



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA



**“METODOLOGÍA PARA DISEÑO DE UN BANCO DE
PRUEBAS DE PRESIÓN ESTÁTICA, PARA VERIFICAR
AUSENCIA DE FUGAS Y DAÑOS FÍSICOS EN MEDIDORES
DE AGUA POTABLE”**

TESIS

PRESENTADA POR:

DENNIS ENRIQUE HERRERA VELASQUEZ

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

PUNO – PERÚ

2023



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

METODOLOGÍA PARA DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS DE PRESIÓN ESTÁTICA, PARA VERIFICAR AUSENCIA DE FUGAS Y DAÑOS FÍSICOS EN MEDIDORES DE AGUA POTABLE

AUTOR

DENNIS ENRIQUE HERRERA VELASQUEZ

RECuento DE PALABRAS

19747 Words

RECuento DE CARACTERES

102808 Characters

RECuento DE PÁGINAS

126 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

5.8MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 20, 2023 8:24 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 20, 2023 8:26 PM GMT-5


● 15% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 15% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)



Ing. Julio Freddy Chura Acero
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
CIP: 135145
Sub. Dirección de Investigaciones
EPIME



Ing. Julio Freddy Chura Acero
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
CIP: 135145
Asesor de Tesis

Resumen



DEDICATORIA

A mis padres Enrique y Adriana por su apoyo incondicional y palabras de motivación en todo momento, ayudándome a ser una buena persona para la sociedad.

A mis hermanos Karol, Jaime y Luis quienes con su ejemplo me ayudaron a lograr objetivos y metas en mi vida personal y profesional.

Dennis Enrique Herrera Velasquez



AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Dios todo poderoso, por darme salud y sabiduría para lograr mis objetivos y metas planeadas.

Agradezco a mi familia, por ser el pilar de mi formación personal, y haberme encaminado por el sendero correcto de la vida.

A la Universidad Nacional del Altiplano y a la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, alma mater de mi formación superior.

A los docentes y administrativos de la escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, por su amistad, enseñanzas y experiencias que contribuyeron en mi formación profesional.

Dennis Enrique Herrera Velasquez



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

INDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 12

ABSTRACT..... 13

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 14

1.1.1. Problema General 14

1.1.2. Problemas Específicos 15

1.2. HIPOTESIS 15

1.2.1. Hipótesis General 15

1.2.2. Hipótesis Específicas 15

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN 15

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 16

1.4.1. Objetivo general 16

1.4.2. Objetivos específicos 16

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN 18

2.2. MARCO TEÓRICO..... 24

2.2.1. ¿Qué es el Diseño? 24

2.2.2. Metodología del Diseño 24



2.2.3. Modelo de diseño de Michael French.....	25
2.2.4. Medidor de agua	27
2.2.5. Transductor de Medición.....	27
2.2.6. Sensor	27
2.2.7. Calculadora.....	28
2.2.8. Características Metrológicas del Medidor de Agua	28
2.2.9. Condiciones de Funcionamiento	29
2.2.10. Tipos de Medidores de Agua Potable.....	31
2.2.11. Presión	31
2.2.12. Hidrostática.....	32
2.2.13. Banco de Pruebas de Presión Estática	33
2.2.14. Componentes y Accesorios del Banco de Pruebas	34
2.2.15. Prueba de Presión Estática.....	40
2.2.16. Criterio de Aceptación.....	41
2.2.17. Ecuaciones Matemáticas Para el Diseño del Banco de Pruebas.....	41

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	51
3.1.1. Tipo de Investigación	51
3.1.2. Ubicación y Descripción del Componente de Investigación.....	51
3.1.3. Población y muestra	51
3.1.4. Técnicas e Instrumentos de Investigación	52
3.2. METODOLOGÍA DE DISEÑO.....	52
3.2.1. Análisis del Problema.....	52
3.2.2. Diseño conceptual.....	56
3.2.3. Representación de Esquemas.....	58
3.2.4. Desarrollo de Detalle	60



CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LA METODOLOGÍA DE DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS.....	89
4.2. RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS REALIZADOS DEL BANCO DE PRUEBAS DE PRESIÓN ESTÁTICA.....	89
4.2.1. Bomba del Sistema	89
4.2.2. Motor Eléctrico.....	90
4.2.3. Variador de Frecuencia.....	90
4.2.4. Circuito hidráulico 1: Ecuación general de energía.....	91
4.2.5. Circuito hidráulico 2: Ecuación general de energía.....	91
4.2.6. Resultado del diseño de componentes para fabricación	91
4.3. MANUAL DE OPERACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS DE PRESIÓN ESTÁTICA.....	93
4.4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	95
V. CONCLUSIONES.....	96
VI. RECOMENDACIONES.....	97
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98
ANEXOS.....	102

Área: Mecánica

Línea: Diseño de un banco de pruebas

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 26 de julio de 2023



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Modelo de French del proceso de diseño.....	26
Figura 2: Tipos de medidores de agua.....	31
Figura 3: Válvula de bola	35
Figura 4: Válvula check de clapeta oscilante.	35
Figura 5: Filtro en “Y”	36
Figura 6: O-ring	37
Figura 7: Unión universal SMS.....	37
Figura 8: Unión CLAMP.....	37
Figura 9: Pistón de agua	38
Figura 10: Manguera metálica flexible.....	39
Figura 11: Elevador de presión.....	39
Figura 12: Instalación de bombeo en carga y en aspiración.....	44
Figura 13: Diagrama de Moody	48
Figura 14: Caja negra de funciones del equipo	54
Figura 15: Caja transparente de funciones del banco	55
Figura 16: Alternativa 1 banco de pruebas.....	58
Figura 17: Alternativa 2 banco de pruebas.....	59
Figura 18: Circuito hidráulico del banco de pruebas.....	63
Figura 19: Esquema de circuitos del banco de pruebas.....	64
Figura 20: Grafico de caudal vs altura de la bomba.....	69



Figura 21: Grafico de características de la bomba	69
Figura 22: Factor k para válvulas	72
Figura 23: Factor k para contracción de tubería	73
Figura 24: Factor k para codo 90°, conexión T y unión roscada.....	73
Figura 25: Grafico caudal vs perdida de carga de filtro de agua	75
Figura 26: Gráfico caudal vs perdida de carga de manguera flexible	76
Figura 27: Depósito de almacenamiento de agua.....	79
Figura 28: Equipo multiplicador de presión	80
Figura 29: Pistón Presurizador de línea de ensayo	82
Figura 30: Estructura del banco de pruebas	84



INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores de rugosidad absoluta.....	50
Tabla 2: Población y muestra	51
Tabla 3: Técnicas e instrumentos	52
Tabla 4: Especificaciones del producto	53
Tabla 5: Matriz morfológica.....	56
Tabla 6: Evaluación de alternativas	57
Tabla 7: Diámetro y material de tuberías	60
Tabla 8: Componentes y accesorios del banco de pruebas.....	64
Tabla 9: Diámetro y área de tuberías	65
Tabla 10: Cuadro de selección de la bomba	69
Tabla 11: Accesorios del tramo 1	72



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

INACAL	: Instituto Nacional de Calidad
Va	: Volumen real
Vi	: Volumen indicado
EMP	: Error máximo permitido
Q4	: Caudal de sobrecarga
Q3	: Caudal permanente
Q2	: Caudal transitorio
Q1	: Caudal mínimo
TmA	: Temperatura mínima admisible
PMA	: Presión máxima admisible
Tw	: Temperatura de trabajo
Pw	: Presión de trabajo
DN	: Diámetro nominal



RESUMEN

El trabajo de tesis titulado: “Metodología para diseño de un banco de pruebas de presión estática, para verificar ausencia de fugas y daños físicos en medidores de agua potable”, tiene como objetivo general aplicar el método de ingeniería de diseño de Michael French, para diseñar un banco de pruebas de presión estática para verificar ausencia de fugas y daños físicos en medidores de agua potable y como objetivos específicos: Determinar los parámetros técnicos, la selección de componentes e instrumentos del banco de pruebas para cumplir con los requisitos del procedimiento de verificación de medidores de agua potable del Instituto Nacional de Calidad. Además realizar los planos y un manual de operación del banco de pruebas. La investigación es del tipo descriptivo- aplicativo porque se buscó una solución al problema planteado, utilizando la metodología de diseño de Michael French, donde se realizó el análisis del problema formulando la necesidad en termino de funciones y subfunciones, el diseño conceptual donde se obtiene una variedad de soluciones al problema, la representación de esquemas donde se representaron a manera de bosquejos las soluciones más prometedoras y el desarrollo de detalle donde se realizó una memoria del diseño de todas las partes; todo ello, se logró realizando la revisión bibliográfica de libros, artículos, proyectos de investigación, fichas técnicas de fabricantes y otros. Se obtuvo como resultados el diseño definitivo de un banco de pruebas de presión estática para verificar ausencia de fugas y daños físicos en medidores de agua potable bajo condiciones de operación controladas, los planos del equipo y el manual de operación. Se concluye que utilizar una metodología de diseño ayuda a establecer en forma ordenada y estructurada los pasos para realizar una maquina optima, según la necesidad del cliente.

Palabras clave: Banco de pruebas, Medidor de agua, Método de diseño, Presión estática, Verificación inicial.



ABSTRACT

The thesis work entitled: "Methodology for the design of a static pressure test bench, to verify the absence of leaks and physical damage in drinking water meters", has as a general objective to apply the design engineering method of Michael French, to design a static pressure test bench to verify the absence of leaks and physical damage in drinking water meters and as specific objectives: Determine the technical parameters, the selection of components and instruments of the test bench to meet the requirements of the verification procedure of drinking water meters from the National Quality Institute. Also make the plans and an operation manual of the test bench. The research is of the descriptive-applicative type because a solution to the problem was sought, using the design methodology of Michael French, where the analysis of the problem was carried out, formulating the need in terms of functions and sub-functions, the conceptual design where a variety of solutions to the problem, the representation of schemes where the most promising solutions were represented as sketches and the development of detail where a memory of the design of all the parts was made; All this was improved by carrying out a bibliographic review of books, articles, research projects, manufacturers' technical sheets and others. The final design of a static pressure test bench was obtained as results to verify the absence of leaks and physical damage in drinking water meters under controlled operating conditions, the equipment plans and the operation manual. It is concluded that using a design methodology helps to establish in an orderly and structured way the steps to make an optimal machine, according to the client's needs.

Keywords: Test bench, Water meter, Design method, Static pressure, Initial verification.



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para instalar un medidor de agua potable en una conexión domiciliaria, este debe contar con un certificado de verificación inicial con resultados conformes, con relación a requisitos metrológicos y técnicos; para ello, los medidores de agua pasan por dos pruebas de ensayo en bancos de pruebas. En la actualidad la demanda de adquisición de medidores de agua potable ha tenido un gran crecimiento y las empresas que se dedican al rubro de verificación inicial de medidores de agua potable no se abastecen, porque requieren de más equipos para aumentar su producción y sobrellevar esta demanda.

Los pocos proveedores de bancos de pruebas de presión estática carecen de una Ingeniería de Diseño, guiándose de experiencias propias para el diseño y fabricación de los equipos, lo que ocasiona fallas cuando el equipo está en operación y generando sobrecostos por mantenimientos correctivos y pérdidas económicas por parada de equipos. El mal funcionamiento del equipo afecta a las pruebas de los medidores de agua y se obtiene resultados con alta incertidumbre, lo que perjudica a los usuarios y empresas prestadoras de servicios de saneamiento.

1.1.1. Problema General

¿Es posible aplicar una metodología de diseño para un banco de pruebas de presión estática, para verificar ausencia de fugas y daños físicos en medidores de agua potable?



1.1.2. Problemas Específicos

- ¿Cómo influye la determinación de los parámetros técnicos, la selección de instrumentos de medición, la selección de componentes en el diseño del banco?
- ¿En qué medida ayuda la realización de los planos y el manual de operación en el diseño del banco de pruebas?

1.2. HIPOTESIS

1.2.1. Hipótesis General

Con la aplicación de metodología de diseño de Micheal French, se logró obtener un diseño definitivo eficiente y productivo de un banco de pruebas de presión estática para verificar ausencia de fugas y daños físicos en medidores de agua potable.

1.2.2. Hipótesis Especificas

- Se determinó los parámetros técnicos, selección de instrumentos y componentes del banco de ensayo, los cuales aportan al diseño conceptual de la metodología de diseño y se cumple con los requisitos del procedimiento de verificación PV003 del INACAL.
- Se realizó los planos del equipó utilizando el software AutoCAD, así permitiendo conocer la estructura del sistema y los componentes necesarios para su implemtación. También se realizó el manual de operación del banco de pruebas, para evitar accidentes, incidentes y mantenimientos no programados.

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

La fabricación de bancos de pruebas de medidores de agua potable se realiza de



manera empírica basada en experiencias propias y no se tiene un modelo o diseño propuesto por alguna norma o procedimiento, además no se realizan estudios previos para la fabricación de dichos bancos de pruebas, poniendo en duda los resultados obtenidos de las pruebas de los medidores de agua potable. En el caso se piense en importar un banco de pruebas, este tendrá un costo muy elevado y no contará con las características que el cliente desea.

Por ello la importancia de aplicar una metodología para diseñar un banco de pruebas de presión estática con el fin de obtener un diseño definitivo, para aumentar la producción y reducir costos de mantenimiento. Además facilitar al operador en la utilización del equipo guiándose del manual de operación y de los planos, evitando incidentes y accidentes laborales por mala operación del equipo.

En el procedimiento PV-003 Ed. 01 – INACAL, para la verificación inicial de medidores de agua potable, menciona los requisitos, instrumentos necesarios o mínimos que un banco de pruebas de presión estática debe de tener, lo que sirvió de base para el diseño de la presente investigación.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Aplicar el método de ingeniería de diseño de Michael French, para diseñar un banco de pruebas de presión estática, para verificar ausencia de fugas y daños físicos en medidores de agua potable.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros técnicos, la selección de instrumentos de medición y la selección de componentes del banco de pruebas de presión estática para cumplir



con los requisitos del procedimiento de verificación inicial de medidores de agua del INACAL.

- Realizar los planos y un manual de operación del banco de pruebas de presión estática.



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

(Lindao Miranda, 2018) *Tesis “Diseño y fabricación de prototipo de banco de pruebas portátil para medidores de agua potable”, Universidad de Piura – Perú.*

Concluye: (...) que, Como todo proceso de diseño en ingeniería, la fabricación del prototipo del banco portátil de medidores de agua ha seguido los pasos establecidos para el diseño de un producto o servicio: definición, concepción de un modelo, dibujo de detalle, construcción del prototipo, realización de ensayos y documentación, tomando referencia la Norma Metrológica Peruana vigente desde el 2011, la implementación de software CAD como SolidWorks fue de gran ayuda para el modelamiento de los componentes del prototipo y significó un gran ahorro de tiempo para una adecuada selección de las piezas a instalar, los componentes del banco de pruebas son: caudalímetro, filtro, manómetro, termómetro, mangueras y acoples para conectarlo con la red del medidor a ser evaluado, válvula reguladora de caudal y válvula de paso, se cuenta con los componentes que no forman parte del prototipo en cada conexión domiciliaria que posea medidor. (Lindao Miranda, 2018)

(Echeverría & Ávila, 2019) *Tesis “Diseño, Construcción y puesta en marcha de Banco de Medidores”, Universidad Católica de Colombia.*

Concluyen: (...) que, al hacer los ensayos en el banco de medidores se concluyó que la altura en la que se encuentran los medidores es de vital importancia para que el caudal fluya correctamente, la caída de presión en el banco confirma que las pérdidas de los medidores son muy altas, sin importar el número de accesorios presentes en el tramo, al estar ambos circuitos de tubería y medidores funcionando se evidencia una mayor



pérdida de presión a la salida de estos medidores por lo que se podemos afirmar que se deben cambiar los manómetros a una escala más pequeña, se evidencio que en todos los ensayos realizados el caudal aforado gravitacionalmente es menor que el aforado volumétricamente esto se debe a que un porcentaje del agua transportada se queda en la tubería. (Echeverría & Ávila, 2019)

(Dionisi & Ficarra, 2017) Tesis “*Diseño de un Banco de pruebas para Ensayo metrológico de medidores de agua potable*”, Universidad Nacional de Córdoba – Argentina.

Concluyen: (...) que, Se pudieron cumplir los objetivos planteados al inicio del trabajo, empezando por una comprensión exhaustiva de la norma, a la cual tenía que satisfacer este equipo. Fue necesaria la utilización de normas ajenas a la nacional (ISO, DIN, BS) como material de soporte en temas donde la primera no resultaba muy específica o no poseía directivas al respecto. Se logró comprender las necesidades específicas del cliente respecto de la versatilidad y flexibilidad que esperaba tener, teniendo en cuenta las prestaciones que ofrecían los equipos que ya se encontraban en el mercado, resultó fundamental encontrar un equilibrio tecnológico que permitiera cumplir con todas las funciones previstas sin elevar demasiado la relación costo/beneficio y poner en peligro la viabilidad del producto, el método de ensayo “gravimétrico” resulto ser el adecuado para nuestro propósito, pudiendo conseguir mayor precisión que la exigida por las normas, requiriendo equipos e instrumentos poco complejos y de fácil adquisición para tal fin, superando así en beneficios técnicos y económicos al método “volumétrico” también tenido en cuenta en el estudio, las estructuras de soporte no poseen demasiada complejidad y son fáciles de fabricar, además, el procedimiento de cálculo mediante elementos finitos nos permitió reproducir con gran exactitud los distintos estados de



carga, y así, reducir la incertidumbre que nos hubiera llevado a utilizar coeficientes de seguridad más elevados. (Dionisi & Ficarra, 2017)

(Lara & Velásquez, 2011) Tesis “*Diseño y Construcción de un Banco de Pruebas para la medición de Caudal y Caída de presión en tuberías paralelas*”, Universidad Tecnológica de Bolívar – Colombia.

Concluyen: (...) que, al hacer los ensayos en el banco de prueba No.1 se concluyó que la altura en la que se encuentran las tuberías es de vital importancia para que el caudal fluya correctamente independientemente del diámetro de la tubería, al realizar el cálculo teórico esto no se tiene en cuenta. La caída de presión en el banco de pruebas Núm 2 confirma que las pérdidas en un sistema de tuberías en paralelo es la misma en cada uno de los tramos del mismo sin importar la configuración ni el número de accesorios presentes en el tramo. Al estar ambos bancos de pruebas fluctuando en un rango de un número de Reynolds mayor a 4000, entonces podemos afirmar que el régimen del flujo en dichos bancos se encuentra en un estado de flujo turbulento, el cual se caracteriza por presentar un movimiento desordenado, no estacionario y tridimensional, pudiendo así influenciar un poco la medición del sensor a pesar de estar calibrado y certificado, las tuberías de Hierro Galvanizado presentaron mayor porcentaje o margen error en las mediciones de caudal, por lo cual podemos concluir que el efecto de la rugosidad del material afecta el transporte del fluido por el ducto o tubo, en este caso los materiales empleados fueron PVC y Galvanizado teniendo como rugosidad 0,0015 y 0,15 mm respectivamente, lo cual afirma que entre mayor es la rugosidad más pérdida presenta el material, es decir la adherencia del fluido a las paredes de la tubería es mayor. (Lara & Velásquez, 2011)



(Núñez et al., 2009) Artículo “*Metodología para el diseño y construcción de una máquina para medición del desgaste abrasivo basado en la norma ASTM G-65*”, Universidad Autónoma del Caribe Colombia.

Concluyen: (...) que, con esta investigación se desarrolló una máquina medidora de desgaste bajo norma para obtener un óptimo desempeño, una fácil fabricación y ensamble y con alta seguridad, todo esto para que los resultados de las pruebas a realizar tengan una fidelidad y exactitud como la norma ASTM G65. (Núñez et al., 2009)

(Bautista, 2019) Artículo “*Metodología de diseño de una máquina tribológica para pruebas de erosión*”, Universidad Politécnica de Pachuca.

Concluye: (...) que, con base a los resultados obtenidos por la aplicación de la metodología de diseño QFD, se concluye que el establecer de forma organizada y estructurada todos los parámetros involucrados que dictan la metodología, además de obtener soluciones prácticas y funcionales permiten desarrollar un diseño conceptual de forma eficiente y puntual que cumpla con las funciones deseadas por el cliente. (Bautista, 2019)

(Huaynapata & Huanacuni, 2019) Tesis “*Banco de pruebas para el análisis y estudio de cavitación en una bomba centrífuga*”, Universidad Nacional del Altiplano.

