizar una inspección visual del tanque de almacenamiento de agua para evitar que cualquier partícula externa circule por el banco de pruebas, evitando así algún tipo de daño en la bomba. ✓ Evitar contaminaciones del agua con agentes como jabones, detergentes y productos corrosivos. ✓ Disponer de un filtro en la salida del tanque a la bomba. ✓ Respetar las temperaturas máximas de operación del banco de pruebas para evitar daños en los materiales. ✓ No utilizar la bomba por largas jornadas de operación para darle una vida útil más larga. | |

Fuente: elaboración propia.



Fundación
Universidad de América

Recomendaciones de Mantenimiento.

| Sistema | Parte | Inspección. ¿Que revisar? | Periodicidad | Falla a Prevenir | Revisión | Prevención |
|--------------------|--------------------------------|---|--------------|----------------------------------|---|---|
| Estructural | Superficie superior del Módulo | Inspección visual de presencia de oxidación | Mensual | Corrosión y Desgaste de la pieza | Encontrar zonas afectadas por manchas producto de la oxidación del metal. | Evitar que los derrames de agua duren por largos periodos de tiempo, aplicando algún tipo de aditivo que prevenga la corrosión. Pintar zonas afectadas para evitar propagar la corrosión. |

| | | | | | | |
|-----------------|----------------------------|--|---------|---|--|--|
| | Tanque de depósito de agua | Inspección visual de presencia de fugas o agujeros | Mensual | Fisuras, rupturas y fugas de agua | Encontrar algún tipo de fuga de agua proveniente de agujeros. rupturas | Se debe utilizar algún tipo de masilla que selle las fisuras en el tanque. |
| | Parales | Inspección visual de fisuras o doblez | Mensual | Fisuras o doblez de los parales del banco de pruebas | Encontrar algún tipo de doblez en los parales que sostienen el banco de pruebas. así como alguna fisura. | Evitar sobrepesos en el banco de pruebas, que permita generar algún tipo de doblez en el banco de pruebas |
| Potencia | Bomba hidráulica | Rodamientos del eje | Mensual | Desgaste de por deslizamiento de los rodamientos de la bomba hidráulica | Verificar presencia de lubricante en el equipo | Lubricar de manera correcta y con la cantidad suficiente en los tiempos establecidos para evitar cualquier tipo de desgaste por fricción de los componentes. |
| | Bomba hidráulica | Cavitación | Mensual | Desgaste de componentes internos causados por cavitación | Revisión del tipo de entrada del fluido a la bomba | Ubicación de la bomba en el mismo nivel del tanque, evitado cada del fluido |

| | | | | | | |
|-------------------|---|---|---------|---|--|--|
| Hidráulico | Tubería/Red Hidráulica | Revisión de fugas | Mensual | Fugas en uniones de tuberías con accesorios y fisuras | Encontrar algún tipo de fuga de agua proveniente de agujeros. rupturas | Se debe utilizar algún tipo de masilla que selle las fisuras en el tanque. |
| Medición | Manómetros | Inspección de Valores de Manómetros | Mensual | Errores en toma de mediciones | Inspección visual de valores | Mediante el uso adecuado de los manómetros, evitando golpes o movimientos fuertes, se previene que los manómetros sufran errores en la toma de valores |
| Control | Sensores de medición de nivel (Ultrasónico) | Revisión visual de suciedad en los sensores | Mensual | Errores en la medición del nivel | Revisión de cualquier tipo de suciedad u obstáculo frente al sensor de nivel del agua. | Mantener el agua del tanque limpia, fuera de cualquier tipo de contacto con el sensor de nivel para prevenir suciedades. |

4.4 GUÍA DE LABORATORIO PARA LA PRÁCTICA CON EL BANCO

En la presente tabla se presenta la guía para realizar la práctica de laboratorio con el banco de pruebas con variación de temperatura en agua:

| | |
|---|--|
|  Fundación Universidad de América | FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA FACULTAD DE INGENIERÍAS GUIA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO |
| Programa: Ingeniería Mecánica, Ingeniería de Petróleos, Ingeniería Química e Ingeniería Industrial | Departamento: |
| Nombre de la Asignatura: Mecánica de Fluidos | Código Asignatura: 3445 |
| Nombre del Estudiante: | Nombre del Profesor: |
| # Practica: 1 | Fecha: 4 de agosto del 2019 |

1. Introducción.

Mediante esta práctica de laboratorio y el uso del equipo modular se pueden determinar las diferentes pérdidas de carga en tuberías por variación del material de la tubería (hierro dúctil, no recubierto, hierro dúctil, recubierto, hierro galvanizado, acero comercial, tubo extruido de cobre y CPVC), utilizando como fluido de ensayo el agua a diferentes temperaturas: máximo hasta 60°C por seguridad y temperaturas entre 20°C y 60°C. Los diferentes módulos son intercambiables fácilmente por el uso de acoples rápidos. también conocidos “racores”.

2. Objetivos.

- Determinar el efecto de la variación de temperatura en las pérdidas de carga en el banco.
- Determinar el efecto de la variación del material de la tubería en las pérdidas de carga en el banco.

3. Marco Teórico.

El primer paso consiste en identificar si el flujo es laminar, transicional o turbulento, ya que existen diferentes ecuaciones y métodos para cada caso. vale la pena resaltar que el flujo laminar se presenta cuando la velocidad es baja y el fluido tiene una alta viscosidad. por otra parte, el flujo turbulento se caracteriza por una turbulencia y mezcla en el flujo y bajo condiciones de alta velocidad y una viscosidad reducida. finalmente, el flujo transicional se presenta en una región entre el flujo laminar y turbulento en la cual se puede presentar cualquiera de estos dos patrones de flujo.