Concluyen: (...) que, se logró exitosamente con el diseño y la construcción del banco de pruebas de cavitación y se concluye que el banco funciona correctamente, se implementó satisfactoriamente el interfaz de la tarjeta myRIO – LabVIEW, las cuales nos permitieron la adquisición de datos de los sensores de Presión, Caudal y temperatura, se logró obtener el comportamiento de la presión en la bomba centrífuga, en donde logramos verificar, cuando la bomba centrífuga se encuentra sin cavitación y en cavitación. (Huaynapata & Huanacuni, 2019)



(Alvarez & Briceño, 2021) Tesis *“Diseño y elaboración de un sistema de tuberías para el análisis de la ecuación general de la energía”* Universidad de la Costa – CUC.

Concluyen: (...) que, El efecto de la rugosidad sobre el diseño final de un sistema de tuberías resulta claro en el presente proyecto para condiciones hidráulicas y diámetros similares, la tubería más lisa tiende a tener pérdidas menores que la tubería más rugosa; sin embargo, el que los distintos materiales tengan diámetros internos exactamente iguales es una condición difícil de tener en la realidad; por esta razón, cada vez que se haga un diseño de un sistema de tuberías, este se debe hacer tantas veces como materiales haya disponibles, cada uno de ellos con sus propios diámetros reales internos, cuando se trata de conductos cerrados simples, el único tipo de energía que puede perderse por razón del movimiento del fluido es la energía de presión, ya que la energía cinética permanece constante si el área es constante, y la energía potencial sólo depende de la posición; las pérdidas de presión comúnmente se expresan en términos de la altura de la columna de fluido equivalente, llamada pérdida de carga h_L ; esta representa la altura adicional que el fluido necesita con la finalidad de superar las pérdidas por fricción en la tubería. (Alvarez & Briceño, 2021)

(Martínez Henao, 2012) Artículo *“Propuesta metodológica para el diseño de un banco de pruebas para engranajes cilíndricos rectos”* Universidad San Buenaventura de Bogotá.

Concluyen: (...), La finalidad del ejercicio propuesto ha consistido en aprender a usar una metodología de diseño propuesta por Arzola para una máquina de ensayos para pruebas de engranajes de perfil de involuta y perfil especial; como parámetros se ha teniendo en cuenta las necesidades del cliente y los requerimientos de ingeniería que ayudan a optimizar todos los recursos demandados en la concepción, desarrollo y producción de todos los componentes que forman parte del banco de pruebas, la ventaja



de implementar el QFD en la metodología de diseño propuesto, pone en evidencia que no hay ningún equipo o máquina que no sea susceptible de ser mejorado o modificado y que cualquier equipo han sido desarrollados bajo parámetros propios de una necesidad particular y requerimiento propio en su diseño. (Martínez Henao, 2012)

(Parra & Velasco, 2014) Tesis “*Diseño para construcción de un banco de pruebas para determinar las pérdidas de carga en un sistema de tuberías*” Universidad Autónoma de Occidente – Colombia.

Concluyen: (...) que, el tamaño del banco de pruebas propuesto para determinar las pérdidas de carga en un sistema de tuberías se diseñó acorde con el tamaño de los bancos actuales de índole académico ofrecidos en el mercado, el diseño del recorrido de los circuitos del banco de pruebas, cuenta con una variedad de materiales y accesorios; para determinar el cálculo de las pérdidas de carga mediante el banco de pruebas diseñado, se estableció como parámetros constantes: la rugosidad, la densidad, la viscosidad dinámica del fluido, la gravedad, los diámetros nominales de las tuberías y accesorios, además de las longitudes de tuberías acorde con el tamaño del banco de pruebas diseñado; se establece en el proceso de los cálculos como parámetros variables la velocidad del fluido y la presión, las cuales dependen de la variación del flujo. Estos parámetros son la base para determinar las pérdidas en el sistema. (Parra & Velasco, 2014)



2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. ¿Qué es el Diseño?

El diseño es el proceso general mediante el cual el ingeniero aplica sus conocimientos, destrezas y puntos de vista a la creación de un producto o un sistema, que permita solucionar un problema y satisfacer una necesidad, con suficientes detalles para permitir su realización. Un diseño es la expresión de una idea que soluciona de forma innovadora un problema concreto y sirve de guía para llevarlo a la práctica, es decir, para construirlo y evaluarlo. (Herrera Herbert, 2022)

- El diseño como concepto consiste en pensar (idear) y describir una estructura que aparece como una portadora de características deseadas (particularmente funciones).
- El diseño como proceso, consiste en transformar información de las condiciones, necesidades y requisitos a la descripción que las satisfaga.

2.2.2. Metodología del Diseño

(Cross, 2015) Define metodología de diseño como “el estudio de los principios, prácticas y procedimientos de diseño en un sentido amplio, el objetivo central está relacionado con el cómo diseñar, e incluye el estudio de cómo los diseñadores trabajan y piensan; el establecimiento de estructuras apropiadas para el proceso de diseño; y la reflexión sobre la naturaleza y extensión del conocimiento del diseño y su aplicación a problemas de diseño”.



2.2.3. Modelo de diseño de Michael French

(Cross, 2015) Michael French desarrolló un modelo más detallado del proceso de diseño, que se muestra en la figura 1, basado en las siguientes actividades:

- Análisis del Problema
- Diseño Conceptual
- Dar forma a los esquemas
- Desarrollo de detalles

En el diagrama, los círculos representan las etapas o resultados alcanzados y los rectángulos representan actividades o trabajo en curso. (Cross, 2015)

El proceso comienza con un planteamiento inicial de una “necesidad”, y la primera actividad de diseño es en “análisis del problema”, French sugiere que el análisis del problema es una parte pequeña pero importante del proceso global y el resultado es un planteamiento del problema, y éste puede tener tres elementos: (Cross, 2015)

1. Un planteamiento del propio problema de diseño
2. Las limitaciones que se imponen a la solución, por ejemplo, códigos de práctica, requisitos estatutarios, normas de los clientes, fechas de terminación, etc.
3. El criterio de excelencia hacia el que se va a trabajar.

Estos tres elementos corresponden a las metas, restricciones y criterios del planteamiento del diseño.

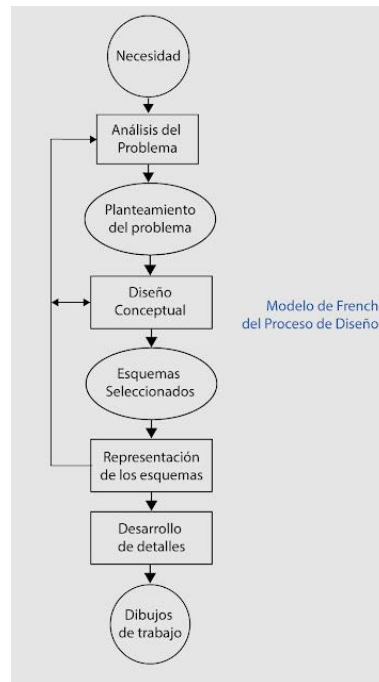


Figura 1: Modelo de French del proceso de diseño

Fuente: (Cross, 2015)

(Cross, 2015, pp. 31, 32) Actividades que siguen, según French, son entonces:

a) Diseño Conceptual

Esta fase...toma el planteamiento del problema y genera soluciones amplias, en forma de esquemas, es la fase que impone mayores demandas al diseñador y donde existe el mayor campo para mejoras espectaculares; es la fase donde necesitan conjuntarse la ciencia de la ingeniería, el conocimiento práctico, los métodos de producción y los aspectos comerciales, y donde se toman decisiones sobre la jerarquía y la relación entre los principales aspectos del producto. (Cross, 2015)

b) Dar forma a los esquemas

En esta fase los esquemas se trabajan con mayor detalle y, si existe más de uno, se hace una elección final entre ellos; el producto final es generalmente un conjunto de



dibujos del arreglo general, debería haber una buena cantidad de retroalimentación desde esta fase a la fase del diseño conceptual. (Cross, 2015)

c) Desarrollo de detalles

Ésta es la última fase, en la que quedan por decidir un número muy grande de puntos pequeños pero esenciales, la calidad de este trabajo debe ser buena, pues de lo contrario se incurrirá en demoras y gastos, o incluso en un fracaso; las computadoras están cubriendo cada vez más los aspectos monótonos de este trabajo, que demanda habilidad y paciencias, al mismo tiempo que reducen la posibilidad de errores. (Cross, 2015)

2.2.4. Medidor de agua

Instrumento destinado a medir de manera continua, memorizar y visualizar el volumen de agua que pasa por el transductor de medición en las condiciones de medición, un medidor de agua incluye por lo menos un transductor de medición, una calculadora y un dispositivo indicador; estos tres dispositivos pueden encontrarse en cubiertas diferentes. (INACAL, 2018, p. 2)

2.2.5. Transductor de Medición

Parte del medidor que transforma el caudal o volumen de agua a medir en señales que se transmiten a la calculadora, e incluye el sensor; el transductor de medición puede funcionar de manera autónoma o utilizar una fuente de alimentación eléctrica externa y puede basarse en un principio mecánico, eléctrico o electrónico. (INACAL, 2018, p. 2)

2.2.6. Sensor

Elemento de un medidor de agua directamente afectado por la acción del fenómeno, cuerpo o sustancia portador de la magnitud a medir. En el caso de un medidor de agua, el



sensor puede ser un disco, pistón, rueda, elemento de turbina, los electrodos de un medidor electromagnético u otro elemento. El elemento detecta el caudal o volumen de agua que pasa por el medidor, y se le denomina “sensor de flujo” o “sensor de volumen”. (INACAL, 2018, p. 2)

2.2.7. Calculadora

Según (INACAL, 2018, p. 3) es una parte del medidor que transforma las señales de salida provenientes del(los) transductor(es) de medición y, posiblemente, de instrumentos de medición asociados, y, si es apropiado, almacena los resultados en la memoria hasta que se utilicen. El sistema de engranaje de un medidor mecánico se considera como la calculadora de ese medidor, la calculadora puede estar provista de sistemas de comunicación de emisión y recepción con los dispositivos auxiliares. (INACAL, 2018, p. 3)

2.2.8. Características Metrológicas del Medidor de Agua

Las características más importantes de un medidor de agua son los siguientes (INACAL, 2018):

- **Volumen real (V_a):** Volumen total de agua que pasa por el medidor, independientemente del tiempo tomado.
- **Volumen indicado (V_i):** Volumen de agua indicado por el medidor, correspondiente al volumen real.
- **Error:** Valor medido de una magnitud menos un valor de referencia.
- **Error Intrínseco:** Error de un medidor determinado en las condiciones de referencia.



- **Error Intrínseco Inicial:** Error intrínseco de un medidor determinado antes de los ensayos de funcionamiento y las evaluaciones de durabilidad.
- **Error Máximo Permitido (EMP):** Valor extremo del error de medición, con respecto a un valor de referencia conocido, que es permitido por las especificaciones o reglamentaciones para un medidor dado
- **Falla:** Diferencia entre el error (de indicación) y el error intrínseco de un medidor.
- **Falla Significativa:** Falla cuyo valor es superior al valor especificado en la Norma Metrológica Peruana 005-1:2018.
- **Durabilidad:** Capacidad de un medidor para mantener sus características de desempeño durante un periodo de uso.
- **Condiciones de Medición:** Condiciones del agua (presión y temperatura), cuyo volumen se debe medir, en el punto de medición.

Para la aplicación de la Norma Metrológica Peruana (INACAL, 2018, p. 7), el volumen indicado se considera como la cantidad medida y el volumen real como la cantidad de referencia. A la diferencia entre el volumen indicado y el volumen real se le denomina error (de indicación).

2.2.9. Condiciones de Funcionamiento

Los medidores de agua potable deben cumplir con condiciones de funcionamiento y la norma (INACAL, 2018) describe:

- **Caudal permanente (Q3):** Es el caudal más alto dentro de las condiciones nominales de funcionamiento, para el cual el medidor debe funcionar dentro de los límites del error máximo permitido.



- **Caudal de sobrecarga (Q_4):** Es el caudal más alto para el cual el medidor debe funcionar durante un corto período dentro de los límites del error máximo permitido, manteniendo a la vez su desempeño metrológico cuando se lo hace funcionar posteriormente dentro de las condiciones nominales de funcionamiento.
- **Caudal de transición (Q_2):** Es el caudal que se produce entre el caudal permanente y el caudal mínimo, dividiendo el alcance de caudal en dos zonas, la “zona superior de caudal” y la “zona inferior de caudal”, cada una de las cuales se caracteriza por sus propios errores máximos permitidos.
- **Caudal mínimo (Q_1):** Es el caudal más bajo para el cual el medidor debe funcionar dentro de los límites del error máximo permitido.
- **Temperatura mínima admisible (T_{mA}):** Es la temperatura mínima del agua que un medidor puede resistir de forma permanente, dentro de sus condiciones nominales de funcionamiento, sin el deterioro de su desempeño metrológico.
- **Presión máxima admisible (P_{MA}):** Es la presión interna máxima que un medidor puede resistir de forma permanente, dentro de sus condiciones nominales de funcionamiento, sin el deterioro de su desempeño metrológico.
- **Temperatura de trabajo (T_w):** Temperatura del agua en la tubería, medida aguas arriba del medidor.
- **Presión de trabajo (p_w):** Presión (manométrica) promedio del agua en la tubería, medida aguas arriba y aguas abajo del medidor.
- **Caudal de ensayo:** Caudal medio durante un ensayo, calculado a partir de las indicaciones de un dispositivo de referencia calibrado.
- **Diámetro nominal (DN):** Designación alfanumérica de dimensión de los componentes de una red de tuberías, que se utiliza para fines de referencia.

2.2.10. Tipos de Medidores de Agua Potable

Los medidores de agua potable se clasifican de la siguiente manera:

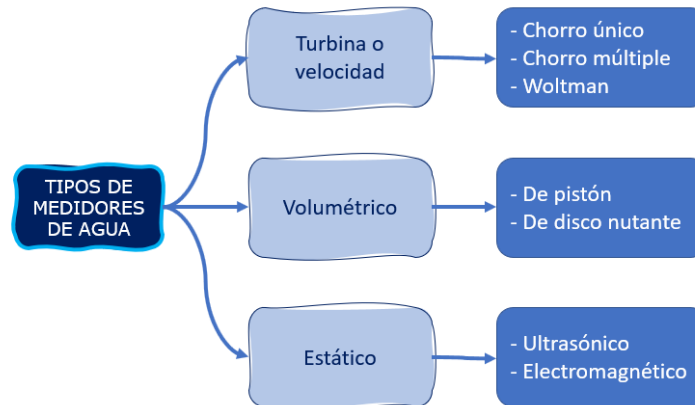


Figura 2: Tipos de medidores de agua
Elaboración propia

2.2.11. Presión

La presión se define como una fuerza normal ejercida por un fluido por unidad de área, se habla de presión sólo cuando se trata de un gas o un líquido; la contraparte de la presión en los sólidos es el esfuerzo normal; puesto que, la presión se define como fuerza por unidad de área, tiene la unidad de newtons por metro cuadrado (N/m²), la cual se llama pascal (Pa). (Cimbala & Cengel, 2001, p. 66).

$$1 Pa = \frac{1N}{m^2}$$

$$1 bar = 10^5 Pa = 0.1 Mpa = 100 kPa$$

Según (Cimbala & Cengel, 2001) la presión real que se encuentra en una posición dada se llama presión absoluta, y se mide en relación con el vacío absoluto (es decir, presión cero absoluta), la mayoría de los instrumentos para medir la presión se calibran para que den una lectura de cero en la atmósfera, de modo que indican la diferencia entre



la presión absoluta y la presión atmosférica local, esta diferencia se llama presión manométrica.

Las presiones por abajo de la atmosférica se conocen como presiones de vacío y se miden con instrumentos de vacío que indican la diferencia entre la presión atmosférica y la absoluta; las presiones absoluta, manométrica y de vacío son todas cantidades positivas y están interrelacionadas por (Cimbala & Cengel, 2001, p. 66)

$$P_{man} = P_{abs} - P_{atm} \dots \dots \dots (Ec. 2.1)$$

$$P_{vac} = P_{atm} - P_{abs} \dots \dots \dots (Ec. 2.2)$$

Donde:

P_{man} = Presión manométrica

P_{abs} = Presión absoluta

P_{atm} = Presión atmosférica

P_{vac} = Presión de vacío

2.2.12. Hidrostática

La estática de fluidos trata de los problemas relacionados con los fluidos en reposo, el fluido puede ser gaseoso o líquido; en general, la estática de fluidos se llama hidrostática cuando el fluido es un líquido y aerostática, cuando el fluido es un gas. (Cimbala & Cengel, 2001)

En la estática de fluidos no se tiene movimiento relativo entre capas adyacentes del fluido y, por lo tanto, no se tienen esfuerzos cortantes (tangenciales) en éste que traten de deformarlo. (Cimbala & Cengel, 2001)



2.2.13. Banco de Pruebas de Presión Estática

Es el equipo diseñado para comprobar la resistencia de medidores de agua potable bajo una presión hidráulica, durante un tiempo requerido. Según (INACAL, 2020, p. 6) un banco de pruebas está conformado por lo menos con los siguientes instrumentos de medición y accesorios:

- Una bomba manual, electrobomba u otro medio de presurización siempre y cuando no genere pulsaciones. (INACAL, 2020, p. 6)
- Un manómetro para medir la presión de presurización: la escala debe ser en bar o en múltiplos de Pascal, la clase de exactitud debe ser 1,6 ó 2,5; para la medición de la presión se debe considerar todas las fuentes de incertidumbre significativas, tales como resolución o división mínima, oscilación, incertidumbre de la calibración que aparece en el certificado, deriva del manómetro, así como el error del certificado de calibración en caso no se corrija; la incertidumbre de la medición debe ser menor o igual que 5,0 % del valor medido. (INACAL, 2020, p. 6)
- Un cronómetro con error relativo más incertidumbre de calibración menor a 1 s/min. Puede ser el mismo usado en el ensayo de errores de indicación si es que ambos ensayos no se realizan a la vez. (INACAL, 2020, p. 6)
- Filtro para el agua.
- Dispositivos que permitan eliminar el aire, por ejemplo válvulas.
- Válvulas que permitan abrir y cerrar el paso del agua.
- Conectores y adaptadores apropiados según el diámetro nominal del medidor a verificar.



2.2.14. Componentes y Accesorios del Banco de Pruebas

2.2.14.1. Depósito de Almacenamiento de Agua.

Los depósitos de agua son contenedores de almacenamiento de líquidos que surgen como evolución a todos aquellos problemas de suministro de agua, los depósitos de agua se pueden instalar bajo tierra, a nivel del suelo o en algunas zonas más elevadas en función de su uso aunque el funcionamiento siempre es el mismo (Haleco, 2022).

Existen diferentes tipos y formas de depósitos de almacenamiento de agua y de diferente material de fabricación, los más utilizados son de polietileno y de acero inoxidable.

2.2.14.2. Bomba Hidráulica.

Una bomba es una máquina hidráulica generadora que transforma la energía (generalmente energía mecánica) con la que es accionada en energía hidráulica del fluido incompresible que mueve, el fluido incompresible puede ser líquido o una mezcla de líquidos y sólidos como puede ser el hormigón antes de fraguar o la pasta de papel; al incrementar la energía del fluido, se aumenta su presión, su velocidad o su altura, todas ellas relacionadas según el principio de Bernoulli; en general, una bomba se utiliza para incrementar la presión de un líquido añadiendo energía al sistema hidráulico, para mover el fluido de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud.(Rodríguez, 2015)

Existen dos tipos de bombas hidráulicas:

- Bombas de desplazamiento positivo o volumétricas.
- Bombas de intercambio de cantidad de movimiento o turbobombas.

2.2.14.3. Válvula de Bola.

Accesorio que se encarga de permitir o restringir el paso de agua en el sistema, también nos permite regular el volumen de agua que se requiere en la línea de ensayo del banco de pruebas.



Figura 3: Válvula de bola

Fuente: STH Expert, <https://sthexpert.standardhidraulica.com/>

2.2.14.4. Válvula Check o Retención.

Accesorio también llamado antirretorno, se encarga de permitir el paso del agua en una sola dirección, anulando el retorno del agua en la dirección opuesta.

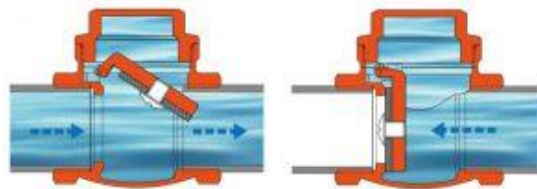


Figura 4: Válvula check de clapeta oscilante.

Fuente: STH Expert, <https://sthexpert.standardhidraulica.com/>

2.2.14.5. Filtro de Agua “Y”.

Accesorio del sistema que permite retener sarro y sedimentos del sistema hidráulico del equipo. Cuenta con una malla interna que impide el paso de partículas.

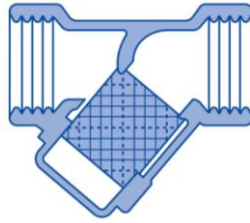


Figura 5: Filtro en “Y”

Fuente: (Truper, 2023)

2.2.14.6. Manómetro de Presión Analógico (mecánico).

(Jiménez Bonilla, 2022) Debido a su robustez y fácil manejo, los instrumentos indicadores de medición de presión son ampliamente utilizados, sus elementos de presión elásticos se deforman bajo la influencia de la presión; el sistema de medición está hecho de un elemento de cápsula, un elemento de diafragma o un tubo de Bourdon; los sistemas de medición están hechos de aleaciones de cobre, aceros aleados, de materiales especiales (Jiménez Bonilla, 2022).

2.2.14.7. Medidor de Caudal Electromagnético.

Los medidores de flujo electromagnéticos son medidores de flujo volumétrico que funcionan en base al principio de la Ley de inducción electromagnética de Faraday. Miden la velocidad del flujo cuando el líquido pasa por el medidor durante un plazo determinado. Los medidores electromagnéticos no son intrusivos y su diseño de tubo de flujo totalmente abierto facilita un flujo desinhibido y reduce la necesidad de mantenimiento gracias a que no tiene partes móviles que pueden desgastarse (Badger, 2020).

2.2.14.8. Sello (O-ring).

Accesorio también llamado junta tórica, utilizado para asegurar la estanqueidad de fluidos en este caso de la línea de ensayo del banco de pruebas. Los diámetros

seleccionados para las pruebas son según los diámetros nominales del medidores de agua potable, O-ring de 15mm, 20mm y 25mm de diametro.



Figura 6: O-ring

Fuente: Rodamientos Generales S.A.C., <http://www.gfrodamientosgenerales.com/>

2.2.14.9. Unión Universal.

Accesorio utilizado para la conexión de dos tramos de tuberías, la conexión puede ser soldada o rosca. Los tipos de unión universal de acero seleccionados son SMS y CLAMP.



Figura 7: Unión universal SMS

Fuente: <https://todovalvulas.com/>



Figura 8: Unión CLAMP

Fuente: (Famiq, 2019)

2.2.14.10. Pistón Hidráulico.

Un pistón hidráulico es un componente que transforma la energía hidráulica en energía mecánica lineal. En el proyecto se diseñará un pistón de agua que internamente el vástago permita el paso del agua, el componente se utilizará para hermetizar la línea de ensayo del banco de pruebas.

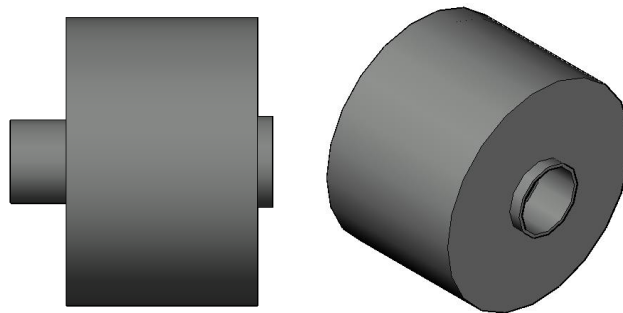


Figura 9: Pistón de agua

Elaboración propia

2.2.14.11. Tuberías.

Conducto utilizado para el transporte de fluidos, son fabricados de diferentes tipos en función al material (plástico o metal).

La mayoría de los fluidos, en especial los líquidos, se transportan en tuberías circulares. Esto es así porque las tuberías con una sección transversal circular pueden resistir grandes diferencias de presión entre el interior y el exterior sin distorsión considerable (Cimbala & Cengel, 2001, p. 322).

2.2.14.12. Manguera Flexible de Acero.

Es un conducto donde fluye fluidos, se utilizan en sistemas hidráulicos porque la manguera inoxidable brinda una excelente flexibilidad gracias a su sistema corrugado, permitiéndole actuar como un resorte.



Figura 10: Manguera metálica flexible

Fuente: (Flexilatina, 2020)

2.2.14.13. Elevador de Presión.

Componente encargado de multiplicar la presión estática en la línea de ensayo para realizar las pruebas a los medidores de agua potable. Se diseñó un componente que permita multiplicar la presión a más de 30 bar, para cumplir con el procedimiento de verificación de medidores de agua potable.

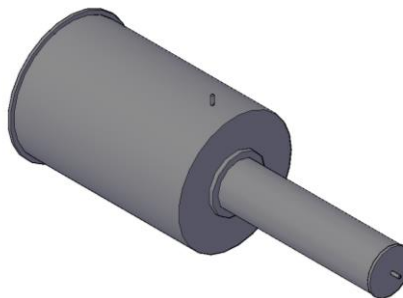


Figura 11: Elevador de presión

Elaboración propia

2.2.14.14. Válvula de Control Direccional.

Una válvula de control direccional es el control de extensión y retracción para sus cilindros hidráulicos; provee la ruta del flujo de la bomba a los cilindros y una ruta de retorno de los cilindros a la reserva de fluido. (Vektek, 2019)

Se requiere dos válvulas direccionales, uno de 4 vías y 3 posiciones con centro abierto accionado manualmente y con enclavamiento, para direccionar el



flujo de agua hacia el pistón multiplicador de presión estática; la otra válvula direccional de 4 vías y 2 posiciones accionado manualmente y con enclavamiento, para el accionamiento del pistón presurizador de la línea de ensayo.

2.2.15. Prueba de Presión Estática

Para el diseño del banco de pruebas se debe considerar la limitación del procedimiento de verificación de medidores de agua del INACAL:

- Medidores de Agua Potable diseñados en cumplimiento con la NMP 005:2018 (clase 2), con caudal permanente $Q_3 \leq 6,3$ m³/h, con Presión máxima admisible hasta 16 bar y con clase de temperatura T30 y T50. (INACAL, 2020)
- Medidores de Agua Potable diseñados en cumplimiento con la NMP 005:2011, con caudal permanente $Q_3 \leq 6,3$ m³/h, con Presión de trabajo máxima admisible hasta 16 bar y con clase de temperatura T30 y T50. (INACAL, 2020)

El propósito de estos ensayos es verificar que el medidor de agua puede resistir la presión hidráulica de ensayo establecida, sin que se presenten fugas o daños, de acuerdo con su clase de PMA (INACAL, 2020, p. 10).

- Instalar los medidores en el banco de pruebas individualmente o en grupos. Sacar el aire de la tubería del banco de pruebas y del medidor de agua.
- Asegurarse de que el banco de pruebas esté libre de fugas. Asegurarse de que la presión de suministro esté libre de pulsaciones.
- Aumentar la presión hidráulica gradualmente hasta llegar a la presión de ensayo, que es $1,6 \times PMA$. La presión de ensayo puede variar como máximo en $\pm 0,5$ bar.
- Mantener la presión de ensayo durante 60 s (+5 s /-0 s). Luego disminuir la presión gradualmente hasta llegar a cero.



- Inspeccionar los medidores para determinar daños físicos, fugas externas y fugas hacia el dispositivo indicador.
- Al subir y bajar la presión no deben haber cambios bruscos de presión.

2.2.16. Criterio de Aceptación

En el procedimiento (INACAL, 2020, p. 11), se establece los criterios de aceptación del ensayo de presión estática:

- No debe haber fugas del medidor o fugas hacia el dispositivo indicador, o daños físicos.
- Los medidores que NO CUMPLAN (presenten fugas o daños físicos) no serán sometidos a los demás ensayos.

2.2.17. Ecuaciones Matemáticas Para el Diseño del Banco de Pruebas

2.2.17.1. Principio de Pascal.

El incremento en la presión de un líquido que se encuentra en reposo se transmite de forma uniforme en todo el volumen y en todas direcciones.

$$P_1 = P_2$$

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \dots \dots \dots (Ec. 1.0)$$

Donde:

F= Fuerza (kg)

A= Área (cm²)



2.2.17.2. Ecuación de Bernoulli.

La ecuación de Bernoulli es una relación aproximada entre la presión, la velocidad y la elevación, y es válida en regiones de flujo estacionario e incompresible en donde las fuerzas netas de fricción son despreciables.

La ecuación de Bernoulli se obtiene a partir de la conservación de la cantidad de movimiento para una partícula de fluido que se desplaza a lo largo de una línea de corriente. También puede obtenerse basándose en la primera ley de la termodinámica aplicada al sistema de flujo estacionario (Cimbala & Cengel, 2001).

$$\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gZ = cte \dots \dots \dots (Ec. 2.0)$$

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gZ_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gZ_2 \dots \dots \dots (Ec. 2.1)$$

Donde:

$$\frac{P}{\rho} = \text{Energía de flujo}$$

$$\frac{V^2}{2} = \text{Energía cinética}$$

$$gZ = \text{Energía potencial}$$

2.2.17.3. Gasto Volumétrico.

En la industria de la turbo maquinaria, el flujo volumétrico se denomina capacidad, y es, simplemente, el gasto másico dividido entre la densidad del fluido (Cimbala & Cengel, 2001):

$$V = \frac{m}{\rho} \dots \dots \dots (Ec. 3.0)$$

Donde:

$$V = \text{Gasto volumétrico}$$



m = Gasto másico

ρ = Densidad del fluido

Además, el rendimiento de una bomba se caracteriza por su carga hidrostática neta H , que se define como el cambio en la carga hidrostática de Bernoulli entre la entrada y la descarga de la bomba:

$$H = \left(\frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + Z \right)_{sal} - \left(\frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + Z \right)_{ent} \dots \dots \dots (Ec. 4.0)$$

2.2.17.4. Carga de Aspiración Positiva (NPSH).

Cuando se bombean líquidos es muy probable que la presión local dentro de la bomba caiga por abajo de la presión de vapor del líquido P_v (P_v también se denomina presión de saturación P_{sat} ; en las tablas termodinámicas aparece como función de la temperatura de saturación); cuando $P < P_v$, se producen burbujas llenas de vapor, que reciben el nombre de burbujas de cavitación. (Cimbala & Cengel, 2001)

Con el fin de evitar la cavitación, es necesario tener la certeza de que la presión local en cualquier punto de la bomba se mantiene por arriba de la presión de vapor, ya que la presión es lo más fácil de medir (o estimar) en la entrada de la bomba, los criterios de la cavitación se especifican siempre en la entrada de la bomba; es adecuado utilizar un parámetro de flujo llamado carga de aspiración neta positiva (NPSH, por sus siglas en inglés), que se define como la diferencia entre la carga de presión de estancamiento en la entrada de la bomba y la carga de la presión de vapor (Cimbala & Cengel, 2001).

$$NPSH = \left(\frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} \right)_{ent} - \frac{P_v}{\rho g} \dots \dots \dots (Ec. 5.0)$$

2.2.17.5. NPSH de la Bomba o Requerido (NPSHreq).

Según (Monge Redondo, 2017) el valor de NPSHreq solamente depende de las características de la bomba y no de las características de la instalación. Es variable para cada bomba, siempre es positivo y cambia según el caudal y el número de revoluciones del motor. Los valores y las curvas son suministrados por la casa fabricante. El valor de NPSHreq informa sobre la capacidad de aspiración de una bomba en un punto determinado de su curva característica de funcionamiento: cuanto menor es el valor de NPSHreq tanto mayor es su capacidad de aspiración (Monge Redondo, 2017).

2.2.17.6. NPSH de la Instalación o Disponible (NPSHdisp).

El valor de NPSHdisp depende de las características de la instalación y equivale a la reserva total de presión por encima de la tensión de vapor del fluido y que se encuentra disponible en la zona de la brida de aspiración de la bomba. Debemos de calcularlo. Este valor resume en un sólo concepto todas las características de la instalación que influyen en la altura de aspiración de una bomba (Monge Redondo, 2017).

Una instalación de bombeo puede serlo en aspiración o bien en carga, dependiendo de si el nivel de líquido a bombear se sitúa por debajo o por encima del eje de la bomba (Monge Redondo, 2017). La siguiente figura ayudará a aclararlo.

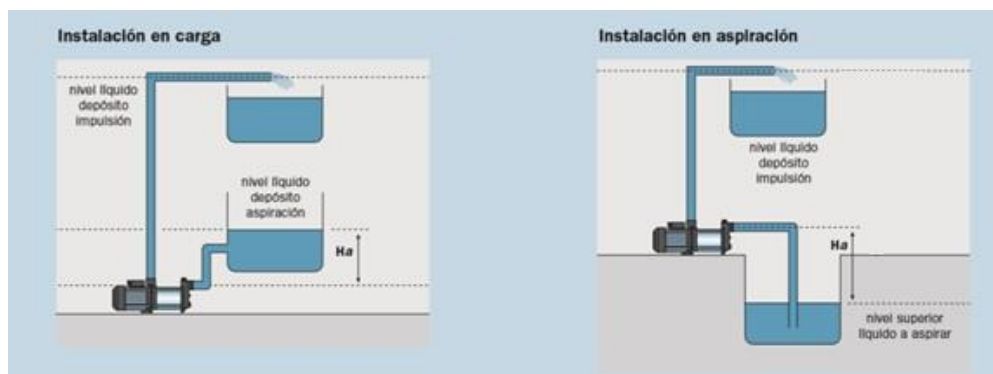


Figura 12: Instalación de bombeo en carga y en aspiración.

Fuente: Catálogo bombas ESPA



$$NPSH_{Disponible} = H_s \pm H_a - H_{vp} - H_f \dots \dots \dots (Ec. 6.0)$$

Donde:

H_s = Presión estática del fluido

H_a = Distancia de del tanque por encima/por debajo de la bomba

H_{vp} = Presión de vapor del fluido

H_f = Perdidas debido a la sección de aspiración

2.2.17.7. Numero Reynolds.

La transición de flujo laminar a turbulento depende de la geometría, la rugosidad de la superficie, la velocidad del flujo, la temperatura de la superficie y el tipo de fluido, entre otros factores; después de experimentos exhaustivos en los años de 1880, Osborne Reynolds descubrió que el régimen de flujo depende principalmente de la razón de fuerzas inerciales a fuerzas viscosas en el fluido, esta razón se llama número de Reynolds y se expresa para flujo interno en una tubería circular como (Cimbala & Cengel, 2001, p. 324):

$$Re = \frac{Fuerzas\ inerciales}{Fuerzas\ viscosas} = \frac{V_{prom}D}{\nu} = \frac{\rho V_{prom}D}{\mu} \dots \dots \dots (Ec. 7.0)$$

Donde:

V_{prom} = Velocidad de flujo promedio (m/s)

D = Diámetro (m)

ν = Viscosidad cinemática del fluido (m²/s)

2.2.17.8. Caída de Presión.

Una caída de presión ocasionada por efectos viscosos representa una pérdida de presión irreversible llamada pérdida de presión ΔP_L para destacar que es una pérdida (tal



como la pérdida de carga h_L , que es proporcional a ella). (Cimbala & Cengel, 2001, p. 329).

$$\Delta P_L = f \frac{L}{D} \frac{\rho V_{prom}^2}{2} \dots \dots \dots (Ec. 8.0)$$

Donde:

f = Factor de fricción de Darcy

D = Diámetro (m)

L = Longitud (m)

ρ = Densidad del fluido (kg/m^3)

V_{prom} = Velocidad de flujo promedio (m/s)

2.2.17.9. Pérdida de Carga.

La pérdida de carga h_L representa la altura adicional que el fluido necesita para elevarse por medio de una bomba con la finalidad de superar las pérdidas por fricción en la tubería; la pérdida de carga se produce por la viscosidad y se relaciona directamente con el esfuerzo de corte de la pared del tubo. (Cimbala & Cengel, 2001, p. 330)

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{V_{prom}^2}{2g} \dots \dots \dots (Ec. 9.0)$$

Donde:

f = Factor de fricción de Darcy-Weisbach

D = Diámetro (m)

L = Longitud (m)

V_{prom} = Velocidad de flujo promedio (m/s)



2.2.17.10. Pérdida de Energía en Flujo Laminar.

La pérdida de energía para este tipo de flujo se puede calcular a partir de la ecuación de Hagen – Poiseuille

$$h_L = \frac{32\mu LV}{\gamma D^2} \dots \dots \dots (Ec. 10.0)$$

Reemplazando la fórmula de Darcy-Weisbach (Ec. 9.0)

$$f \frac{LV^2}{D2g} = \frac{32\mu LV}{\gamma D^2} \dots \dots \dots (Ec. 10.1)$$

Despejamos f tenemos:

$$f = \frac{64\mu g}{VD\gamma} \dots \dots \dots (Ec. 10.2)$$

Anteriormente se definió el número de Reynolds como: $Re = \frac{\rho VD}{\mu}$

Entonces:

$$f = \frac{64}{Re} \dots \dots \dots (Ec. 10.3)$$

Por lo tanto en flujo laminar para encontrar las pérdidas de energía a través de la fórmula.

2.2.17.11. Pérdida de Energía en Flujo Turbulento.

Para el cálculo de las pérdidas de energía por fricción en flujo turbulento es conveniente usar la ecuación de Darcy, este flujo presenta dificultades por la variación en forma constante, por lo tanto se debe recurrir a los datos experimentales para calcular el factor de fricción (f). (Parra & Velasco, 2014)

Diferentes tipos de pruebas han demostrado que el factor de fricción depende de otras dos cantidades adimensionales, el número de Reynolds y la rugosidad relativa de la

tubería, para calcular el factor de fricción en flujos turbulentos el método más usado es por medio del Diagrama de Moody (Parra & Velasco, 2014).

2.2.17.12. Diagrama de Moody.

Es un método gráfico usado para determinar el factor de fricción, el cual es obtenido mediante una serie de curvas paramétricas relacionadas con la rugosidad relativa y el número de Reynolds; el diagrama de Moody nos muestra tres zonas, la zona laminar, la zona de transición y la zona de turbulencia. (Cimbala & Cengel, 2001), En el Anexo 4 se muestra el diagrama de Moody más detallado.

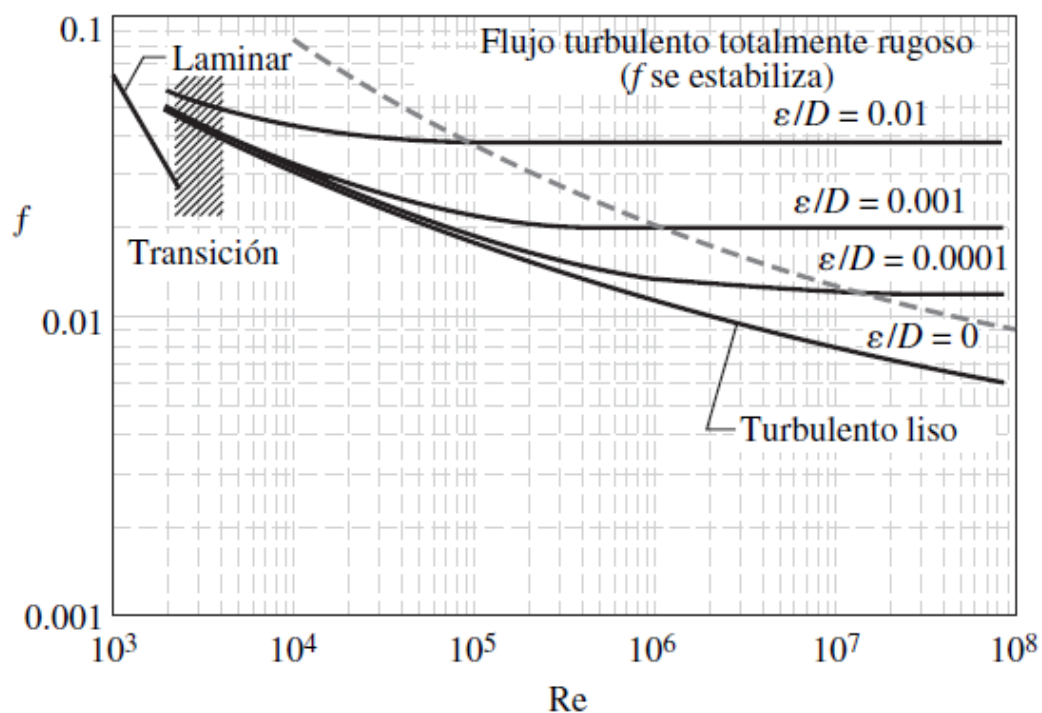


Figura 13: Diagrama de Moody

Fuente: (Cimbala & Cengel, 2001)

El factor de fricción lo podemos calcular también por medio de la ecuación propuesta por P.K Swamee y A.K.Jain, para flujo turbulento.



$$f = \frac{0.25}{\left[\text{Log} \left(\frac{1}{3.7 \left(\frac{D}{e} \right)} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \dots \dots \dots (Ec. 11.0)$$

Donde:

f = Factor de fricción de Darcy-Weisbach

D = Diámetro (m)

e = Rugosidad absoluta del material (m)

Re = Numero de Reynolds (adimensional)

2.2.17.13. Valores de rugosidad absoluta para tuberías comerciales nuevas

En el interior de los tubos comerciales existen protuberancias o irregularidades de diferentes formas y tamaños cuyo valor medio se conoce como rugosidad absoluta (K), y que puede definirse como la variación media del radio interno de la tubería (Lifeder, 2019).