El tipo de flujo puede ser evaluado usando la siguiente ecuación, que corresponde al número de Reynolds:

Ecuación 1. Número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho * V * d}{\mu} = \frac{V * d}{\nu}$$

Fuente. Mott, Robert. Mecánica de Fluidos. México D.F. Pearson Educación. 2006. p. 247.

Donde:

ρ = Densidad del fluido (kg/m³)

μ = Viscosidad dinámica (N*s/m²)

V = Velocidad promedio del flujo (m/s)

D = Diámetro interno de la tubería (m)

Para números de Reynolds menores a 2000, el flujo se considera de tipo laminar, mientras que para valores más grandes que 4000 es considerado de tipo turbulento. Entre estos dos valores, se encuentra el flujo de tipo transicional (de 2000 a 4000)³⁶.

Cálculo de las Pérdidas de Carga:

Las pérdidas de carga del flujo en una instalación dependen de las tasas de flujo, así como del tipo de material y de las dimensiones de las tuberías. Por lo tanto, muchas ecuaciones fueron propuestas para calcular estos valores, como la ecuación de Darcy-Weisbach y la correlación de Colebrook-White.

³⁶ Mott, Robert. Mecánica de Fluidos. México D.F. Pearson Educación. 2006. p. 247.

La ecuación de Darcy-Weisbach

Esta ecuación fue la primera en ser desarrollada para calcular las pérdidas de carga en flujos de fluidos en tuberías. La ecuación corresponde a la siguiente:

Ecuación 2. Ecuación de Darcy-Weisbach

$$h_f = f * \frac{L}{d} * \frac{V^2}{2 * g}$$

Fuente. KHALIL ABABNEH. Amer. Fluid Mechanics: Chapter 10. Flow in Conduits. p. 12.

Donde:

L = Longitud de la tubería (m)

d = Diámetro de la tubería (m)

V = Velocidad de flujo promedio (m/s)

f = Factor de fricción

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

El valor de h_f representa, por lo tanto, la caída de presión friccional para un flujo a velocidad V, a través de una tubería con longitud L y un diámetro d.

Factor de Fricción

El factor de fricción es adimensional, y este puede ser determinado a través de correlaciones de tipo semi empíricas, las cuales son una función del Número de Reynolds y de la relación ϵ/d donde ϵ representa la rugosidad de la tubería.

Para el caso del flujo laminar, la expresión del factor de fricción es derivada de la relación entre la ecuación de Darcy-Weisbach y la ecuación Hagen-Poiseuille.

Ecuación 3. Factor de fricción derivado de la relación Darcy Weisbach y Hagen-Poiseuille

$$h_f = \frac{32 * \mu * L * V}{\rho * g * d^2}$$

La ecuación muestra que, para el flujo laminar, las pérdidas de carga cambian linealmente con la velocidad, a pesar de que la longitud y el diámetro de la tubería, así como la viscosidad y la densidad del fluido, también influyen en las pérdidas de carga.

Por lo tanto, es realmente sencillo obtener una expresión del factor de fricción para los casos del flujo laminar, basado únicamente en el número de Reynolds.

Ecuación 4. Factor de fricción para el flujo laminar

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

Fuente. KHALIL ABABNEH. Amer. Fluid Mechanics: Chapter 10. Flow in Conduits. p. 12.

Para los casos del flujo turbulento. el factor de fricción es inicialmente estimado a través de la expresión empírica mostrada en la siguiente ecuación:

Ecuación 5. Factor de fricción para el flujo turbulento

$$f = \frac{0.316}{Re^{1/4}}$$

Con- este valor. y a través de un proceso iterativo. podemos determinar un nuevo valor utilizando la correlación de Colebrook.

Ecuación 6. Correlación de Colebrook

$$f = \left[-2 * \log \left(\frac{\varepsilon/d}{3.7} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} \right) \right]^{-2}$$

La correlación brinda una buena representación para la variación del coeficiente de fricción para el flujo turbulento. y este es la base para la creación del diagrama de Moody.

Pérdidas Menores

Hasta ahora. las pérdidas de carga solo han sido consideradas por efecto de la tubería. Sin embargo. las pérdidas menores. son generadas por cambios en la dirección de la tubería. cambios de diámetros o la presencia de accesorios. deben ser también tomadas en cuenta. La separación del flujo. por ejemplo. es causada por los accesorios. resultando en la generación y disipación de remolinos de turbulencia. Estas pérdidas menores pueden superar las pérdidas por fricción. y son representadas por la siguiente ecuación:

Ecuación 7. Pérdidas de carga por un accesorio.

$$h_m = K * \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

h_m = Pérdidas de carga por un accesorio.

K = Coeficiente de pérdidas relacionado con ese accesorio.

En el siguiente cuadro. se presentan los valores típicos de K para varios tipos de accesorios.

Cuadro 1. Valores típicos de K para varios tipos de accesorios

| Componente | K |
|------------------------------|----------|
| Válvula de Bola | 0.05 |
| Válvula de Asiento de Ángulo | 2 |
| Válvula de Compuerta | 0.17 |
| Válvula de Diafragma | 2.30 |
| Codo a 90° | 0.90 |
| Codo a 45° | 0.40 |
| Tee | 1.80 |
| Tenedor de Fontanería | 1.30 |
| Filtro | 10 |
| Venturi | 2.50 |
| Orificio | 5 |