En la Tabla 1, se indican valores de rugosidad para algunas tuberías comerciales, así también en el diagrama de Moody del anexo “B1”. Pero, se debe recordar que dichos valores son para tuberías nuevas, y que la rugosidad relativa de las tuberías puede aumentar con el uso, como resultado de la corrosión, la acumulación de sarro y la precipitación (Cimbala & Cengel, 2001, p. 341).



Tabla 1: Valores de rugosidad absoluta

Valores de rugosidad equivalentes
para tuberías comerciales nuevas*

Material	Rugosidad ϵ	
	ft	mm
Vidrio, plástico	0 (liso)	
Concreto	0.003-0.03	0.9-9
Duela de madera	0.0016	0.5
Hule, alisado	0.000033	0.01
Tubería de cobre o latón	0.000005	0.0015
Hierro fundido	0.00085	0.26
Hierro galvanizado	0.0005	0.15
Hierro forjado	0.00015	0.046
Acero inoxidable	0.000007	0.002
Acero comercial	0.00015	0.045

* La incertidumbre en estos valores puede ser hasta ± 60 por ciento..

Fuente: (Cimbala & Cengel, 2001)



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de Investigación

El tipo del problema de la presente investigación es descriptiva, aplicada, por lo que se propondrá una solución al problema planteado. Se utilizó el método de ingeniería de diseño de Michael French donde se muestra la secuencia de actividades que ocurren en el proceso de diseño.

3.1.2. Ubicación y Descripción del Componente de Investigación

Los bancos de pruebas de presión estática para evaluar medidores de agua se utilizan en laboratorios de empresas como UVMEDICION S.A.C. y MEDILESER S.A.C. que se encuentran ubicados en el distrito de Ate del departamento de Lima; lo cual, sirvió como referencia para el diseño del equipo.

3.1.3. Población y muestra

Tabla 2: Población y muestra

Población	Muestra
Bancos para verificación Inicial de medidores de agua potable, para pruebas de presión estática y errores de indicación.	Banco de pruebas de presión estática para evaluar medidores de agua potable.

Elaboración propia

3.1.4. Técnicas e Instrumentos de Investigación

Tabla 3: Técnicas e instrumentos

Técnicas	Instrumentos
Análisis del problema	Material Bibliográfico
Diseño Conceptual	Método de selección funcional
Representación de esquemas	Esquema de Estructura funcional
Desarrollo de detalle	Software AutoCad

Elaboración propia

3.2. METODOLOGÍA DE DISEÑO

3.2.1. Análisis del Problema

En esta fase se establecemos la necesidad que se está presentando; el diseño de un banco de pruebas de presión estática, para verificar ausencia de fugas y daños físicos en medidores de agua potable, basado en el procedimiento PV003 del INACAL; a partir de la necesidad se dan las especificaciones requeridas y deseadas por el diseñador.

Se entiende por especificación requerida, aquella sin la cual la máquina pierde su objetivo, y por deseada, toda aquella que sin ser estrictamente necesaria, mejoraría algunos aspectos de la máquina (Núñez et al., 2009).

3.2.1.1. Especificaciones del Producto.

A continuación se establece los aspectos que el banco de pruebas debe de tener para poder realizar la prueba de presión estática a micromedidores de agua potable de diámetro nominal de $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{4}$ " y 1".



Lista de especificaciones del producto de una forma no tan extensa y concisa, donde se muestra tres de los conceptos del equipo en el formato diseñado por (Riba Romeva, 2002).

Tabla 4: Especificaciones del producto

PRODUCTO: BANCO DE PRUEBAS DE PRESIÓN ESTÁTICA A MEDIDORES DE AGUA POTABLE		
CONCEPTO	R/D	DESCRIPCIÓN
FUNCION	R	Generar una presión de ensayo de 1.6 veces la PMA del medidor de agua. La presión puede variar como máximo en $\pm 0,5$ bar.
	D	Suministro de agua por una electrobomba multietapa, comandada por un variador de frecuencia.
OPERACIONES NECESARIAS	R	Poder medir la presión en la línea de ensayo
	R	Generar estanqueidad en la línea de ensayo, evitando fugas de agua y pérdida de presión.
	R	Regular la presión de la línea de ensayo para evitar superar 1.6 veces de la PMA del medidor de agua.
	R	Mantener la presión durante el ensayo durante 60s (+5 s / -0s). Luego disminuir la presión gradualmente.
	D	Equipo compacto, con retorno del agua al depósito automático.
PRECISIÓN	R	Calibración de los instrumentos en el periodo de tiempo que propone el procedimiento PV003

Elaboración propia

3.2.1.2. Estructura Funcional del Producto.

Una vez establecidas las especificaciones iniciales del producto, procedemos a definir la estructura funcional del equipo para cumplir con las especificaciones nombradas.

Para representar la estructura funcional del proyecto, utilizamos un esquema que simboliza una caja negra de funciones, donde los datos de entrada se refieren a datos necesarios para que el sistema funcione.



Figura 14: Caja negra de funciones del equipo

Elaboración propia

En la figura 14, se observa el funcionamiento del banco de pruebas, que comienza con el suministro de agua y de energía eléctrica, para después proceder con la instalación de los accesorios, instrumentos de medición y los medidores de agua en la línea de ensayo. Posteriormente se realiza la purga de aire en el sistema y luego se verifica la hermeticidad de la línea de ensayo. Por último se realiza el ensayo de presión estática, donde se verifica fugas y daños físicos a los medidores de agua instalados, verificando que la presión del sistema no supere 1.6 veces la presión máxima admisible del medidor.

Procedemos a realizar la descomposición de las funciones generales del sistema, mostrando subfunciones, para ello se utilizó el esquema de la caja transparente que ayuda a identificar el comportamiento de nuestro sistema en subfunciones específicas para un mejor entendimiento.

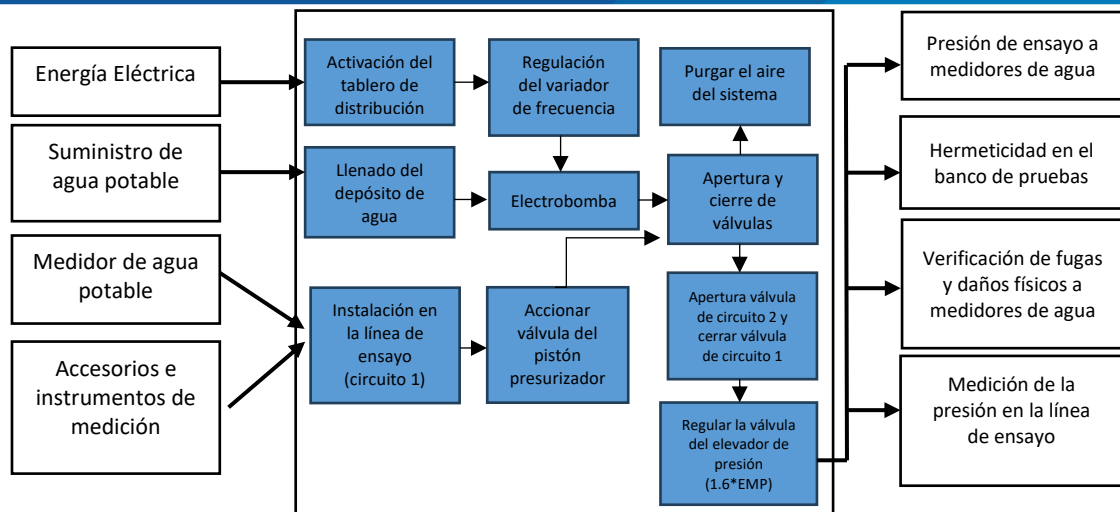


Figura 15: Caja transparente de funciones del banco

Elaboración propia

En la figura 15, se muestra que el operario realiza el llenado del depósito de agua, la activación del tablero de distribución y regula el variador de frecuencia de acuerdo con el tipo de medidor que se requiere ensayar.

Luego realiza la instalación de los accesorios, acoples, soportes, bocinas, válvula check del mismo diámetro nominal del medidor a verificar, revisa el estado del manómetro, además según procedimiento PV003 revisa con una linterna la parte interna de los medidores de agua; después se procede con la apertura de la válvula del pistón presurizador para hermetizar la línea de ensayo.

Inmediatamente se realiza la apertura y cierre de válvulas para poder realizar la purga de aire del sistema, el tiempo de este proceso se realiza a criterio del operario verificando en el visor de vidrio que ya no haya circulación de burbujas de aire. Posterior a ello se cierra la válvula del circuito 1, y se apertura la válvula del circuito 2 donde se realiza la elevación de presión estática y se regula la presión requerida para la prueba.

El proceso termina con la verificación de fugas y daños físicos en los medidores de agua potable instalados, la presión debe mantenerse durante 60s (+5s/-0s) y no debe haber una variación mayor de 0.5bar.

3.2.2. Diseño conceptual

Una vez definido el problema, las especificaciones del producto y la estructura funcional del proyecto. Ahora determinaremos las soluciones más viables de un grupo de soluciones potenciales del problema, para ello utilizaremos una matriz morfológica donde se nombra las funciones con sus posibles alternativas de solución.

Tabla 5: Matriz morfológica

FUNCION	ALTERNATIVA		
	1	2	3
Fuerza Motriz	Motor eléctrico	Motor de combustión	-
Medio de presurización	Bomba centrífuga multietapa	Bomba manual	Tanque elevado
Instrumento para medir la presión	Manómetro digital	Manómetro analógico	-
Dispositivos para eliminar el aire	Válvulas de bola	Válvula eliminadora de aire	-
Filtro para el agua	Filtro YEE	Filtro de agua	-
Soporte del banco de pruebas	Estructura con tubos de acero inoxidable	Estructura con tubos de acero galvanizado	Estructura con tubos de acero al carbono
Medio para multiplicar la presión	Equipo elevador de presión tipo pistón	Pistón hidráulico de aceite con suministro externo	-

Elaboración propia

En la tabla 5, se detalla las funciones necesarias que debe cumplir el banco de pruebas y para cada una de ella se consideran algunas alternativas de solución.

3.2.2.1. Evaluación de Alternativas.

Para evaluar las alternativas propuestas se emplearon tablas comparativas para cada subfunción con base a criterios del diseñador, considerando cada una de las cualidades que posee cada alternativa de solución. Se asignó la siguiente ponderación para las evaluaciones; Excelente=10, Buena=9, Regular=8 y Mala=7 (Bautista, 2019).

Tabla 6: Evaluación de alternativas

Fuerza Motriz	Criterio de Evaluación			Resultado	
	Costo	Mantenimiento	Desempeño		
Motor Eléctrico	9	9	10	9.3	
Motor combustión	8	8	8	8	
Gravedad	-	-	-	-	
Medio presurizador	Criterio de Evaluación			Resultado	
	Costo	Mantenimiento	Desempeño		
Bomba centrífuga	9	8	10	9	
Bomba manual	10	8	8	8.6	
Tanque elevado	8	9	7	8	
Instrumento para medir presión	Criterio de Evaluación			Resultado	
	Costo	Confiability	Tiempo de respuesta		
Manómetro digital	10	9	7	8.6	
Manómetro analógico	8	10	10	9.3	
Dispositivo para eliminar aire	Criterio de Evaluación			Resultado	
	Costo	Eficiencia	Accesibilidad de repuesto		
Válvulas de bola	9	9	10	9.3	
Válvula eliminadora de aire	8	10	9	9	
Medio para elevar la presión estática	Criterio de Evaluación			Resultado	
	Costo	Mantenimiento	Desempeño		
Pistón para elevar presión estática	9	9	9	9	
Pistón hidráulico de aceite con suministro externo	7	8	10	8.3	
Filtro para el agua	Criterio de Evaluación				Resultado
	Costo	Eficiencia	Perdida de carga	Estética	
Filtro de agua	9	9	8	8	8.5
Filtro YEE	8	10	9	9	9
Soporte del banco de pruebas	Criterio de Evaluación				Resultado
	Costo	Resistencia a la corrosión y oxidación	Durabilidad	Estética	

Estructura con tubos de acero inoxidable	8	10	10	10	9.5
Estructura con tubos de acero galvanizado	9	9	9	9	9
Estructura con tubos de acero al carbono	10	8	8	8	8.5

Elaboración propia

En la tabla 6, se muestra las alternativas propuestas en la matriz morfológica, cada una de ellas fueron evaluadas respecto a criterios específicos de cada subfunción, con el fin de obtener la mejor opción a partir de una calificación promedio más elevada de cada uno de los criterios establecidos.

3.2.3. Representación de Esquemas.

A continuación se presenta el boceto de las alternativas de diseño que cumple con los criterios establecidos los cuales fueron evaluados en las tablas comparativas.

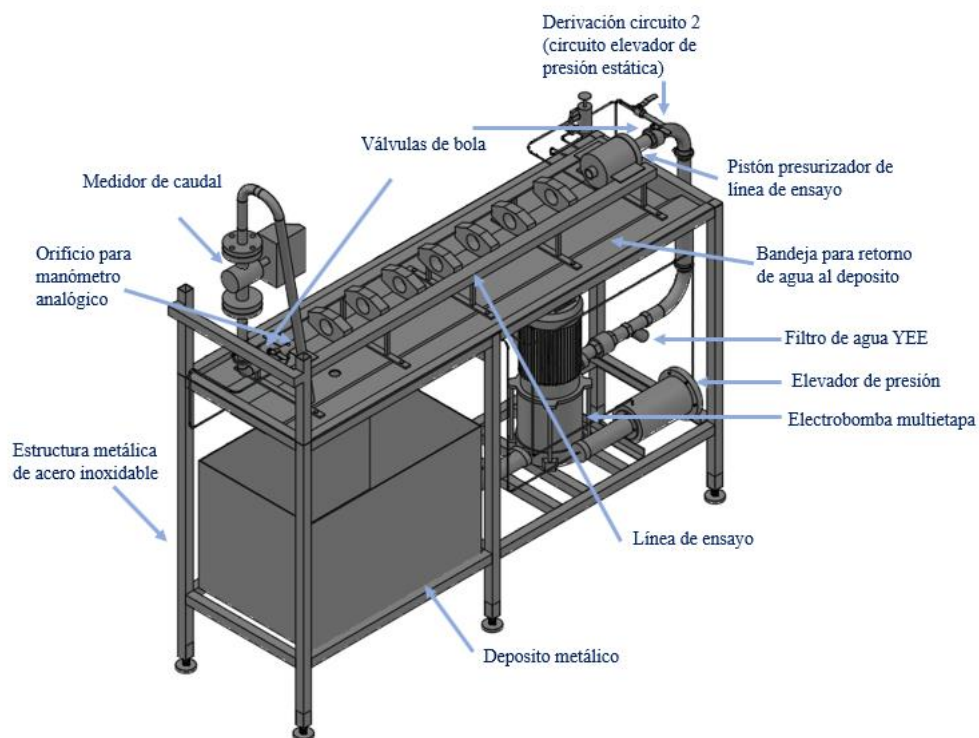


Figura 16: Alternativa 1 banco de pruebas

Elaboración propia

En la figura 16, se presenta la primera alternativa de diseño del banco de pruebas, donde se cumplen los criterios establecidos. El diseño de la alternativa 1 es un diseño más pequeño y se requerirá el uso de menos espacio, además el agua recirculará automáticamente y no será necesario hacer uso de otra bomba para el retorno del agua.

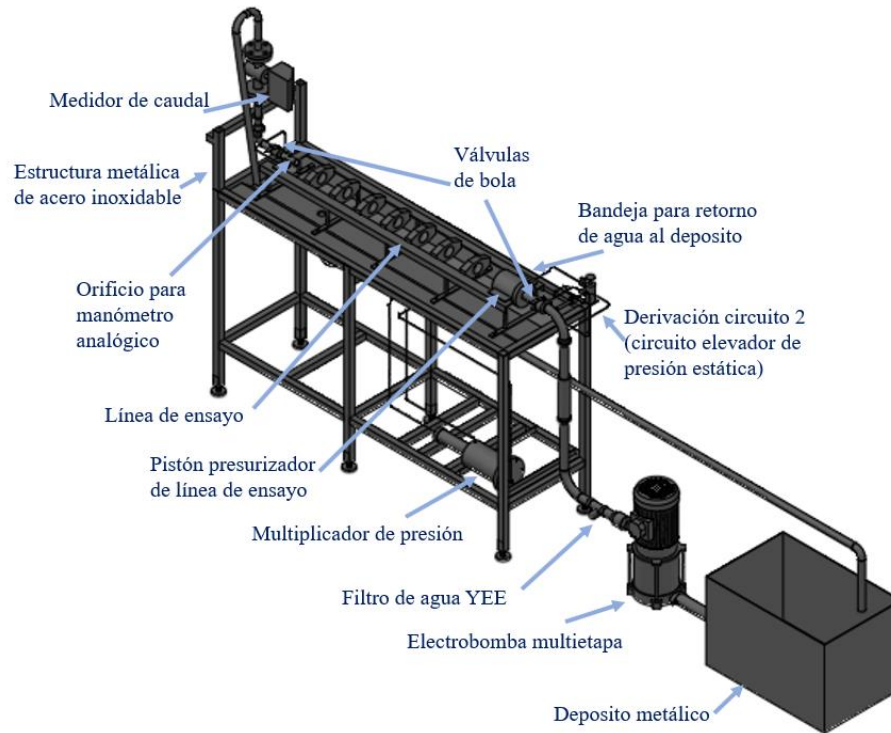


Figura 17: Alternativa 2 banco de pruebas
Elaboración propia

En la figura 17, se presenta la segunda alternativa de diseño del banco de pruebas, donde también se cumplen los criterios establecidos. El diseño de la alternativa 2 es un diseño más amplio donde el depósito de agua se coloca a una distancia de la estructura del banco de pruebas, se puede hacer el uso de otro depósito y una bomba para retornar el agua al depósito principal, caso contrario se deberá colocar una tubería desde la bandeja del banco al depósito principal.

Analizando las dos alternativas de solución planteadas, y viendo la más conveniente para su implementación se toma la alternativa 1 como diseño prometedor, por ser de

menor costo, mejor aspecto, más estético y pequeño lo que facilita su implementación en espacios reducidos.

3.2.4. Desarrollo de Detalle

El desarrollo de detalle contempla las dimensiones y características que deben tener los componentes y piezas del banco de pruebas de presión estática.

3.2.4.1. Selección de Materiales y Diámetros.

Se seleccionaron dos tipos de materiales para los dos circuitos del banco de pruebas, donde se consideró su utilidad en las aplicaciones de ingeniería, la estética y su durabilidad. Se realizará el cálculo de parámetros y de pérdidas de presión en los circuitos, que permitan visualizar el comportamiento del sistema cuando se realiza variaciones de parámetros: como flujo, diámetro de la tubería, material de la tubería, factor de rugosidad, longitudes de tuberías y diferentes accesorios.

Los materiales y diámetros seleccionados pueden ser adquiridos comercialmente sin dificultad para su implementación. Los materiales y diámetros seleccionados son los siguientes:

Tabla 7: Diámetro y material de tuberías

Diámetro / Material	Acero Inoxidable (circuito 1)	Cobre (circuito 2)
1/8"	-	X
1/4"	X	-
1 1/4"	X	-
1/2" (Accesorio línea de ensayo)	X	-
3/4" (Accesorio línea de ensayo)	X	-
1" (Accesorio línea de ensayo)	X	-

Elaboración propia



3.2.4.2. Parámetros Para el Diseño del Banco de Pruebas

Para calcular el diseño hidráulico del banco de pruebas de presión estática es necesario definir los parámetros constantes y variables que intervienen en el funcionamiento. Son considerados parámetros constantes al material de accesorios y tuberías, el diámetro de tubería, propiedades de del agua a temperatura ambiente en este caso nivel del mar. Los parámetros variables son la velocidad, presión y pérdida de carga los cuales son consecuencia de la variación de caudal. En el banco de pruebas se requiere multiplicar la presión estática en el sistema.

Parámetros Constantes.

- **Longitud de tramos de tubería:** Son definidas de acuerdo con las dimensiones del banco de pruebas.
- **Diámetro:** La selección del diámetro de tubería del circuito 1 del banco de pruebas se realizó en base a que el diámetro de la tubería del sistema (1 1/4") debe ser mayor al diámetro de los medidores de agua que se evaluarán (1/2", 3/4", 1"). La selección del diámetro de tubería del circuito 2 del banco de pruebas es de 1/8", porque se requiere multiplicar la presión estática en el circuito 1.
- **Rugosidad:** Es un parámetro adimensional que se caracteriza por las irregularidades que posee una superficie (tubería), para el proyecto se considera la rugosidad del acero inoxidable y del cobre.
- **Gravedad:** Fenómeno natural de valor constante definido de acuerdo con la altitud donde se implementará el equipo, para el diseño hidráulico se utilizará el valor 9.81m/s^2 .
- **Viscosidad dinámica:** Medida de resistencia a la fluencia de un fluido, se tomará la viscosidad dinámica para una temperatura ambiente de 20°C .



- **Viscosidad cinemática:** Resistencia a la fluencia de un fluido a fluir bajo fuerzas gravitacionales, se tomará la viscosidad cinemática para una temperatura ambiente de 20°C.
- **Densidad:** medida del fluido de la relación entre masa y el volumen que ocupa, se tomará la densidad para una temperatura ambiente de 20°C.

Parámetros Variables.

- **Caudal:** El caudal en el circuito 1 será regulado mediante dos válvulas de globo de 1 ¼” y 1”. Para el circuito 2 el caudal será regulado por una válvula de globo de ¼”.
- **Presión:** La presión dependerá de la velocidad del fluido y del área de la tubería, en el circuito 1 la presión será la generada por la bomba, en el circuito 2 la presión será multiplicada por el elevador de presión, aumentando la presión estática en el circuito 1.
- **Velocidad:** Para efecto de diseño hidráulico se considerará una velocidad máxima de 5 m/s en tuberías menores de 1”, para evitar golpes de ariete y excesivas pérdidas de carga en el sistema.
- **Perdida de carga:** Producido por la fricción del fluido en la tubería, la pérdida de carga depende de la velocidad del fluido y la rugosidad de la tubería. Para el diseño del circuito 1 se realizó los cálculos para un flujo máximo de 6 m³/h y para el circuito 2 un flujo máximo de 0.756 m³/h.

3.2.4.3. Circuito Hidráulico del Banco de Pruebas.

Analizando la alternativa de diseño seleccionado, podemos deducir el circuito hidráulico para poder identificar los componentes y accesorios que contará el banco de pruebas de presión estática.

El banco de pruebas consta de un circuito 1 principal que se divide en la zona de suministro de agua, zona de presurización de la línea de ensayo, zona de descarga y un circuito 2 secundario que se divide en la zona multiplicadora de presión estática.

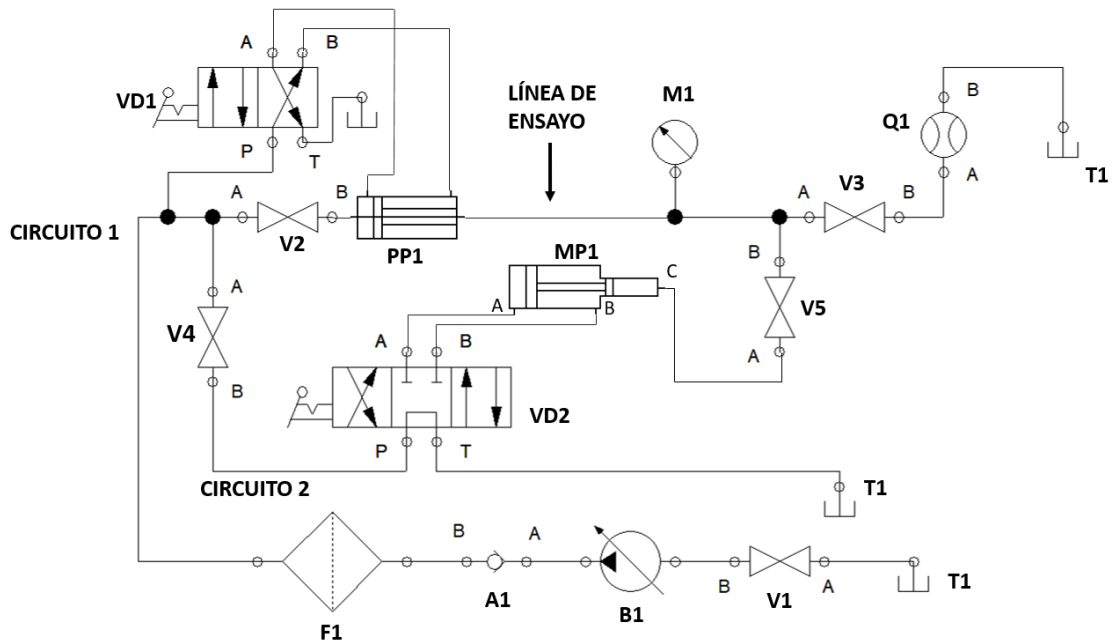


Figura 18: Circuito hidráulico del banco de pruebas

Elaboración propia

A continuación se presenta el esquema del banco de pruebas donde se identifica el circuito hidráulico 1 de color amarillo y circuito hidráulico 2 de color verde.

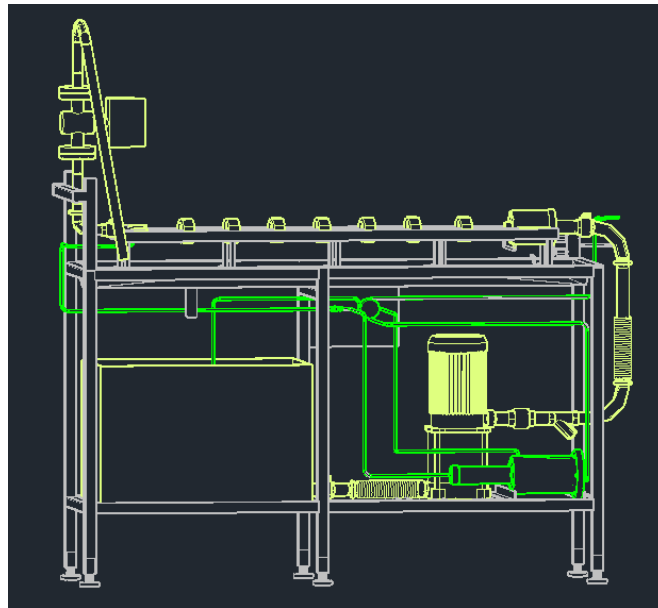


Figura 19: Esquema de circuitos del banco de pruebas.

Elaboración propia

Una vez definido los circuitos del sistema, procedemos a realizar el listado de componentes y accesorios que serán necesarios para su implementación y poder realizar los cálculos para su selección de componentes y fabricación. A continuación se presenta el cuadro con la leyenda de las abreviaturas del circuito hidráulico.

Tabla 8: Componentes y accesorios del banco de pruebas

COMPONENTE/ ACCESORIO	DESCRIPCIÓN	COMPONENTE/ ACCESORIO	DESCRIPCIÓN
V1	Válvula de bola 1 ¼"	V2	Válvula de bola 1 ¼"
V3	Válvula de bola 1"	V4	Válvula de bola ¼"
V5	Válvula de aguja 1/8"	B1	Electrobomba
A1	Válvula de retención 1 ¼"	F1	Filtro YEE 1 ¼"
VD1	Válvula distribuidora 4v/2p acc. manual	VD2	Válvula distribuidora 4v/3p acc. Manual y centro abierto

COMPONENTE/ ACCESORIO	DESCRIPCIÓN	COMPONENTE/ ACCESORIO	DESCRIPCIÓN
PP1	Pistón presurizador de línea de ensayo	MP1	Multiplicador de presión estática
M1	Manómetro analógico	Q1	Caudalímetro electromagnético 1”
Tubería	Circuito 1 (Acero Inoxidable)	Tubería	Circuito 2 (Cobre)
-	Unión Clamp/SMS	-	Codos 90°

Elaboración propia

3.2.4.4. Cálculo de Diámetros y Radios de Tuberías.

De la tabla 7, material y diámetro de tuberías calculamos el radio en m², a continuación se presenta el cuadro de cálculo:

Tabla 9: Diámetro y área de tuberías

Diámetro (pulg)	Diámetro Nominal	Diámetro en (mm)	Radio (mm)	Radio (m)	Área (m ²)
1/8	DN6	6	3	0.003	0.000028
1/4	DN8	8	4	0.004	0.00005
1	DN25	25	12.5	0.0125	0.00049
1 ¼	DN32	32	16	0.016	0.0008

Elaboración propia

3.2.4.5. Cálculo de Velocidad.

Para el funcionamiento del circuito 1 se debe cerrar las válvulas “V4” y “V5”. Se realizarán los cálculos para el tipo de medidor de agua de mayor diámetro (1”), el caudal permanente de dicho medidor es 6300 L/h. Por lo que al momento de realizar la purga del

sistema no se debe superar ese caudal. Realizaremos el cálculo de velocidad en tuberías de 1 ¼” y 1” con un caudal de 6000 L/h.

Para el funcionamiento del circuito 2 se debe cerrar las válvulas “V2” y “V3” y considerando una velocidad máxima de diseño de 5 m/s y para la tubería de 1/8”, obtenemos el caudal máximo de 504 L/h. La válvula “V4” de diámetro 1/4” abierto a la totalidad tiene un caudal máximo de 756 L/h y si se apertura 2/3 tendrá un caudal máximo de 504 L/h.

Tubería 1 ¼” – DN32

Dato: Caudal: 6000 L/h ; Diámetro de tubería DN32 – 1 ¼”

$$Q = V * A \quad 0.00167 \frac{m^3}{s} = v \times 0.0008 m^2 \quad V1_{C1} = 2.0875 \frac{m}{s}$$

Tubería 1” – DN25

$$Q = V * A \quad 0.00167 \frac{m^3}{s} = v \times 0.00049 m^2 \quad V2_{C1} = 3.408 \frac{m}{s}$$

Tubería 1/4” – DN8

$$Q = V * A \quad 0.00021 \frac{m^3}{s} = v \times 0.00005 m^2 \quad V1_{C2} = 4.2 \frac{m}{s}$$

Tubería 1/8” – DN6 (Velocidad máxima 5 m/s)

$$Q = V * A \quad Q = 5 \frac{m}{s} \times 0.000028 m^2 \quad Q2 = 0.00014 \frac{m^3}{s}$$

3.2.4.6. Cálculo del NPSH Disponible.

Realizamos el cálculo de la carga de aspiración positiva disponible de la instalación.

$$NPSH_{Disponible} = Hs \pm Ha - Hvp - Hf$$

- La presión estática del fluido H_s , lo obtenemos del Anexo 1, y seleccionamos la presión respecto a la altitud donde será instalado el banco de pruebas. Altitud al



nivel del mar 0 m – presión atmosférica 1013 mbar, lo que es igual a 1 atm (10.33m).

- La distancia del depósito a la bomba H_a , se obtiene del Anexo 23, donde el tanque estará 0.5m debajo de la bomba.
- La presión de vapor del fluido H_{vp} , se obtiene de la tabla del Anexo 3, donde la presión de vapor del agua a una temperatura ambiente de 20°C es 0.2388m.
- Por último realizamos el cálculo de las pérdidas menores debido a la sección de aspiración: Del bosquejo y plano del equipo en el Anexo 26, se verifica que en la sección de aspiración se cuenta con 1 válvula de bola de 1 ¼”, y un tramo de tubería de 0.5m.

Perdida Tubería de Aspiración.

Del Anexo 5, para un tramo de tubería de 1 ¼” a 6 m³/h, se tiene 14.9 de pérdidas equivalentes a 100 metros de tubería, calculamos:

$$X = \frac{0.5 \text{ m} \times 14.9}{100} \quad X = 0.0745 \text{ m}$$

Multiplicamos por el factor del material (Acero inoxidable 0.8)

$$X = 0.0745 \text{ m} \times 0.8$$

$$X = 0.06 \text{ m}$$

Perdida válvula de bola 1 ¼”.

Del Anexo 6, para una válvula de globo o bola de 1 ¼” abierta a la totalidad, visualizamos las pérdidas que son 11 m de pérdidas equivalentes a la longitud de 100 metros de tubería.

$$X = \frac{14.9 \times 11}{100} \quad X = 1.64 \text{ m}$$



Por lo que H_f será igual a la suma de pérdida de la tubería de aspiración más la pérdida de la válvula de bola 1 ¼”.

$$H_f = 0.06 \text{ m} + 1.64 \text{ m}$$

$$\mathbf{H_f = 1.7 \text{ m}}$$

Reemplazamos en la formula $NPSH_{disponible}$:

$$NPSH_{Disponible} = H_s \pm H_a - H_{vp} - H_f$$

$$NPSH_{Disponible} = 10.33 \text{ m} - 0.5 \text{ m} - 0.2388 \text{ m} - 1.7 \text{ m}$$

$$\mathbf{NPSH_{Disponible} = 7.89 \text{ m}}$$

Para que la instalación este bien diseñada se tiene que cumplir que:

$$NPSH_{Disponible} > 1.1 NPSH_{Requerido}$$

$$\frac{NPSH_{Disponible}}{1.1} > NPSH_{Requerido}$$

$$\frac{7.89}{1.1} > NPSH_{Requerido}$$

$$\mathbf{NPSH_{Requerido} < 7.17 \text{ m}}$$

3.2.4.7. Parámetros Para Seleccionar la Bomba hidráulica.

- Altura de Impulsión: 100m
- Caudal: $6 \text{ m}^3/\text{h} = 6000 \text{ L/h}$
- Diámetro de aspiración (entrada): 1 ¼”
- NPSH: Menor que 7.17 m

3.2.4.8. Selección de la Bomba.

Se realizó la selección de la bomba marca PENTAX modelo U5V-400/8T, las ventajas del modelo es que son bombas multietapas de acero inoxidable, para bombeo de

fluidos limpios, sistema de presurización de agua potable, riego, industria alimentaria y sistema de lavado.

Tabla 10: Cuadro de selección de la bomba

TYPE		P2		P1 (kW)		AMPERE		Q (m ³ /h - l/min)									
1~	3~					1~	3~	0	1,8	2,4	3,6	4,2	4,8	6	7,2	8,4	9
						1x220 V 60 Hz	3x380 V 60 Hz	0	30	40	60	70	80	100	120	140	150
		HP	kW	1~	3~	H (m)											
U 5...140/8	U 5...140/8T	1,75	1,29	1,9	1,8	8,9	3,6	64,3	61,1	60,0	57,0	55,5	53,1	48,3	42,4	34,2	28,6
U 5...250/5	U 5...250/5T	2,5	1,84	2,4	2,2	11,1	4,3	80,2	76,4	74,9	71,2	70,2	66,5	60,5	52,4	41,9	35,7
U 5...300/6	U 5...300/6T	3	2,2	2,9	2,6	14,5	5,1	96,6	92,1	89,7	85,7	83,1	79,8	72,7	63,6	51,0	42,8
-	U 5...350/7T	3,5	2,57	-	3,1	-	5,9	113,6	109,1	106,7	101,6	99,2	94,7	86,3	75,1	60,2	51,4
-	U 5...400/8T	4	3	-	3,5	-	6,8	129,6	124,6	122,3	116,6	113,7	109,1	99,8	87,9	69,9	60,1

Fuente: Catalogo Electrobomba PENTAX

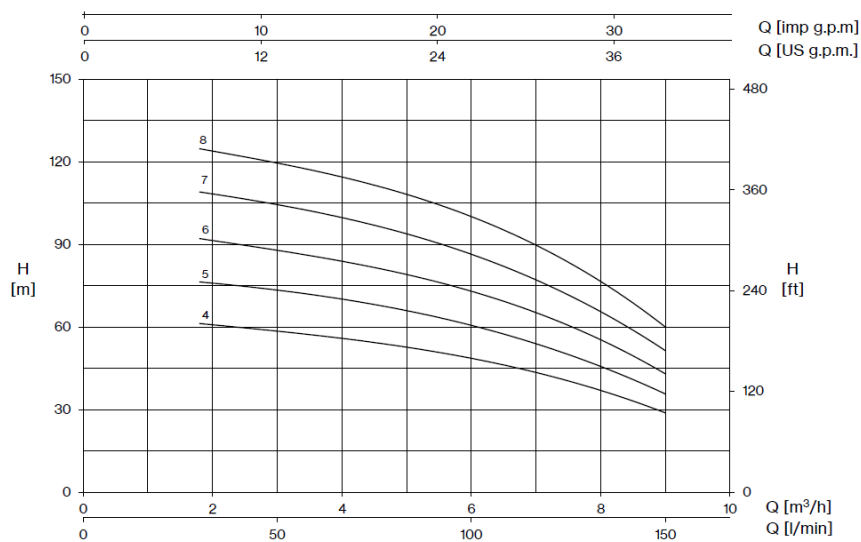


Figura 20: Grafico de caudal vs altura de la bomba

Fuente: Catalogo Electrobomba PENTAX

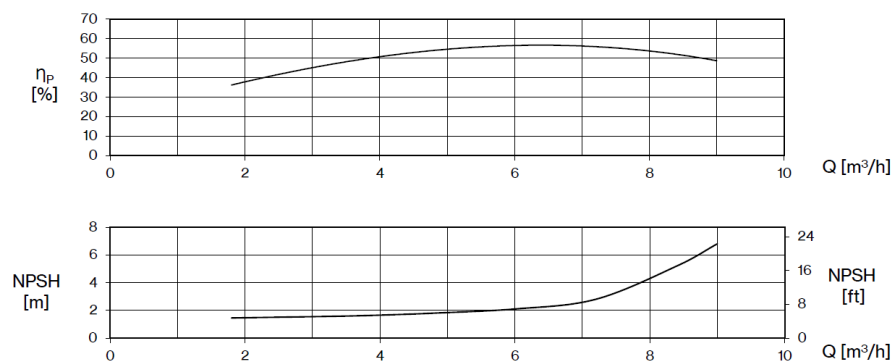


Figura 21: Grafico de características de la bomba

Fuente: Catalogo Electrobomba PENTAX



De los gráficos de las características de la bomba seleccionada, para un caudal máximo de 6 m³/h que necesita el sistema, la altura que entrega la bomba es 99.8 metros, con una eficiencia de 58%.

Hallamos la potencia del eje de la bomba y verificamos que sea menor a la potencia del motor de la bomba.

$$n = 58\%$$

$$P_{oth} = \gamma * Q * H$$

$$P_{oth} = 9.806 \frac{KN}{m^3} \times 0.001667 \frac{m^3}{s} \times 99.8 m \quad P_{oth} = 1.63 \text{ Kw} = 2.19 \text{ Hp}$$

$$n_{bomba} = \frac{P_{oth}}{P_{ejebomba}}$$

$$P_{ejebomba} = \frac{P_{oth}}{n_{bomba}} = \frac{2.19}{0.58}$$

$$P_{ejebomba} = 3.77 \text{ HP} < 4 \text{ HP}$$

3.2.4.9. Ecuación de la Energía del Circuito 1.

La ecuación de la energía nos ayudará a encontrar el valor de la presión en la línea de ensayo, las pérdidas de presión en las tuberías y perdidas menores en el circuito, además del número Reynolds del circuito; para ello se debe considerar los datos principales.