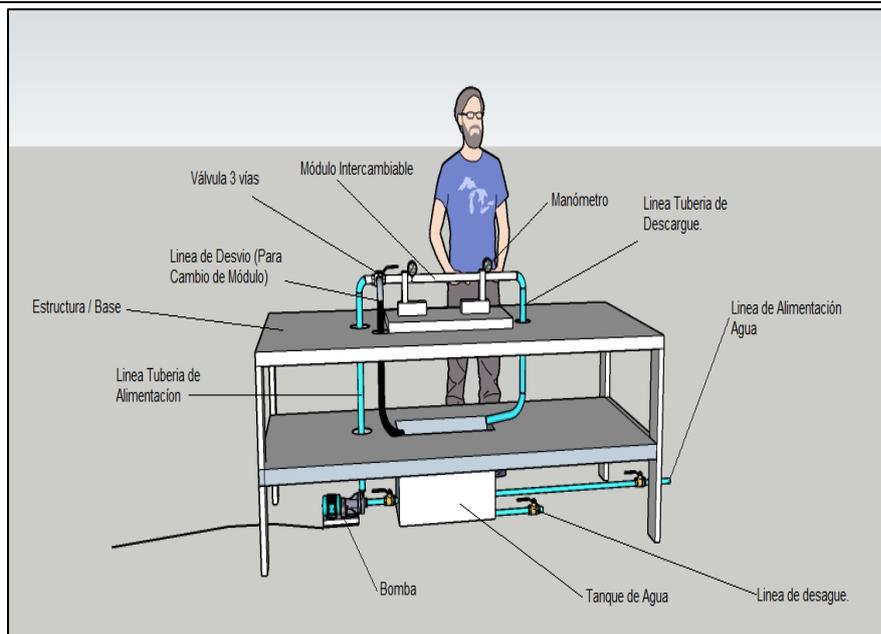
3.Objetivos

- Determinar las pérdidas de energía por cada módulo.
- Determinar las pérdidas de energía con variación de temperatura.
- Comparar el factor de fricción experimental con el teórico.

4.Equipos, Instrumentos y/o materiales.

Banco de pruebas:

- Bomba centrífuga de 1 HP.
- Módulos de tubería Intercambiable (hierro dúctil, no recubierto, hierro dúctil, recubierto, hierro galvanizado, acero comercial, tubo extruido de cobre y CPVC).
- Codos.
- Válvulas 3 vías.
- Tubería de CPVC.
- Tanque para almacenar el agua.
- Válvulas de mariposa.
- Válvulas de tres vías.
- Racores.



5. Metodos y procedimiento

Primeros Pasos;

- ✓ Verificar la cantidad de agua en el tanque este por encima de la línea indicadora de nivel.
- ✓ Comprobar que las válvulas del sistema (Circulación del agua) estén completamente abiertas, aquellas que corresponden al sistema para determinar las pérdidas de carga.
- ✓ Comprobar la conexión eléctrica de la bomba centrífuga.
- ✓ Tener alguno de los módulos instalados para evitar derrame de agua.
- ✓ Comprobar visualmente en el panel de control, la conexión eléctrica de la resistencia para el respectivo calentamiento de agua.
- ✓ Encender la bomba centrífuga manualmente.

Procedimiento:

- ✓ Encender bomba y dejar circular el agua por 10 segundos.
- ✓ Encender resistencia desde la caja de mando y permitir el calentamiento del agua en el tanque de almacenaje.
- ✓ Revisar que el manómetro o los manómetros estén mostrando algún valor de presión.
- ✓ Una vez comprobado el funcionamiento del sistema hidráulico. conectar alguno de los diferentes módulos para empezar la práctica.

- ✓Las conexiones de los diferentes módulos son por medio de “racores”. también conocidos como acoples rápidos. donde se deben manipular de manera adecuada para que su durabilidad sea mayor.
- ✓Tomar las medidas de presión en el manómetro y anotar los respectivos valores.
- ✓Intercambiar los módulos de tubería para realizar la toma de valores en manómetro.

6.Cálculos

| X(unidades) | X(unidades) | X (unidades) | X (unidades) | X(unidades) | X(unidades) |
|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

7.Conclusiones

Fuente: elaboración propia.

5. ESTUDIO DE COSTOS PARA EL BANCO DE PRUEBAS PARA PÉRDIDAS DE CARGA

En este capítulo se va a realizar el estudio de costos para la persona que desee construir el banco de pruebas diseñado en este trabajo de grado. Este estudio de costos contempla los costos de material, fabricación e ingeniería. Este capítulo sirve para que quien desee construir el banco, pueda realizar un balance técnico financiero para determinar la viabilidad de la construcción de este.

5.1 COSTOS DE MATERIAL

En esta sección se presentan todos los costos asociados a los elementos que componen el banco. En el cuadro presentado a continuación se detallan de forma más clara cada uno de estos elementos.

Cuadro 58. Costos de Elementos del equipo

| COSTOS DE ELEMENTOS DEL EQUIPO | | | | |
|------------------------------------|-----------------|----------|---------------------|--------------------|
| Descripción | Unidad | Cantidad | Valor Unitario (\$) | Total (\$) |
| Lámina de Acero A-36 | mm ² | 3 | 60.000 | 180.000 |
| Perfiles tubo cuadrado Acero A-36 | M | 6 | 20.000 | 120.000 |
| Tornillos/Remaches | Und | 100 | 30 | 3.000 |
| Ángulos de Acero A-36 | Und | 12 | 15.000 | 180.000 |
| Tuercas | Und | 100 | 20 | 2.000 |
| Otros | | - | - | 50.000 |
| TOTAL. ELEMENTOS DEL EQUIPO | | | | 535.000 COP |