Cálculo de Pérdidas de Carga en Tuberías del Tramo 1 y 2.

DATOS: Del plano del Anexo 26, se obtiene la longitud de la tubería, el caudal y presión de las características de la bomba.

Tramo de tubería 1	Longitud de tubería	Velocidad (V1C1)	Caudal (Q1)	Presión (P1C1)
DN32	0.905 m	2.0875 m/s	6000 L/h	9.3 bar
Tramo de tubería 2	Longitud de tubería	Velocidad (V2C1)	Caudal (Q1)	Presión (P2C1)
DN25	1.2707 m	3.408 m/s	6000 L/h	x



$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gZ_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gZ_2$$

Considerando que Z1 es cero porque es la referencia y las pérdidas del sistema la formula quedaría de la siguiente forma.

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} - hf = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gZ_2$$

Cálculo del número Reynolds para el tramo 1 y 2

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

$$Re1_{c1} = \frac{2.0875 \frac{m}{s} \times 0.032 m}{1.007 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}} \quad Re1_{c1} = 66335.6$$

$$Re2_{c1} = \frac{3.408 \frac{m}{s} \times 0.025 m}{1.007 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}} \quad Re2_{c1} = 84607.7$$

Como el resultado del número Reynolds es >4000, hallamos el factor de fricción.

$$f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{1}{3.7\left(\frac{D}{e}\right)} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right) \right]^2}$$

La rugosidad del material se obtiene de la Tabla 01, 0.002 mm.

$$f1_{c1} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{1}{3.7\left(\frac{0.032 m}{0.000002 m}\right)} + \frac{5.74}{66335.6^{0.9}}\right) \right]^2} \quad f1_{c1} = 0.0198$$

$$f2_{c1} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{1}{3.7\left(\frac{0.025 m}{0.000002 m}\right)} + \frac{5.74}{84607.7^{0.9}}\right) \right]^2} \quad f2_{c1} = 0.0189$$

Una vez conocido el factor de fricción, hallamos la perdida de fricción con la formula de Darcy.

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

$$h_{L1} = 0.0198 \frac{0.905 \text{ m} \left(2.0875 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{0.032 \text{ m} \cdot 2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} \quad h_{L1} = 0.124 \text{ m}$$

$$h_{L2} = 0.0189 \frac{1.2707 \text{ m} \left(3.408 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{0.025 \text{ m} \cdot 2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} \quad h_{L1} = 0.569 \text{ m}$$

Cálculo de Perdidas Menores en el Tramo 1 y 2.

En el tramo 1 se cuenta con los siguientes accesorios:

Tabla 11: Accesorios del tramo 1

Accesorio	Cantidad
Válvula de retención 1 ¼"	1
Filtro YEE 1 ¼"	1
Manguera de acero 1 ¼"	1
Unión Clamp 1 ¼"	1
Válvula de bola 1 ¼"	1
Contracción 1 ¼" a 1"	1
Codos 90°	2

Elaboración propia

Obtenemos la pérdida de carga según el catalogo de fabricante de los accesorios:

Válvula de retención: $K=2.5$

$$hL = k \frac{v^2}{2g} \quad hL = 2.5 \frac{2.0875 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{2 \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$hL = 0.55 \text{ m}$$

Válvula de bola 1 ¼"

Válvulas

Válvula de globo, totalmente abierta: $K_L = 10$

Válvula de ángulo, totalmente abierta: $K_L = 5$

Válvula de bola, totalmente abierta: $K_L = 0.05$

Válvula de charnela: $K_L = 2$

Válvula de compuerta, totalmente abierta: $K_L = 0.2$

$\frac{1}{4}$ cerrada: $K_L = 0.3$

$\frac{1}{2}$ cerrada: $K_L = 2.1$

$\frac{3}{4}$ cerrada: $K_L = 17$

Figura 22: Factor k para válvulas

Fuente: (Cimbala & Cengel, 2001)

$$hL = k \frac{v^2}{2g} \quad hL = 0.05 \frac{2.0875 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{2 \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$hL = 0.05 \frac{2.0875^2}{2 \times 9.81} \quad hL = 0.01 \text{ m}$$

Contracción 1 ¼” – 1”

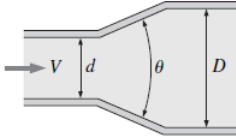
Expansión y contracción gradual (con base en la velocidad en la tubería de diámetro más pequeño)

Expansión:

$$K_L = 0.02 \text{ para } \theta = 30^\circ$$

$$K_L = 0.04 \text{ para } \theta = 45^\circ$$

$$K_L = 0.07 \text{ para } \theta = 60^\circ$$



Contracción (para $\theta = 20^\circ$):

$$K_L = 0.30 \text{ para } d/D = 0.2$$

$$K_L = 0.25 \text{ para } d/D = 0.4$$

$$K_L = 0.15 \text{ para } d/D = 0.6$$

$$K_L = 0.10 \text{ para } d/D = 0.8$$

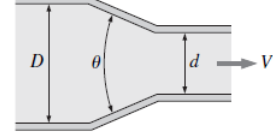


Figura 23: Factor k para contracción de tubería

Fuente: (Cimbala & Cengel, 2001)

Realizamos el calculo d/D para la tubería DN32 y DN25 y hallamos la perdida de carga.

$$\frac{d}{D} = \frac{25 \text{ mm}}{32 \text{ mm}} \quad \frac{d}{D} = 0.78 \dots \text{Fig.23}$$

$$hL = k \frac{v^2}{2g} \quad hL = 0.10 \frac{3.408^2}{2 \times 9.81}$$

$$hL = 0.10 \frac{3.408^2}{2 \times 9.81} \quad hL = 0.06 \text{ m}$$

Codos 90°

<p><i>Codos y ramificaciones</i> Codo suave de 90°: Embridado: $K_L = 0.3$ Roscado: $K_L = 0.9$</p>	<p>Codo esquinado de 90° (sin álabes directores): $K_L = 1.1$</p>	<p>Codo esquinado de 90° (con álabes directores): $K_L = 0.2$</p>	<p>Codo roscado de 45°: $K_L = 0.4$</p>
<p>Codo de retorno de 180°: Embridado: $K_L = 0.2$ Roscado: $K_L = 1.5$</p>	<p>Conexión en T (flujo deriv.): Embridado: $K_L = 1.0$ Roscado: $K_L = 2.0$</p>	<p>Conexión en T (flujo en línea): Embridado: $K_L = 0.2$ Roscado: $K_L = 0.9$</p>	<p>Unión roscada: $K_L = 0.08$</p>

Figura 24: Factor k para codo 90°, conexión T y unión roscada

Fuente: (Cimbala & Cengel, 2001)



Seleccionamos el tipo de codo que se utilizará. Codo suave de 90° roscado, el factor k es 0.9. Hallamos la pérdida de carga.

$$hL = k \frac{v^2}{2g} \qquad hL = 0.9 \frac{2.0875 \frac{m^2}{s}}{2 \times 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$hL = 0.2 \text{ m}$$

Como son 2 codos: la pérdida sería 0.4 m

Unión universal

Tipo de accesorio	Factor K
Unión universal	0.08

Tabla 12: Factor K para unión universal

Fuente: (Munson et al., 1999)

$$hL = k \frac{v^2}{2g} \qquad hL = 0.08 \times \frac{2.0875 \frac{m^2}{s}}{2 \times 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$hL = 0.018 \text{ m}$$

Filtro de agua YEE, diámetro 1 ¼”

Valores de Kv / Kv Values:

Kv = Es la cantidad de metros cúbicos por hora que pasará a través del filtro generando una pérdida de carga de 1 bar.

Kv = The flow rate of water in cubic meters per hour that will generate a pressure drop of 1 bar across the filter.

Med. /Size	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"
Kv	4.3	7.5	10	15	21	33.5	78	92	145

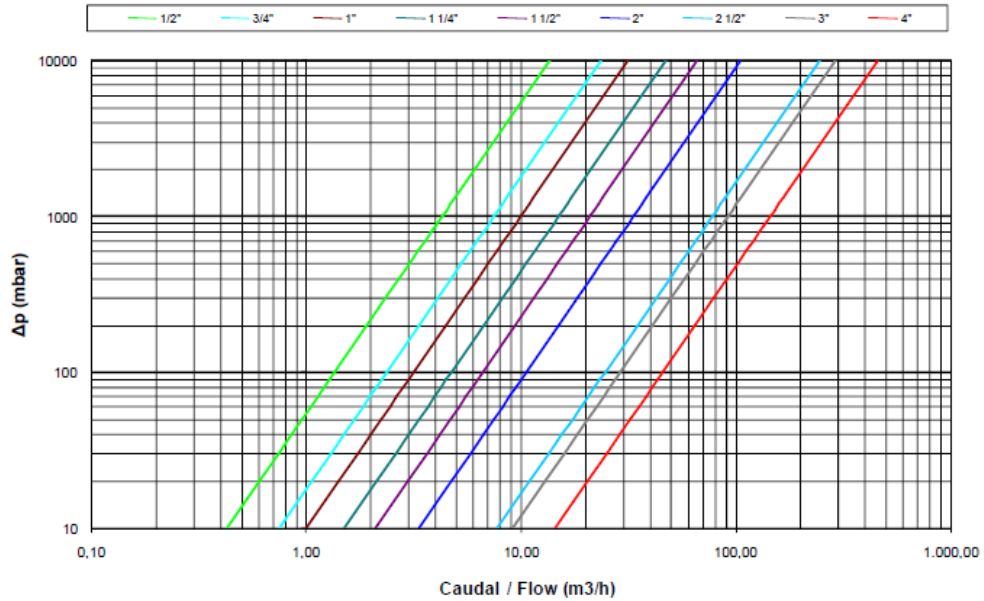


Figura 25: Grafico caudal vs perdida de carga de filtro de agua.

Fuente: (Tamiz, 2020)

Para un caudal de 6 m³/h y un filtro de 1 ¼”, obtenemos del grafico la perdida de carga de 0.16 bar. Realizamos el cálculo de perdida de carga en metros.

$$hL = \frac{0.16 \text{ bar} \times 10.2 \text{ mca}}{1 \text{ bar}} \qquad hL = 1.63 \text{ mca}$$

Manguera flexible de acero inoxidable.

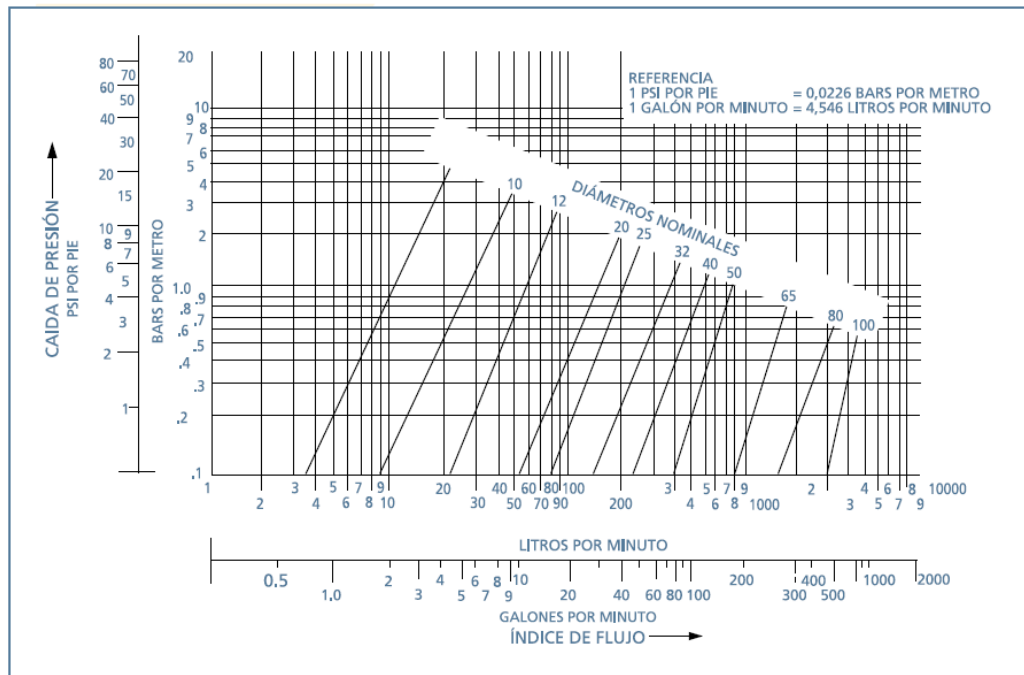


Figura 26: Gráfico caudal vs pérdida de carga de manguera flexible

Fuente: (GOPLAST, n.d.)

Del gráfico para un caudal de 100 L/min para una manguera de 1 ¼”, la pérdida de carga es 0.1 bar/metro.

Calculamos la pérdida de carga para una manguera de 0.20 metros.

$$hL = 0.1 \frac{\text{bar}}{\text{m}} \times \text{long. manguera} \qquad hL = 0.1 \frac{\text{bar}}{\text{m}} \times 0.2 \text{ m}$$

$$hL = 0.02 \text{ bar} = 0.204 \text{ mca.}$$

Realizamos la suma de las pérdidas en los tramos 1 y 2, como también las pérdidas menores

$$H_{ft} = H_{f_{t1}} + H_{f_{t2}} + H_{f_{vr}} + H_{f_{vb}} + H_{f_{ct}} + H_{f_{cd90}} + H_{f_{unión}} + H_{f_{filtro}} + H_{f_{manguera}}$$

$$H_{ft} = 0.124\text{m} + 0.569\text{m} + 0.55\text{m} + 0.01\text{m} + 0.06\text{m} + 0.2\text{m} + 0.018\text{m} + 1.63\text{m} + 0.204$$

$$\mathbf{H_{ft} = 3.365\text{mca} = 0.33 \text{ bar}}$$

Reemplazamos los datos hallados en la ecuación de la energía 2.1.

$$P_1 + \rho \frac{V_1^2}{2} - hf = P_2 + \rho \frac{V_2^2}{2} + \rho g Z_2$$

P1_{c1}	P2_{c1}	HF_{c1}	V1_{c1}	V2_{c1}
9.3 bar	8.904 bar	0.33 bar	2.0875 m/s	3.408 m/s

$$9.3 \text{ bar} + 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \frac{(2.0875 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2} - 0.33 \text{ bar} = P_2 + 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \frac{(3.408 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2} +$$

$$1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0.31 \text{ m}$$

$$P_2 = 9.3 \text{ bar} + 2178.8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} - 0.33 \text{ bar} - 5807.2 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} - 3041.1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$P_2 = 9.3 \text{ bar} + 0.022 \text{ bar} - 0.33 \text{ bar} - 0.058 \text{ bar} - 0.03 \text{ bar}$$

$$\mathbf{P2_{c1} = 8.904 \text{ bar}}$$

3.2.4.10. Ecuación de la Energía en el Circuito 2.

Cálculo de Pérdidas de Carga en Tuberías del Tramo del Circuito 2.

$$P_1 + \rho \frac{V_1^2}{2} - hf = P_2 + \rho \frac{V_2^2}{2} + \rho g Z_2$$

Para la válvula de 1/4" se utilizará a 1/3 cerrada.

Q2= 0.00014 m³/s y la velocidad sería V2=5 m/s

Cálculo del número Reynolds para el tramo del circuito 2

$$Re1_{c2} = \frac{4.2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0.008 \text{ m}}{1.007 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} \quad Re1_{c2} = 33366.4$$

$$Re2_{c2} = \frac{5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0.006 \text{ m}}{1.007 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} \quad Re2_{c2} = 29791.5$$

Como el resultado del número Reynolds es >4000, hallamos el factor de fricción.

La rugosidad del material se obtiene de la Tabla N° 01.



$$f1_{c2} = \frac{0.25}{\left[\text{Log} \left(\frac{1}{3.7 \left(\frac{0.008 \text{ m}}{0.000002 \text{ m}} \right)} + \frac{5.74}{33366.4^{0.9}} \right) \right]^2} \quad f1_{c2} = 0.0236$$

$$f2_{c2} = \frac{0.25}{\left[\text{Log} \left(\frac{1}{3.7 \left(\frac{0.006 \text{ m}}{0.000005 \text{ m}} \right)} + \frac{5.74}{29791.5^{0.9}} \right) \right]^2} \quad f2_{c2} = 0.0257$$

Una vez conocido el factor de fricción, hallamos la pérdida de fricción con la formula de Darcy

$$h_{L1} = 0.0226 \frac{0.08 \text{ m}}{0.008 \text{ m}} \frac{\left(\frac{4.2 \text{ m}}{\text{s}} \right)^2}{2 \left(\frac{9.81 \text{ m}}{\text{s}^2} \right)} \quad h_{L1} = 0.42 \text{ m}$$

$$h_{L2} = 0.0257 \frac{2 \text{ m}}{0.006 \text{ m}} \frac{\left(\frac{5 \text{ m}}{\text{s}} \right)^2}{2 \left(\frac{9.81 \text{ m}}{\text{s}^2} \right)} \quad h_{L2} = 10.91 \text{ m}$$

Cálculo de pérdidas menores en el circuito 2

Válvula de bola

K=5.5 para válvula de bola 1/3 cerrada según (Munson et al., 1999)

$$hL = k \frac{v^2}{2g} \quad hL = 5.5 \frac{\left(\frac{5 \text{ m}}{\text{s}} \right)^2}{2 \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$hL = 7.01 \text{ m}$$

Válvula distribuidora 4vías/2posiciones

$$hL = k \frac{v^2}{2g} \quad hL = 10 \frac{\left(\frac{5 \text{ m}}{\text{s}} \right)^2}{2 \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$hL = 12.74 \text{ m}$$

Realizamos la suma de las pérdidas en el tramo del circuito 2, como también las pérdidas menores

$$Hft = Hf_{t1} + Hf_{t2} + Hf_{vb} + Hf_{vd}$$

$$Hft = 0.42 \text{ m} + 10.91 \text{ m} + 7.01 \text{ m} + 12.74 \text{ m}$$

$$Hft = 31.08 \text{ mca} = 3.01 \text{ bar}$$

Reemplazamos los datos hallados en la ecuación de la energía 2.1.

$$P_1 + \rho \frac{V_1^2}{2} - hf = P_2 + \rho \frac{V_2^2}{2} + \rho g Z_2$$

P1_{c2}	P2_{c2}	HF_{c2}	V1_{c2}	V2_{c2}
8.904 bar	5.97 bar	3.01 bar	4.2 m/s	5 m/s

$$8.904 \text{ bar} + \frac{1}{2} 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \frac{\left(4.2 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} - 3.01 \text{ bar} + 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0.83 \text{ m} - \frac{1}{2} 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \frac{\left(5 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = P_2$$

$$P_2 = 8.904 \text{ bar} + 449.5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} - 3.01 \text{ bar} + 8142.3 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} - 637.1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$P_2 = 8.904 \text{ bar} + 0.0045 \text{ bar} - 3.01 \text{ bar} + 0.0814 \text{ bar} - 0.00637 \text{ bar}$$

$$\mathbf{P2_{c2} = 5.97 \text{ bar}}$$

3.2.4.11. Dimensionamiento del Depósito de Agua.

Respecto al caudal requerido para el funcionamiento del banco de pruebas y teniendo en cuenta el diseño elegido, realizamos el cálculo del volumen mínimo para que el sistema funcione y la capacidad máxima del mismo.

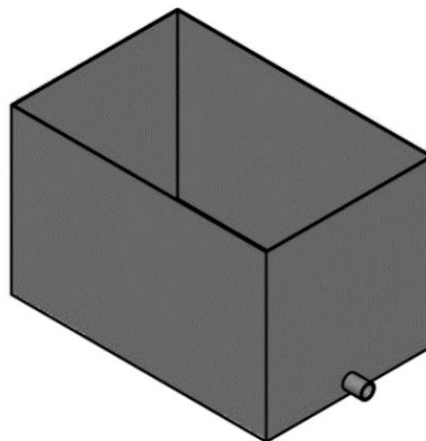


Figura 27: Depósito de almacenamiento de agua

Elaboración Propia

Las dimensiones del depósito de agua están detalladas en el Anexo 23. Se tomaron de acuerdo con el esquema elegido en las anteriores fases de la metodología del diseño.