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 59. Costos de instrumentación

| COSTOS DE INSTRUMENTACIÓN | | | | |
|---|--------|----------|---------------------|----------------------|
| Descripción | Unidad | Cantidad | Valor unitario (\$) | Total (\$) |
| Manómetro diferencial | Und | 1 | 700.000 | 700.000 |
| Tablero de control | Und | 100.000 | 100.000 | 100.000 |
| Resistencia y termocupla | Und | 250.000 | 250.000 | 250.000 |
| Sistema de control de nivel | Und | 287.000 | 287.000 | 287.000 |
| Descripción | Unidad | Cantidad | Valor unitario (\$) | Total (\$) |
| Otros | Und | - | - | - |
| TOTAL. COSTOS DE INSTRUMENTACIÓN | | | | 1.337.000 COP |

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 60. Costos del sistema de distribución de agua.

| COSTOS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA | | | | |
|--|--------|----------|---------------------|---------------------|
| Descripción | Unidad | Cantidad | Valor unitario (\$) | Total (\$) |
| Bomba 1 HP | Und | 1 | 950.000 | 950.000 |
| Tubería CPVC | m | 6 | 3.600 | 21.600 |
| Tubería hierro dúctil, no recubierto | m | 1 | 30.000 | 30.000 |
| Tubería hierro dúctil, recubierto | m | 1 | 25.000 | 25.000 |
| Hierro galvanizado | m | 1 | 45.000 | 45.000 |
| Tubo extruido de cobre | m | 1 | 11.900 | 11.900 |
| Válvula de mariposa | m | 4 | 15.000 | 60.000 |
| Válvula de tres vías | m | 1 | 12.000 | 12.000 |
| TOTAL, COSTOS DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA | | | | 1.155.500COP |

Fuente: elaboración propia

5.2 COSTOS DE FABRICACIÓN

Cuadro 61. Costos de fabricación.

| COSTOS DE FABRICACIÓN | | | | |
|------------------------------|--------|----------|------------|-------------|
| ITEM | Unidad | Cantidad | Valor (\$) | Total (\$) |
| Soldadura | Hora | 3 | 15.000 | 45.000 |
| Máquina dobladora | Hora | 2 | 30.000 | 60.000 |
| Ensamble | Hora | 7 | 15.000 | 105.000 |
| Mano de obra | Hora | 32 | 10.000 | 320.000 |
| Otros | Hora | - | - | - |
| TOTAL, COSTOS DE FABRICACIÓN | | | | 530.000 COP |

Fuente: elaboración propia

5.3 COSTOS DE INGENIERÍA

Cuadro 62. Costos de ingeniería del proyecto.

| COSTOS DE INGENIERÍA DEL PROYECTO | | | | |
|-----------------------------------|--------|----------|------------|---------------|
| ITEM | Unidad | Cantidad | Valor (\$) | Total (\$) |
| Proyectista | Días | 60 | 30.000 | 1.800.000 |
| Asesores | Horas | 30 | 50.000 | 1.500.000 |
| Software | Horas | 20 | 10.000 | 200.000 |
| Fungibles | Und | - | 200.000 | 200.000 |
| TOTAL. INGENIERÍA DEL PROYECTO | | | | 3.700.000 COP |

Fuente: elaboración propia.

5.4 COSTOS TOTALES

Cuadro 63. Costos totales del proyecto.

| COSTOS TOTALES DEL PROYECTO | |
|--|---------------|
| ITEM | TOTAL (\$) |
| COSTOS DE ELEMENTOS DEL EQUIPO | 535.000 |
| COSTOS DE INSTRUMENTACIÓN | 1.337.000 |
| COSTOS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA | 1.155.500 |
| COSTOS DE FABRICACIÓN | 530.000 |
| COSTOS DE INGENIERÍA DEL PROYECTO | 3.700.000 |
| COSTOS TOTALES DEL PROYECTO | 7.257.500 COP |

Fuente: elaboración propia.

Este capítulo permite que cualquier interesado pueda evaluar la factibilidad de fabricar este banco de pruebas. comparando las capacidades técnicas de este banco con su costo total.

6. CONCLUSIONES

- ✓ Las pérdidas de carga generadas en el fluido por efecto del paso de este a través de la tubería, no son muy elevadas, por lo que se necesita un dispositivo para medir la presión con una alta resolución.
- ✓ Se debe utilizar una bomba con una potencia igual o superior a 1 HP para que la medición de las pérdidas en la entrada y salida de la sección modular sean notorias.
- ✓ Aunque podría pensarse en principio que la variación de las propiedades del agua, entre 20°C y 60°C no es algo significativo, se comprueba que si hay variación en las caídas de presión a través del paso del agua en el módulo, al variar el material de este y del dispositivo de medición de presión.
- ✓ La longitud utilizada en el módulo del banco de pruebas es suficiente para realizar la medición de pérdidas de energía, aunque se recomendará utilizar una sección de longitud superior o un sistema hidráulico con más accesorios para determinar el cambio de presión.
- ✓ A medida que la temperatura del agua aumente se evidencia que las pérdidas de energía disminuyen.
- ✓ Siempre que se ejecuta cualquier tipo de proyecto, se debe realizar un balance entre las capacidades técnicas y el costo financiero, en este caso si alguien desea construir el banco debe comparar el costo de su construcción comparado con las capacidades técnicas de este (precisión de los instrumentos de medición).
- ✓ Con tubería lisas en especial de derivados plásticos se obtiene una menor pérdida en el sistema hidráulico.
- ✓ Se concluye que es mucho más económico la elaboración de estos equipos que la adquisición por parte de los proveedores de equipos didácticos.