- Medidas del depósito metálico: 0.7 m x 0.45 m x 0.447 m.
- Capacidad máxima del depósito metálico: $0.1408 \text{ m}^3 = 140.8 \text{ litros}$.

Volumen mínimo para el funcionamiento del banco de pruebas considerando que la tubería de suministro está instalada a 1.1 cm de la base. Sumamos la distancia de la tubería instalada, el diámetro de la tubería de suministro 3.2 cm (DN32) y la distancia mínima para que no ingrese aire a la bomba 10 cm.

$$Vol_{min} = (0.011 \text{ m} + 0.032 \text{ m} + 0.1 \text{ m}) \times 0.45 \text{ m} \times 0.7 \text{ m}$$

$$Vol_{min} = 0.045 \text{ m}^3 = 45 \text{ litros}$$

3.2.4.12. Cálculo de Equipo Multiplicador de Presión.

La presión de ingreso al multiplicador de presión es 9.024 bar. Las dimensiones del componente fueron seleccionados según la necesidad de la presión estática requerida. En el anexo 24 se detalla el componente.

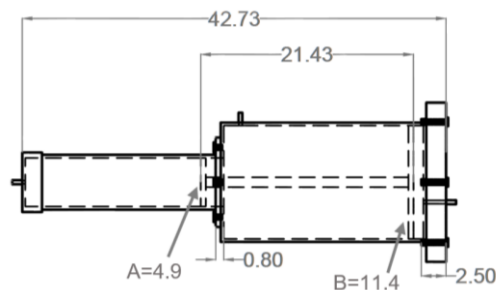


Figura 28: Equipo multiplicador de presión

Elaboración propia

Diámetros de los émbolos del multiplicador de presión

Diámetro A	Radio A	Área A	Diámetro B	Radio B	Área B
4.9 cm	0.0245 m	0.00188	11.4 cm	0.057	0.0102



La fuerza en el punto A y en B será el mismo. Hallamos la presión en el punto B.

$$F1 = F2$$

$$P1 = \frac{F1}{A1}$$

Hallamos la fuerza en B:

$$F1 = P1 \times A1$$

$$F1 = 6.72 \text{ bar} \times 0.0102 \text{ m}^2$$

$$F1 = 672000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.0102 \text{ m}^2$$

$$F1 = 6854.4 \text{ N} = F2$$

Hallamos la presión en A:

$$P2 = \frac{F2}{A2}$$

$$P2 = \frac{6854.4 \text{ N}}{0.00188 \text{ m}^2}$$

$$P2 = 3645957.4 \text{ Pa} = 36.46 \text{ bar}$$

Presión de entrada: 6.72 bar

Presión de salida: 36.46 bar

Relación de presión de multiplicación: 1:5.4

3.2.4.13. Cálculo del Pistón Presurizador.

Se utilizará el flujo de la tubería de suministro para accionar el pistón y presurice la línea de ensayo. En el Anexo 25 se detalla el componente.

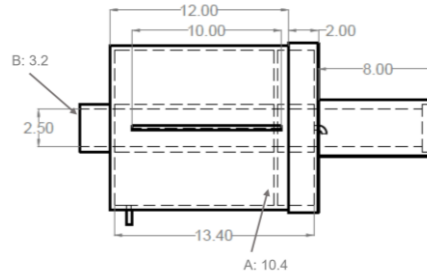


Figura 29: Pistón Presurizador de línea de ensayo

Elaboración propia

Hallamos el área del pistón, quitando el área del vástago que se extenderá para presurizar.

Diámetro A	Radio	Área A	Diámetro B	Radio	Área B
10.4 cm	0.052 m	0.0085 m ²	3.2 cm	0.016 m	0.0008 m ²

Cálculo del área del pistón:

$$\text{Área total} = \text{Área A} - \text{Área B}$$

$$\text{Área total} = 0.085 \text{ m}^2 - 0.000804 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 0.0842 \text{ m}^2$$

Hallamos la fuerza:

$$P = \frac{F}{A}$$

$$F = P * A$$

$$F = 9.024 \text{ bar} * 0.0842 \text{ m}^2$$

$$F = 902400 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * 0.0842 \text{ m}^2$$

$$F = 75982.08 \text{ N} = 7745.3 \text{ kg}$$

Cálculo del volumen de avance:

$$V_a = \text{Area total} \times \text{Long pistón}$$



$$Va = 0.0842 \text{ m}^2 \times 0.134 \text{ m}$$

$$Va = 0.0113 \text{ m}^3 = 11.28 \text{ litros}$$

Considerando la velocidad máxima de diseño de 8 m/s:

$$Q = 8 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0.000028 \text{ m}^2$$

$$Q = 0.000224 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0.8064 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Cálculo el tiempo de avance para que el vástago se extienda en su totalidad.

$$t = \frac{0.0113 \text{ m}^3}{0.000224 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}$$

$$t = 50 \text{ segundos}$$

Según la ficha técnica de la junta tórica del Anexo N° 21, el accesorio soporta hasta 1500 psi = 103.4 bar, por lo que la presión máxima del sistema será 9.0 bar. Lo cual no dañará las juntas tóricas.

3.2.4.14. Dimensionamiento de la Estructura del Banco de Pruebas

Para el dimensionamiento de la estructura del banco de pruebas, se tuvo en cuenta la estética, la durabilidad, la resistencia a la corrosión y el costo. Además se requiere un equipo que sea compacto y no muy amplio que ocupe menos espacio. Para ello del diseño seleccionado se obtiene las medidas de la estructura del banco. En el Anexo N° 22, se detalla el plano de la estructura del equipo.

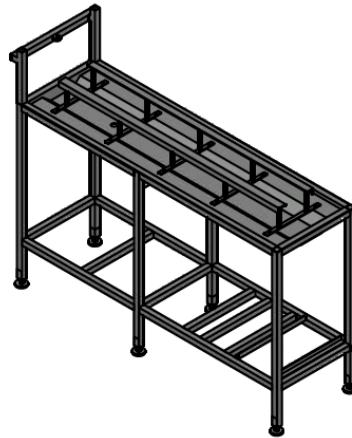


Figura 30: Estructura del banco de pruebas
Elaboración propia

La dimensión de la estructura está definida por el contorno externo de la estructura (ancho, alto, fondo).

3.2.4.15. Selección de Componentes y Accesorios.

Variador de Frecuencia.

Para seleccionar el variador de frecuencia, debemos de tener en cuenta para que será utilizado y el tipo de carga. Para el control de la electrobomba, se utilizará un control escalar (la relación de torque con la velocidad es cuadrática) a mayor velocidad mayor torque.

Datos técnicos del motor eléctrico

Corriente Nominal	: 12.6 A
Voltaje	: 220 Δ - 380 Y
Frecuencia	: 60 Hz
Revoluciones	: 3450 rpm

Dimensionamiento y selección del variador

- Régimen de carga del motor eléctrico: Normal 100%



Condiciones ambientales

- Temperatura 25°C (0 °C – 40 °C – Normal)
- Altitud: 355m (0 a 1000 msnm – Normal) (>1000msnm por cada 100m se deprecia 1% de corriente nominal).

No se depreciará ningún porcentaje de la corriente nominal del motor eléctrico, porque las condiciones ambientales son normales. Revisamos la tabla del fabricante, que se encuentra en el Anexo 07.

Seleccionamos el tipo de variador de frecuencia con código de tipo ABB AC5580-01-018A-4, con una tensión de alimentación CA trifásica 380, para una corriente nominal de 16.2 A.

Circuito Eléctrico del Variador de Frecuencia.

El circuito eléctrico de conexión del variador de frecuencia al motor de la bomba constara de los siguientes componentes: Un interruptor electromagnético trifásico, un contactor o guardamotor, conmutador de puesta en marcha, selectores y pulsadores. En el Anexo 20 se detalla el circuito eléctrico.

Válvulas de Bola.

Para el control de flujo se seleccionó válvulas de bola de la marca VALSUM de acero inoxidable. Características del componente en la ficha del fabricante en el Anexo 08.

- Conexión: Hembra – Hembra
- Diámetro: ¼”, 1”, 1 ¼”



Válvula de Aguja.

Se utilizará una válvula de aguja para mantener la presión estática en el sistema durante el ensayo. En el circuito hidráulico de la figura 18, se identifica como “V5”. Las características de la válvula de aguja se detallan en el Anexo 11.

- Conexión: Hembra – Hembra
- Diámetro: 1/8”

Válvula de Distribuidora de pistón presurizador.

Se utilizará una válvula de distribución de 4 vías y 2 posiciones con accionamiento manual y enclavamiento, para controlar la extensión y retracción del vástago del pistón presurizador de la línea de ensayo. En el circuito de la figura 18, se identifica como “VD1”. Las características del componente se detallan en el Anexo 09.

- Presión máxima de la válvula distribuidora: 10 bar.

Válvula de Distribuidora de Equipo Multiplicador de Presión.

Se utilizará una válvula de distribución de 4 vías y 3 posiciones con centro abierto, accionamiento manual y enclavamiento, para controlar la extensión y retracción del vástago del equipo multiplicador de presión de la línea de ensayo. En el circuito de la figura 18, se identifica como “VD2”. Las características del componente se detallan en el Anexo 10.

- Presión máxima de la válvula distribuidora: 10 bar.

Filtro de Agua YEE.

En fases anteriores de la metodología de diseño se realizó la sección de tipo de filtro que se utilizará, por ser de menor costo, más eficiente, mejor estética y de menor pérdida

de carga. La marca seleccionada es GENEBRE y las características del filtro se detalla en el Anexo 12.

Diámetro	Grado de filtración	Peso	Material
1 ¼"	500 u	0.540 kg	Cuerpo latón

Manómetro Analógico.

En fases anteriores se realizó la selección del tipo de manómetro que se utilizará, por ser de menor costo, más confiable, tiempo de respuesta y porque no necesita una energía externa para ser utilizado. La marca seleccionada es CENI y las características del manómetro analógico se detalla en el Anexo N° 13. Para una correcta medición de la presión se debe garantizar que se realice la purga de aire del sistema.

Principio de medición	Escala	Clase de exactitud	Rango de trabajo	Rosca
Tubo de bourdon	Bar	1.6 – 2.5%	0 – 40 bar	¼" NPT

Caudalímetro Electromagnético.

Se utilizará un caudalímetro electromagnético para medir el caudal del sistema y así controlar que no sobrepase el caudal de sobrecarga y no dañe sus características metrológicas de los medidores de agua potable

Para el proyecto se seleccionó el caudalímetro electromagnético de la marca SIEMENS. El principio de funcionamiento se basa en la ley de Faraday de la inducción electromagnética. Los datos técnicos se detallan en el Anexo 18.



Diseño y tamaño nominal	Conexión	Resolución	Intervalo de medición
DN 25, Sensor cónico	Bridas de caras planas	1 L/h	0 L/h a 10000L/h

Manguera Flexible de Acero.

Se utilizará manguera flexible de acero corrugada, porque compensa la expansión y contracción del sistema, resistencia a la humedad y absorbe la vibración del sistema generada por la bomba. Las características del componente se detallan en el Anexo 14.

Uniones.

Se utilizará las uniones dobles norma CLAMP, también pueden usarse uniones SMS o universal, para la conexión de instalaciones de forma rápida y sencilla, soldada en sus extremos a la tubería de otros componentes, válvulas y otros. Las características técnicas se detallan en la ficha del fabricante en el Anexo 15.

Diámetro (DN)	Paso total	Rugosidad
1 1/4" (32)	Caudal de plena corriente	Ra < 0.8 um

Tuberías.

En las fases de diseño del proyecto se optó por utilizar tubería de metal de acero inoxidable para diámetros de 1 1/4", 1", porque es un material más resistente, estético, la expansión por temperatura es menor y las juntas o uniones mayormente son a presión. Para el diámetro de 1/8" del circuito 2 se optó utilizar tubería de cobre, por resistir a grandes presiones y tener un alto coeficiente de dilatación térmica. Las características de las tuberías se detallan en las fichas del fabricante en los Anexo 16 y 17.



CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LA METODOLOGÍA DE DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS.

En el presente proyecto se aplicó la metodología de diseño de Michael French, donde se consideraron las necesidades del problema planteado y las especificaciones de ingeniería; por lo tanto, el banco de pruebas con las mejores alternativas de diseño es el propuesto en la Figura 16, equipo para pruebas de presión estática con un solo depósito de agua, retorno automático, compacto y electrobomba multietapa regulado por un variador de frecuencia. Para detallar mejor el diseño en la Figura 18, se muestra el circuito hidráulico para visualizar la ubicación de los componentes y accesorios del banco de pruebas propuesto.

4.2. RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS REALIZADOS DEL BANCO DE PRUEBAS DE PRESIÓN ESTÁTICA.

Del diseño de forma del banco de pruebas de presión estática se han obtenido los siguientes resultados:

4.2.1. Bomba del Sistema

De los cálculos y el caudal máximo requerido por el sistema se obtienen las características de la bomba para la selección en catálogos de fabricante.

Características	
Bomba centrifuga multietapa	>5 impulsores
NPSH disponible	7.17 m
NPSH requerido	2.0 m

Características	
Caudal máximo del sistema	6000 L/h
Diámetro de aspiración (entrada)	1 ¼ “
Altura de impulsión	100 m

4.2.2. Motor Eléctrico.

De los cálculos y el gráfico de características de la bomba, obtenemos las características del motor eléctrico para la selección en catálogos de fabricante.

Características	
Voltaje	220 Δ - 380 Y
Revoluciones por minuto	3450
Frecuencia	60 Hz
Potencia del eje de la bomba	3.77 HP
Potencia del motor de la bomba	4.0 HP

4.2.3. Variador de Frecuencia

Para la selección del variador de frecuencia, se debe tener en cuenta las características del motor de la bomba, las condiciones ambientales y el régimen de carga del equipo.

Características	
Voltaje	380 V
Régimen de carga (100 %)	Normal
Temperatura (normal 0 – 40 °C) (>40 °C por cada 1°C se deprecia 1% la corriente nominal)	5 – 28 °C
Altitud (normal 0 – 1000 msnm) (>1000 msnm por cada 100 m se deprecia 1% la corriente nominal)	355 m



4.2.4. Circuito hidráulico 1: Ecuación general de energía

Resultado del cálculo de parámetros técnicos del circuito 1, utilizado para la instalación de medidores de agua y la purga de aire del sistema:

Diámetro 1 suministro (D1 _{c1})	Diámetro 2 medidor (D2 _{c1})	Caudal (Q1) (permanente del medidor)	Velocidad (V1 _{c1})	Velocidad (V2 _{c1})	Presión (P1 _{c1})	Presión (P2 _{c1})	Perdidas de Carga (PC _{c1})
DN32	DN25	6000 L/h	2.088 m/s	3.408 m/s	9.3 bar	8.904 bar	0.33 bar

4.2.5. Circuito hidráulico 2: Ecuación general de energía

Resultado del cálculo de parámetros técnicos del circuito 2, utilizado para multiplicar la presión estática para la verificación de ausencia de fugas y daños físicos en medidores de agua potable.

Diámetro 1 suministro (D1 _{c2})	Diámetro 2 medidor (D2 _{c2})	Caudal máximo (Q1)	Velocidad (V1 _{c2})	Velocidad (V2 _{c2})	Presión (P1 _{c2})	Presión (P2 _{c2})	Perdidas de Carga (PC _{c2})
DN 08	DN06	756 L/h	4.2 m/s	5 m/s	8.904 bar	5.97 bar	3.01 bar

4.2.6. Resultado del diseño de componentes para fabricación

Equipo Multiplicador de Presión.

Las medidas del equipo para su fabricación se encuentran en el plano del Anexo 24. Para saber la presión de salida multiplicada, debemos tener el dato de la presión de ingreso. El área 1 de ingreso es 0.0102 m² y el área de salida es 0.00188 m², a continuación se presenta el cuadro de presión de ingreso y salida del multiplicador de presión.



Presión "A" (bar)	Fuerza (N)	Presión "B" (bar)
1.0	1020	5.42
2.0	2040	10.85
3.0	360	16.28
4.0	4080	21.70
5.0	5100	27.13
6.0	6120	32.55
7.0	7140	37.98
8.0	8160	43.40
9.0	9180	48.83

Pistón presurizador

Las medidas del equipo para su fabricación se encuentran en el Anexo 25. A continuación se presenta el cuadro de presión y fuerza del pistón presurizador

Presión (bar)	Presión (Psi)	Fuerza (kgf)
1.0	14.5	842
2.0	29.0	1684
3.0	43.51	2526
4.0	58.01	3368
5.0	72.52	4210
6.0	87.02	5052
7.0	101.5	5894
8.0	116.03	6736
9.024	130.88	7745.3

Según la ficha técnica de la junta tórica en el Anexo 21, el accesorio soporta hasta 1500 psi = 103.4 bar, por lo que la presión máxima del sistema será 9 bar. Lo cual no dañará las juntas tóricas.



4.3. MANUAL DE OPERACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS DE PRESIÓN ESTÁTICA.

N°	Actividad	Descripción	Responsable
1	Verificación de la limpieza y nivel de agua	<ul style="list-style-type: none">- Revisa si el agua se encuentra limpia y si el nivel es adecuado- En caso de agua sucia se deberá realizar la limpieza del depósito de agua y se volverá a llenar de agua potable a un nivel adecuado.	Operador
2	Energización del tablero de control	<ul style="list-style-type: none">- Acciona el selector principal del tablero.- Regula el potenciómetro del variador de frecuencia, de acuerdo con la presión máxima admisible del medidor a evaluar.	Operador
3	Instalación del medidor a evaluar	<ul style="list-style-type: none">- Coloca los accesorios (tuberías, acoples, empaques, o-ring) al banco de pruebas según tipo de medidor a evaluar.- Instala correctamente el medidor en el banco, verificando:<ul style="list-style-type: none">• Acoples y tuberías de diámetro nominal (DN) igual al del medidor a evaluar.• Empaquetaduras de acoples en buen estado.• Nivelada el(los) medidor(es) a evaluar.- Acciona la válvula del pistón presurizador para hermetizar el sistema.- Verifica que los medidores estén bien instalados y nivelados al eje de la línea de ensayo.	Operador
4	Purga de aire del sistema (Circuito 1)	<ul style="list-style-type: none">- Abre la válvula de bola “V1” del suministro de agua potable.- Abre la válvula de bola “V3” de regulación de agua al caudalímetro.- Acciona el selector de la bomba en el tablero “TCB-01”.- Abre la válvula V2 general de ingreso, lentamente para evitar el deterioro del desempeño metrológico del medidor de agua.- Purga la línea dejando pasar agua y verificando que no haya burbujas de agua.- Purga con todas las válvulas de bola abriendo y cerrando lentamente.- Al momento de la purga no se debe de sobrepasar el caudal de sobrecarga del medidor a evaluar, para evitar dañar el medidor de agua. (verificar en el caudalímetro).- Cierra la válvula de bola “V3” de salida de la línea del banco de ensayos.- Verifica que no se observe burbujas en el tubo transparente de la salida.	Operador



N°	Actividad	Descripción	Responsable
		<ul style="list-style-type: none">- Revisa que no haya fugas de agua en el banco de medidores de agua <p>Nota: Al momento de la purga con la bomba evitar cerrar las válvulas rápidamente, porque podría generarse golpe de ariete en el sistema.</p>	
5	Fuga de agua (En caso lo haya)	<ul style="list-style-type: none">- Identifica la parte o zona donde ocurre la fuga de agua, podría suscitarse debido a la mala instalación de los medidores, accesorios, falta de o-ring en los acoples y otros.- Cierra la válvula de bola “V2” de ingreso de agua al banco de pruebas de medidores.- Abre la válvula de bola “V3” de salida para liberar presión de la línea del banco de medidores.- Cierra la válvula de bola “V3” de salida cuando ya no salga agua.- Acciona la válvula de presurización (retrae el vástago) y desmonta los medidores.- Realiza las correcciones necesarias para evitar fugas de agua.- Vuelve a realizar la instalación de los medidores, para iniciar con el ensayo según el punto 3.- Vuelve a realizar la purga de aire del banco según el punto 4.	Operador
6	Operación del banco en verificación de presión estática	<ul style="list-style-type: none">- Terminado la purga de aire del sistema, cierra las válvulas de bola “V2” y “V3”.- Apertura 2/3 la válvula de bola “V4” y regula la válvula distribuidora “VD2” alimentar de flujo al equipo multiplicador de presión.- Apertura la válvula “V5”, para multiplicar la presión estática del sistema.- Verifica en el manómetro analógico que la presión hidráulica aumente hasta llegar a la presión de ensayo de 1.6 x PMA. La presión de ensayo puede variar como máximo ± 0.5 bar.- Mantener la presión de ensayo durante 60 s (+5 s/-0 s). Verifica visualmente los medidores de agua, para determinar daños físicos, fugas externas y fugas internas hacia el dispositivo indicador.- Luego disminuye la presión gradualmente abriendo la válvula “V5” y accionando la válvula distribuidora “VD2” para retraer vástago del equipo multiplicador de presión.	Operador
7	Desmontaje de los medidores	<ul style="list-style-type: none">- Verifica en el manómetro analógico que la presión de salida sea mínima.	Operador



N°	Actividad	Descripción	Responsable
		<ul style="list-style-type: none">- Apertura la válvula de bola “V3” de salida del banco de pruebas.- Verifica en el manómetro analógico que la presión de salida sea mínima.- Acciona la válvula de distribución “VD1” de presurización, para desmontar los medidores.- Desactiva el selector de la electrobomba en el tablero TG1.- Desactiva el selector principal del tablero general.	