7. RECOMENDACIONES

- ✓ El diseño realizado en este trabajo de grado admite que se le puedan diseñar módulos adicionales dependiendo de las necesidades del cliente. se recomienda que en futuros trabajos de grado se diseñen nuevos módulos para este.
- ✓ Se recomienda desarrollar un banco para determinar pérdidas de carga en flujo de aire, esto debido a que no es un tipo de banco muy común según las condiciones y propiedades de este fluido, además es considerado importante para cualquier institución de educación superior, porque en cualquier programa de ingeniería mecánica se contempla el área de la neumática
- ✓ Sería interesante desarrollar un banco de pruebas para pérdidas de carga para vapor, aunque este debe contar con sistemas de seguridad avanzados para evitar cualquier posible fuga de vapor.
- ✓ Se recomienda que la selección de la bomba sea capaz de entregar la energía al fluido, permitiendo determinar las presiones a la entrada y salida de la tubería modular, que la variación pueda ser percibida por el manómetro seleccionado.

BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ, Santiago. Los laboratorios químicos, estancias sagradas. Real Sociedad Española de Química. 2011.

ARADWAD, Amol. Indian Mart. 25 de junio de 2019. [En línea]. Disponible en: "<https://www.indiamart.com/proddetail/energy-losses-in-pipes-4721577388.html>"

ARMFIELD.CO.UK. Engineering teaching and research CATALOGUE-ISSUE 2. 26 de junio del 2019. [En línea]. Disponible en: "<https://bit.ly/2XCTnpa>"

BARNES DE COLOMBIA S.A. Catálogo bombas periféricas DE 5-1. Bogotá. Barnes. 2019.

BEER. Ferdinand Pierre. et al. Mecánica de Materiales. México: McGraw-Hill. 2009.

BROTOTERMIC. Catálogo resistencias. [En línea]. Disponible en: "<https://bit.ly/30UZyGB>"

CALCULADORA CONVERSION. KW a HP. [En línea]. Disponible en: "<https://bit.ly/2OmH9zU>"

CALIBRATION SERVICE S.A.S. Acerca de la empresa. [En línea]. Disponible en: "<http://www.calibrationservicesas.com/index.php/empresa-de-calibracion-en-colombia>"

CAMARAZA, Yanán. Nuevo modelo para la determinación del factor de fricción en el régimen de flujo turbulento. Cuba. 2011.

Catálogo de perfiles metálicos. [En línea]. Disponible en: "<https://bit.ly/30T6dRE>".

CÁTEDRA DE INGENIERÍA RURAL. Tema 7 Expresiones del factor de fricción. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real.

COMISIÓN NACIONAL DE AGUA. Diseño, construcción y operación de tanques de regulación para abastecimiento de agua potable. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y saneamiento. México. 2007.

DEL VALLE. Luis. Sensor de nivel de agua con Arduino [En línea]. Fecha. [20 de septiembre de 2019]. Disponible en: "<https://bit.ly/335CHK4>".

DIRECT INDUSTRY. Catálogo de válvula de mariposa con actuador eléctrico. Consultado el 10 de Julio del 2019. [En línea]. Disponible en:

<https://www.directindustry.es/prod/ebro-armaturen-gebr-broeer-gmbh/product-7410-1415975.html>.

DIRECT INDUSTRY. Micro Sonic SENSOR DE NIVEL POR ULTRASONIDOS / PARA LÍQUIDO / CON INDICADOR DIGITAL / IP67. [En línea]. Fecha. {20 de septiembre de 2019}. Disponible en: (<https://bit.ly/2LUK817>).

DIRECT INDUSTRY. Sensores de nivel de flotadores. 2019. [En línea]. Disponible en: "<https://bit.ly/2MdwPbm>"

EJEMPLODE. Presión Manométrica. 2018. [En línea]. Disponible en: "<https://bit.ly/2MfS1wU>"

ELECTRICFOR. Resistencias para inmersión. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2xN7oWJ>.

EQUITROL, Equipamentos de Control. Medidor de nivel ultrasónico ZMICROFLEX (Opción ATEX). [En línea]. Disponible en: "<https://bit.ly/35axltj>"

FANALCA. Tubos de Acero Galvanizado. [En línea]. Disponible en: "<https://bit.ly/33cQHBX>"

FEMTO INSTRUMENTS. Manómetro digital. [En línea]. Disponible en: "<https://www.femto.es/manometro-digital>".

GUILLÉN, Misael y ROJAS, Alex. Análisis del comportamiento dinámico del agua en tanques apoyados rectangulares y cilíndricos bajo acción. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. 4 de septiembre del 2007. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2XF48w1>.

GUNT. Acerca de la empresa. [En línea]. Disponible en: "<https://www.gunt.de/es/empresa>"

GUNT. HL 103 Ingeniería de instalación: pérdidas en codos de tuberías. [En línea]. Disponible en: "<https://bit.ly/2G8Q439>"

GUNT. HM 122 Pérdidas de carga en tuberías. [En línea]. Disponible en: "<https://bit.ly/2JuKnyl>"

IMPOVAR. Válvula bola. Consultado el 10 de Julio del 2019. [En línea]. Disponible en: http://www.impoval.cl/tienda/index.php?id_product=5377&controller=product

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C.: El instituto. ISBN 9789588585673 153 p.

INSTRUMENTACIÓN Y METROLOGÍA INTELIGENTE. Manómetro Diferencial 4 1/2" Acero inoxidable. [En línea]. Disponible en: "https://bit.ly/30vD0wl"

JULABO THE TEMPERATURE CONTROL COMPANY. Cubeta transparente resistente hasta 100°C para termostatos de inmersión. [En línea]. Disponible en: "https://bit.ly/2JvmlL4"

KHALIL ABABNEH, Amer. Fluid Mechanics: Chapter 10, Flow in Conduits.

LAMINAS Y ACEROS. Tubería Galvanizada. Consultado el 2 de Julio del 2019. [En línea]. Disponible en: "https://blog.laminasyaceros.com/blog/tuber%C3%ADa-de-acero"

LEROY MERLÍN. Depósitos de agua. [En línea]. Disponible en: "https://bit.ly/2XJ2OID"

MADE-IN-CHINA.COM. Pressure Loss Test Bench for Measuring Unit of Gas Meter. [En línea]. Disponible en: "https://bit.ly/2xHeGvp"

MARTÍN, R. SALCEDO, R. Font. MECÁNICA DE FLUIDOS Tema 1. Flujo interno de fluidos incompresibles y compresibles. Universidad de Alicante.2011.

MEXICHEN. Tubería CPVC. Consultado el 10 de Julio del 2019 <http://www.mexichemcompuestos.com/casos-de-estudio/construccion-e-infraestructura/compuestos-cpvc-para-tuber-as-de-agua-caliente/3364/>

MODREGO HOGAR. Bomba de agua superficie centrífuga hcpf-70 hidrobex 2 cv. 27 de junio del 2019. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2lJs2fy>.

MOTT, Robert. Mecánica de Fluidos. México D.F. Pearson Educación. 2006

MOTT. Robert L. et al. Diseño de Elementos de Máquinas. México: Pearson Educación S.A. 2006.

NORTON, Robert L. Diseño de Máquinas: Un Enfoque Integrado. (4a.ed.). Distrito Federal: Pearson Education. 2017.

OMEGA. Controladores de temperatura y proceso. {En línea}. Fecha: {20 de septiembre de 2019}. Disponible en: (<https://bit.ly/2AMubDR>).

ONAC. Presentación. [En línea]. Disponible en: "https://onac.org.co/presentacion"

PARRA DURÁN, Jorge y VELASCO MARÍN, Luis. DISEÑO PARA CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA DETERMINAR LAS

PÉRDIDAS DE CARGA EN UN SISTEMA DE TUBERÍAS. Santiago de Cali. 2014.

PAVCO. Lista de precios octubre 2018. [En línea]. Disponible en: “<https://bit.ly/2lrV2Jy>”

PÉREZ, Severiano y Renedo, Carlos. Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas Tema 08. Bombas. Universidad de Cantabria.

PIPECO S.A. TUBERÍA RÍGIDA K. L Y M NORMA ASTM B-88. [En línea]. Disponible en: “<http://cort.as/-NReq>”

PONCE, Fernando. Manual para ensayo de pérdidas de energía en accesorios de tubería del laboratorio de hidráulica. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2006.

POOLARIA: piscina wellness & garden. Brida con manguito PVC. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2xJ596S>.

Programa Casa Segura. Consultado el 10 de Julio del 2019. [En línea]. Disponible en: <http://programacasasegura.org/mx/el-cobre-por-un-tubo/>.

Punjab Board of Technical Education. Chapter 12: Area of Circle.

SAFEWAY CUSTOM FLUID TRANSFER. Racor. [En línea]. Disponible en: “<https://bit.ly/2JuxIRD>”

SEJZER, R. La matriz PUGH para la toma de decisiones. Calidad Total. 2016. [En línea]. Disponible en: “<https://bit.ly/2xs7keB>”

SENSING sensores de medida. Transductor de presión amplificado con alta linealidad AEP TP12. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2xK1JRI>

SKETCHUP. Sketchup 2019. [En línea]. Disponible en: “<https://www.sketchup.com/es/try-sketchup>”

SUN SUPPLY. Componentes de un sistema de energía solar. Colombia. 17 de julio de 2017. [En línea]. Disponible en: “<https://bit.ly/2Y0YKme>”

SUNCENTER FLUID CONTROL EQUIPMENT CO., Ltd. Máquina de prueba de presión hidrostática/ráfaga. [En línea]. Disponible en: “<https://bit.ly/2LhnUae>”

TESTO. testo 312-4 - Manómetro diferencial. [En línea]. Fecha. {20 de septiembre de 2019}. Disponible en: (<https://bit.ly/2LS5Dj6>).

TRAXCO. Usos del teflón. 26 de mayo del 2009. [En línea]. Disponible en: ["https://bit.ly/2JDMFKA"](https://bit.ly/2JDMFKA)

UNITJUGGLER, Convertido todo fácilmente. Conversión de metros cúbicos por hora a metros cúbicos por segundo. 2019. [En línea]. Disponible en: ["https://bit.ly/2Vj7JeN"](https://bit.ly/2Vj7JeN)

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA DE URUGUAY. Hidráulica en tuberías a presión. 2015.

Universidad de Salamanca. Unidad 3 Hidrodinámica Principios Fundamentales, Capítulo 1 Fricción en tuberías Pérdidas de Carga Continuas. España.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA UNI- NORTE, sede regional en Estelí. Mecánica de Fluidos. II Unidad: Dinámica de carga en tuberías. Estelí. 2009.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL CÓRDOBA. Tema 6 Expresiones del factor de fricción. Argentina.

UNIVERSITY OF IDAHO. Flow and Velocity Calculations. [En línea]. Disponible en: ["https://bit.ly/2oW84bn"](https://bit.ly/2oW84bn)

VALCÁRCEL. Calentadores atmosféricos prohibidos. Madrid, España. 13 de abril de 2013. [En línea]. Disponible en: ["https://bit.ly/2NQOBF1"](https://bit.ly/2NQOBF1)

VELAN. Válvula de compuerta. . [En línea]. Disponible en: <https://www.directindustry.es/prod/velan/product-24371-851409.html>.

ANEXOS

ANEXO A.
BOMBA CENTRÍFUGA SELECCIONADA

Professional factory production



ANEXO B. VÁLVULAS DE BOLA IMPLEMENTADAS

1 piezas válvula de bola de hilo de acero inoxidable 304 sanitaria válvula de bola de rosca hembra de tipo recto válvula de cierre 1/4 3/8 de 3/4 1 1-1/4 1-1/2 pulgadas

Descripción:

Una válvula de bola es una forma de válvula de cuarto de giro que utiliza un hueco, bola perforada y pivotante para controlar el flujo a través de ella. Se abre cuando el agujero de la bola está en línea con el flujo y se cierra cuando se pivota 90 grados por el mango de la válvula. El mango se encuentra plano en la alineación con el flujo cuando se abre, y es perpendicular cuando está cerrado para facilitar la confirmación visual del estado de la válvula.

Características:

Los cuerpos de las válvulas están hechos de acero inoxidable 304 para una protección contra el óxido y una larga vida útil. Las válvulas de bola son duraderas, funcionan bien después de muchos ciclos y fiables, cierre seguro incluso después de largos períodos de desuso.

La facilidad de funcionamiento, reparación y versatilidad de la válvula de bola lo presta a un uso industrial amplio.

El mango se encuentra plano en la alineación con el flujo cuando se abre y perpendicular cuando se cierra para una fácil confirmación visual de la válvula es Estado

Estas válvulas de bola de alta calidad son excelentes opciones para apagar y controlar aplicaciones.

Especificaciones:

Material: 304 de acero inoxidable

El tipo de hilo: Hembra x Mujer

Estándar de rosca: BSP (tubería estándar Británica)

Tamaño de rosca: 1/4 ", 3/8", 3/4 ", 1", 1-1/4 ", 1 A 1/2 pulgadas (opcional)

Presión Max: 1000PSI

Cantidad: 1

Nota:

Este producto de una pieza es de medio diámetro y diseño de flujo pequeño

El paquete incluye:

1 x válvula de bola

ANEXO C. SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL DEL TANQUE

100% nuevo y de alta calidad

Características:

Puede probar la presión del líquido.

El interruptor de flotador es un interruptor que regula el nivel de fluido en el tanque o bien, etc.

El interruptor de flotador es resistente al agua (agua sewaga)

Es relativamente capaz de ser utilizado para aceite, mostacidos y alcalinos

El interruptor flotante no es a prueba de explosiones.

Especificación:

Incluye: 1 interruptor de flotador cuadrado con cables adaptadores

Longitud del cable: 2 m

Clase de protección: IP68

-Presión de trabajo: 0.1MPa

Corriente nominal/voltaje: 10 (8A) 250 V ~ 10 (4A) 380 V

Temperatura de funcionamiento: 0-75 °

Vida eléctrica: 1x100 000 veces

Vida mecánica: 5x100 000 veces

Medio ambiente: piscina, aceite, ácidos débiles y bases en agua o piscina de aceite

Material: de plástico

Dimensiones: app

Caja rectangular: 78x103,5mm/3.07x4.07in

Cilindro: 61x55mm/2.4x2.17in

Cable: 2 m/78.74in

Color: amarillo + azul

Cantidad: 1 Pc

Nota:

1. Puede haber un error de 1 a 3 cm debido a la medición manual. Por favor, asegúrate de que no te importa antes de hacer una oferta.

2 debido a la diferencia entre diferentes monitores, la imagen puede no reflejar el color real del artículo.

ANEXO D. VÁLVULA DE TRES VÍAS

*

Página principal de la tienda Productos Artículos en oferta Más vendidos Novedades Comentarios



1/4 "3/8" 1/2 "3/4" 1" BSP hembra puerto completo t-port de tres vías adaptador de conector de válvula de bola de latón para agua aceite aire Gas
3 vendidos

€ 2,23 - 16,84

Especificaciones:
1/2" 3/4" 3/8" 1/4" 1"

Tipo de rosca: BSP Thread
BSP Thread

Cantidad: 1 2% dto. (10 unidades o más)
4989 unidades disponibles

Envío: **€ 5,72** a Colombia por China Post Registered Air Mail -
Fecha estimada de entrega: 31-44 días

Comprar **Añadir a la cesta** 6

Protección al Comprador de 60 días
Garantía de reembolso

Otras recomendaciones



€ 2,23

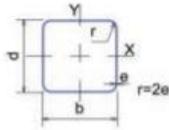


€ 3,42



€ 3,38

ANEXO E. CATÁLOGO PERFIL DE LA ESTRUCTURA



| PERFIL CUADRADO | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|--|--|---|---|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|
| TAMAÑO PERFIL | | ESPESOR DE PARED e mm | PESO NEGRO (kg/m) | ÁREA cm ² | FLEXIÓN | | | MÓDULO PLÁSTICO Z _x = Z _y cm ³ | TORSIÓN | | UNIDAD DE EMPAQUE |
| TAMAÑO NOMINAL | PULG. | | | | MOMENTO INERCIA I _x = I _y cm ⁴ | MÓDULO ELÁSTICO S _x = S _y cm ³ | RADIO DE GIRO r _x = r _y cm | | MOMENTO INERCIA J cm ⁴ | MÓDULO ELÁSTICO B cm ² | |
| 1 X 1 | 25 X 25 | 1,50 | 1,06 | 1,35 | 1,22 | 0,97 | 0,95 | 1,17 | 2,03 | 1,48 | 36 |
| | | 2,00 | 1,36 | 1,73 | 1,48 | 1,19 | 0,93 | 1,47 | 2,58 | 1,82 | |
| | | 2,50 | 1,64 | 2,09 | 1,69 | 1,35 | 0,90 | 1,71 | 3,07 | 2,11 | |
| 1 4/7 X 1 4/7 | 40 X 40 | 1,50 | 1,77 | 2,25 | 5,49 | 2,75 | 1,56 | 3,22 | 8,77 | 4,13 | 25 |
| | | 2,00 | 2,31 | 2,94 | 6,94 | 3,47 | 1,54 | 4,13 | 11,36 | 5,25 | |
| | | 2,50 | 2,82 | 3,59 | 8,22 | 4,11 | 1,51 | 4,97 | 13,79 | 6,25 | |
| 2 X 2 | 50 X 50 | 1,50 | 2,24 | 2,85 | 11,07 | 4,43 | 1,97 | 5,15 | 17,45 | 6,66 | 25 |
| | | 2,00 | 2,93 | 3,73 | 14,15 | 5,66 | 1,95 | 6,66 | 22,73 | 8,53 | |
| | | 2,50 | 3,60 | 4,59 | 16,94 | 6,78 | 1,92 | 8,07 | 27,75 | 10,26 | |
| 2 1/3 X 2 1/3 | 60 X 60 | 3,00 | 4,25 | 5,41 | 19,47 | 7,79 | 1,90 | 9,39 | 32,53 | 11,84 | 25 |
| | | 1,50 | 2,71 | 3,45 | 19,52 | 6,51 | 2,38 | 7,53 | 30,53 | 9,78 | |
| | | 2,00 | 3,56 | 4,54 | 25,14 | 8,38 | 2,35 | 9,79 | 39,91 | 12,61 | |
| 2 5/8 X 2 5/8 | 75 X 75 | 2,50 | 4,39 | 5,59 | 30,34 | 10,11 | 2,33 | 11,93 | 46,92 | 15,26 | 25 |
| | | 3,00 | 5,19 | 6,61 | 35,13 | 11,71 | 2,31 | 13,95 | 57,57 | 17,73 | |
| | | 1,50 | 3,18 | 4,05 | 31,46 | 8,99 | 2,79 | 10,36 | 48,89 | 13,50 | |
| 2 3/4 X 2 3/4 | 90 X 90 | 2,00 | 4,19 | 5,34 | 40,73 | 11,64 | 2,76 | 13,52 | 64,10 | 17,50 | 16 |
| | | 2,50 | 5,17 | 6,59 | 49,41 | 14,12 | 2,74 | 16,54 | 78,79 | 21,27 | |
| | | 3,00 | 6,13 | 7,81 | 57,53 | 16,44 | 2,71 | 19,42 | 92,98 | 24,82 | |
| 3 X 3 | 100 X 100 | 3,00 | 6,60 | 8,41 | 71,62 | 19,10 | 2,92 | 22,49 | 115,14 | 28,81 | 16 |
| | | 4,00 | 8,59 | 10,95 | 90,19 | 24,05 | 2,87 | 28,76 | 148,83 | 36,48 | |
| | | 6,00 | 12,27 | 15,63 | 120,16 | 32,04 | 2,77 | 39,58 | 209,99 | 49,43 | |
| 3 1/2 X 3 1/2 | 125 X 125 | 2,00 | 5,45 | 6,94 | 88,66 | 19,75 | 3,58 | 22,78 | 138,32 | 29,66 | 9 |
| | | 2,50 | 6,74 | 8,59 | 108,55 | 24,12 | 3,56 | 28,00 | 170,65 | 36,27 | |
| | | 3,00 | 8,01 | 10,20 | 127,28 | 28,29 | 3,53 | 33,04 | 202,14 | 42,59 | |
| 4 X 4 | 150 X 150 | 2,00 | 6,07 | 7,74 | 123,01 | 24,60 | 3,99 | 28,30 | 190,75 | 36,94 | 9 |
| | | 2,50 | 7,53 | 9,59 | 150,63 | 30,13 | 3,96 | 34,86 | 235,64 | 45,27 | |
| | | 3,00 | 8,96 | 11,41 | 177,05 | 35,41 | 3,94 | 41,21 | 279,48 | 53,27 | |
| 5 1/3 X 5 1/3 | 200 X 200 | 4,00 | 11,73 | 14,95 | 226,35 | 45,27 | 3,89 | 53,30 | 364,04 | 68,31 | 1 |
| | | 6,00 | 16,98 | 21,63 | 311,47 | 62,29 | 3,79 | 75,10 | 521,39 | 94,85 | |
| | | 4,00 | 16,13 | 20,55 | 581,70 | 86,18 | 5,32 | 100,25 | 917,81 | 113,90 | |
| 6 X 6 | 250 X 250 | 6,00 | 23,58 | 30,03 | 819,72 | 121,44 | 5,22 | 143,72 | 1.330,14 | 183,57 | 1 |
| | | 4,00 | 18,01 | 22,95 | 807,82 | 107,71 | 5,93 | 124,87 | 1.267,82 | 161,93 | |
| | | 6,00 | 26,40 | 33,63 | 1.145,91 | 152,79 | 5,84 | 179,88 | 1.843,64 | 230,58 | |
| 7 7/8 X 7 7/8 | 300 X 300 | 5,00 | 30,11 | 38,36 | 2.410,09 | 241,01 | 7,93 | 278,67 | 3.771,59 | 362,24 | 1 |
| | | 7,00 | 41,43 | 52,78 | 3.236,47 | 323,65 | 7,83 | 378,83 | 5.158,78 | 487,67 | |
| | | 8,00 | 59,50 | 75,79 | 7.315,65 | 585,25 | 9,82 | 662,67 | 11.596,64 | 881,14 | |
| 10 X 10 | 400 X 400 | 10,00 | 73,34 | 93,42 | 8.841,86 | 707,35 | 9,73 | 832,79 | 14.229,85 | 1.067,66 | 1 |
| | | 10,00 | 89,04 | 113,42 | 15.713,90 | 1.047,59 | 11,77 | 1.223,86 | 24.972,90 | 1.577,87 | |
| | | 12,00 | 105,61 | 134,53 | 18.334,49 | 1.222,30 | 11,67 | 1.439,07 | 29.509,20 | 1.845,00 | |

ANEXO F.
PLANOS