4.4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Con los resultados obtenidos en la investigación del diseño del banco de pruebas de presión estática y la aplicación de la metodología de diseño de Michael French, se confirma lo obtenido por (Bautista, 2019), que con la aplicación de la metodología de diseño QFD, se concluye que el establecer de forma organizada y estructurada todos los parámetros involucrados que dictan la metodología, además de obtener soluciones prácticas y funcionales permiten desarrollar un diseño conceptual de forma eficiente y puntual que cumpla con las funciones deseadas por el cliente.

Con el diseño definitivo y lo resultados obtenidos, se cumple con el procedimiento para la verificación de medidores de agua con diámetro nominal de 15mm a 25mm, en laboratorio (INACAL, 2020), Ítem 2 y 8.1.1 Ensayo de presión estática.



V. CONCLUSIONES

Primero: Se logró el objetivo principal del proyecto, al aplicar el método de diseño propuesto por Michael French ayudando a establecer en forma ordenada y estructurada los pasos para elaborar un diseño definitivo de un banco de pruebas de presión estática para verificar ausencia de fugas y daños físicos en medidores de agua potable.

Segundo: Se determinó los parámetros técnicos: Caudal (Q_{1c1}), Velocidad (V_{1c1} , V_{2c1}), Presión (P_{1c1} , P_{2c1}) y Perdida de carga (PC_{c1}), para obtener el funcionamiento del circuito 1, dedicado especialmente para realizar la purga del sistema; se obtuvo como resultado para un caudal máximo $Q_1=6000$ L/h y una presión $P_{1c1}=9.3$ bar, una pérdida de carga $PC_{c1}=0.33$ bar y una presión $P_{2c1}=8.904$ bar, sin considerar la pérdida de carga de los medidores de agua, que dependerá de la cantidad de medidores instalados en la línea de ensayo. También se determinó los parámetros técnicos: Caudal (Q_{1c2} , Q_{2c2}), Velocidad (V_{1c2} , V_{2c2}), Presión (P_{1c2} , P_{2c2}) y Perdida de carga (PC_{c2}), para el funcionamiento del circuito 2, utilizado para multiplicar la presión en el sistema; se obtuvo como resultado para un caudal máximo $Q_{1c2}=756$ L/h y una presión $P_{1c2}=8.904$ bar, una pérdida de carga $PC_{c2}=3.01$ bar y una presión $P_{2c2}=5.97$ bar, para ser multiplicada a 32.39 bar. Además se seleccionaron los componentes y accesorios adecuados para el equipo. Todo ello cumpliendo lo indicado en el procedimiento de verificación del INACAL.

Tercero: Con la ayuda del software AutoCAD se logró obtener los planos del equipo, como el esquema del diseño y poder realizar un manual de operación para el correcto funcionamiento y operación del banco de pruebas de presión estática, para evitar accidentes laborales y mantenimientos no programados.



VI. RECOMENDACIONES

Primero: Utilizar diferentes métodos de ingeniería de diseño para diseñar y fabricar maquinas, porque ayuda a mantener un proceso ordenado y garantizar un diseño definitivo optimo y productivo.

Segundo: Los componentes y accesorios seleccionados en el presente proyecto pueden ser cambiados por otras marcas para realizar la fabricación del banco de pruebas, pero teniendo en cuenta que deben ser de características similares, para conservar el diseño definitivo.

Tercero: Los resultados son teóricos, se pueden considerar ideales para el funcionamiento del banco de pruebas, se requiere de un análisis experimental cuando se realice la fabricación del equipo.

Cuarto: Es de importancia el uso del manual de operación del banco de pruebas, para un correcto funcionamiento del equipo, así evitar accidentes laborales y sobrecostos por mantenimientos no programados.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, L., & Briceño, R. (2021). *Diseño Y Elaboración De Un Sistema De Tuberías Para El Análisis De La Ecuación General De La Energía*. July, 1–23.
- Badger, M. (2020). *Los pormenores de los medidores de flujo electromagnéticos*. 24 Marzo. <https://www.badgermeter.com/es-es/blog-es-es/los-pormenores-de-los-medidores-de-flujo-electromagneticos/#:~:text=Los medidores de flujo electromagnéticos son medidores de flujo volumétrico,medidor durante un plazo determinado.>
- Bautista, J. (2019). (17) (PDF) *Metodología de diseño de una máquina tribológica para pruebas de erosión*. May 2020. https://www.researchgate.net/publication/341130599_Metodologia_de_diseno_de_una_maquina_tribologica_para_pruebas_de_erosion/figures?lo=1
- Cimbala, J. M., & Cengel, Y. a. (2001). *Mecánica de Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones*. McGrawHill, Primera Ed, 10–11.
- Cross, N. (2015). *Métodos de diseño: Estrategias para el diseño de productos*.
- Dionisi, D., & Ficarra, E. (2017). *Diseño de Banco de Pruebas para Ensayo Metrológico de medidores de agua potable*.
- Echeverría, J., & Ávila, J. (2019). *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE BANCO DE MEDIDORES*. 5–10.
- Famiq. (2019). *Unión doble norma clamp*. 8–10. <https://www.famiq.com.ar/uploads/materiales/pdf/TAPA-CLAMP-234A-FICHA.PDF>



- Flexilatina. (2020). *Mangueras Metálicas Flexibles*. <https://flexilatina.com/wp-content/uploads/2017/09/Catalogo-de-sellado.pdf>
- GOPLAST. (n.d.). *Manguera-flexibles-Catalogo.pdf*.
- Haleco. (2022). *Depósitos de agua para tu empresa: Funcionamiento, limpieza y tipos*.
HALÉCO IBERIA. <https://www.haleco.es/depositos-de-agua-para-tu-empresa-funcionamiento-y-uso/>
- Herrera Herbert, J. (2022). Concepción, diseño e ingeniería de un proyecto en minería.
Concepción, Diseño e Ingeniería de Un Proyecto En Minería.
<https://doi.org/10.20868/upm.book.70259>
- Huaynapata, D. M., & Huanacuni, W. (2019). Universidad Nacional Del Altiplano
Universidad Nacional Del Altiplano. *Tesis*, 1–168.
http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaza_Mamani_Joel_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- INACAL, D. de M. (2018). *NMP 005-1 Medidores De Agua Para Agua Potable Fría Y Agua Caliente. Parte 1: Requisitos metrológicos y técnicos*. Lima 27.
<https://www.inacal.gob.pe/metrologia/categoria/normasmetrologicas>
- INACAL, D. de M. (2020). *PV-003 PROCEDIMIENTO PARA LA VERIFICACIÓN DE MEDIDORES DE AGUA CON DIÁMETRO NOMINAL DE 15 mm A 25 mm , EN LABORATORIO*. 1–19.
- Industrial, C. (n.d.). *Catálogo de productos*.
- Jiménez Bonilla, A. F. (2022). Digitalización de información de un manómetro analógico a través de visión artificial para generar un registro en la web. In *Braz*



Dent J. (Vol. 33, Issue 1).

Lara, J., & Velásquez, J. (2011). *Diseño y Construcción de un Banco de Pruebas para la medición de Caudal y caída de Presión en tuberías paralelas.* July, 37.

Lifeder. (2019). *¿Qué es la rugosidad absoluta y relativa?* Lifeder.Com.

<https://www.lifeder.com/rugosidad-relativa-absoluta/>

Lindao Miranda, G. A. (2018). *Diseño y fabricación de prototipo de banco de pruebas portátil para medidores de agua potable.* 1–77.

https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3654/IME_241_REST.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Martínez Henao, P. N. (2012). *Propuesta metodológica para el diseño de un banco de pruebas para engranajes cilíndricos rectos.* 64–73.

Monge Redondo, M. angel. (2017). *Qué es y cómo se calcula el NPSHdisp de una bomba centrífuga.* Iagua. <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/que-es-y-como-se-calcula-npshdisp-bomba-centrifuga>

Munson, B. R., Young, D. F., & Okiishi, T. H. (1999). *Fundamentos de mecánica de fluidos.*

Núñez, N., Esteban, E., Quesada, T., Santamaria, D., Muñoz, M., José, D., Rodríguez, R., & Armando, A. (2009). Metodología para el diseño y construcción de una máquina para medición del desgaste abrasivo basado en la norma ASTM G-65. *Prospectiva*, 7(1), 53–58.

Parra, J., & Velasco, L. (2014). *Diseño para Construcción de un Banco de Pruebas para Determinar las Pérdidas de Carga en un Sistema de Tuberías.* 134.



<https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/6902/T05040.pdf;jsessionid=B2C5BEA61E7E0A86F59D5DDB3D81729D?sequence=1>

Riba Romeva, C. (2002). Diseño concurrente. In *Ediciones UPC, España*.

Rodríguez, J. A. (2015). *Historia Tipos de bombas*. 22–28.

<https://avdiaz.files.wordpress.com/2008/10/tipos-de-bombas.pdf>

Tamiz, C. (2020). *Filtro colador tipo "Y" latón / "Y" Type brass strainer filter 1*. 46–48.

Truper, S. A. (2023). *Filtro de latón en " Y " de 3 / 4 "*, Foset.

https://www.truper.com/ficha_tecnica/views/ficha-print.php?id=255481

Valsum. (2015). *Catálogo Valsum*. 175.

Vektek. (2019). *Válvulas de Control Direccional O-2 Válvulas de Control Direccional N-2*. <https://www.vektek.com/>



ANEXOS

ANEXO 1

TABLA: PRESIÓN ATMOSFERICA RESPECTO A LA ALTITUD.

Altitud (m)	Presión (mbar)	Presión (mmHg)
0	1013	760
500	954	716
1000	898	674
1500	845	634
2000	795	596
2500	746	560
3000	701	525
3500	657	493
4000	616	462
4500	577	433
5000	540	405
5500	505	379
6000	472	354
6500	440	330
7000	411	308
7500	382	287
8000	356	267
8500	331	248
9000	308	231
9500	285	214
10000	264	198

Fuente: <https://www.aristasur.com/contenido/presion-atmosferica-y-variacion-de-oxigeno-en->

[altura](#)

ANEXO 2

TABLA: PROPIEDADES DEL AGUA

Temperatura (°C)	Peso específico γ (kN/m ³)	Densidad ρ (kg/m ³)	Viscosidad dinámica η (Pa·s)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)
0	9.81	1000	1.75×10^{-3}	1.75×10^{-6}
5	9.81	1000	1.52×10^{-3}	1.52×10^{-6}
10	9.81	1000	1.30×10^{-3}	1.30×10^{-6}
15	9.81	1000	1.15×10^{-3}	1.15×10^{-6}
20	9.79	998	1.02×10^{-3}	1.02×10^{-6}
25	9.78	997	8.91×10^{-4}	8.94×10^{-7}
30	9.77	996	8.00×10^{-4}	8.03×10^{-7}
35	9.75	994	7.18×10^{-4}	7.22×10^{-7}
40	9.73	992	6.51×10^{-4}	6.56×10^{-7}
45	9.71	990	5.94×10^{-4}	6.00×10^{-7}
50	9.69	988	5.41×10^{-4}	5.48×10^{-7}
55	9.67	986	4.98×10^{-4}	5.05×10^{-7}
60	9.65	984	4.60×10^{-4}	4.67×10^{-7}
65	9.62	981	4.31×10^{-4}	4.39×10^{-7}
70	9.59	978	4.02×10^{-4}	4.11×10^{-7}
75	9.56	975	3.73×10^{-4}	3.83×10^{-7}
80	9.53	971	3.50×10^{-4}	3.60×10^{-7}
85	9.50	968	3.30×10^{-4}	3.41×10^{-7}
90	9.47	965	3.11×10^{-4}	3.22×10^{-7}
95	9.44	962	2.92×10^{-4}	3.04×10^{-7}
100	9.40	958	2.82×10^{-4}	2.94×10^{-7}

Fuente: “Mecánica de fluidos de Robert L. Mott 6ta. Edición”



ANEXO 3

TABLA: PRESION DE VAPOR Y CARGA DE PRESIÓN DE VAPOR DE AGUA

Temperatura °C	Presión de vapor kPa (abs)	Peso específico (kN/m ³)	Carga de la presión de vapor (m)	Temperatura °F	Presión de vapor (psia)	Peso específico (lb/ft ³)	Carga de la presión de vapor (ft)
0	0.6105	9.806	0.06226	32	0.08854	62.42	0.2043
5	0.8722	9.807	0.08894	40	0.1217	62.43	0.2807
10	1.228	9.804	0.1253	50	0.1781	62.41	0.4109
20	2.338	9.789	0.2388	60	0.2563	62.37	0.5917
30	4.243	9.765	0.4345	70	0.3631	62.30	0.8393
40	7.376	9.731	0.7580	80	0.5069	62.22	1.173
50	12.33	9.690	1.272	90	0.6979	62.11	1.618
60	19.92	9.642	2.066	100	0.9493	62.00	2.205
70	31.16	9.589	3.250	120	1.692	61.71	3.948
80	47.34	9.530	4.967	140	2.888	61.38	6.775
90	70.10	9.467	7.405	160	4.736	61.00	11.18
100	101.3	9.399	10.78	180	7.507	61.58	17.55
				200	11.52	60.12	27.59
				212	14.69	59.83	35.36

Fuente: “Mecánica de fluidos de Robert L. Mott 6ta. Edición”

ANEXO 4

FIGURA: DIAGRAMA DE MOODY

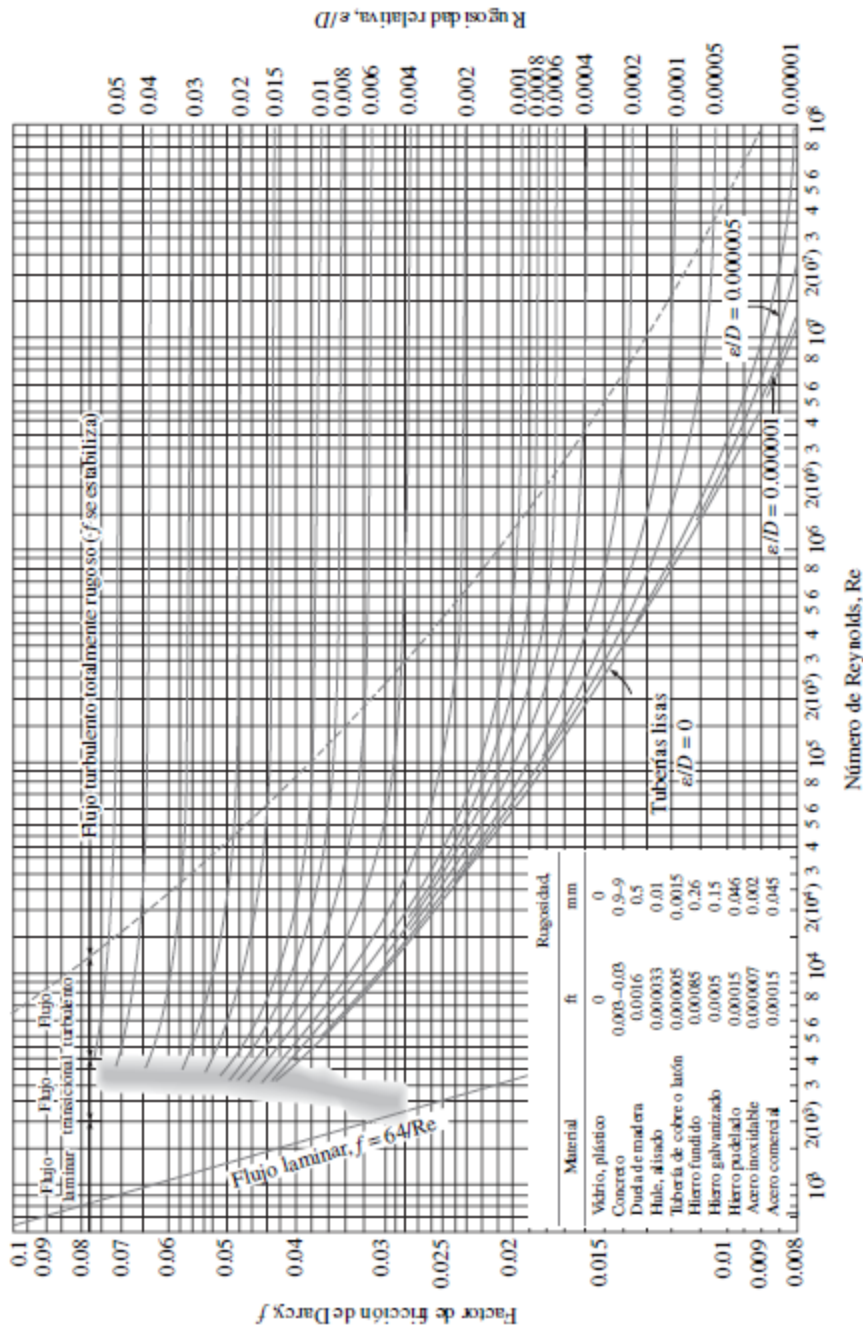


FIGURA A-12

El diagrama de Moody para el factor fricción para flujo totalmente desarrollado en tuberías circulares para usar en la relación de pérdida de carga $h_L = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$. Los factores de fricción en el flujo turbulento se evalúan a partir de la ecuación de Colebrook $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{e/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$.

Fuente: (Cimbala & Cengel, 2001)

ANEXO 5

TABLA: TABLA DE PERDIDAS POR FRICCIÓN EN TUBERIAS

Fricción en cañerías

La selección de una bomba se hace en función de la altura total que la misma debe vencer. Esta altura, está compuesta por la altura geométrica total, más la altura equivalente a todas las pérdidas por fricción. La altura geométrica total es igual a la diferencia de altura geométrica entre el nivel de descarga del líquido y el nivel de la superficie del mismo en la fuente de abastecimiento. La altura equivalente a las pérdidas por fricción, puede ser calculada utilizando las tablas que se dan a continuación.

Pérdidas por fricción en caños rectos de hierro

Caudal (m3/h)	Pérdidas (en metros por cada 100 metros)							
	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"
1,14	7,7	2,4	0,6	0,3	0,1			
2,27	27,8	8,6	2,3	1,1	0,4			
3,40	58,6	18,5	4,8	2,2	0,8	0,3		
4,55	99,5	30,8	8,1	3,8	1,3	0,5		
5,88		46,9	12,1	5,7	2,0	0,7	0,3	
6,80		65,2	16,9	8,1	2,8	1,0	0,4	
7,95		87,0	23,9	10,8	3,8	1,3	0,5	
9,10		111,5	29,5	13,8	4,8	1,6	0,7	
10,2			35,0	17,0	6,0	2,0	0,8	
11,4	5"		44,0	20,8	7,3	2,5	1,0	0,2
13,6			62,3	29,0	10,2	3,4	1,4	0,3
15,9			82,8	38,2	13,6	4,5	1,9	0,4
17,0				44,0	15,4	5,1	2,1	0,5
18,2	0,2			49,8	17,4	5,8	2,4	0,6
20,4		6"		61,7	21,7	7,3	3,0	0,7
22,7	0,3			75,2	26,2	8,8	3,7	0,9
28,4	0,4		8"		39,3	13,1	5,4	1,3
34,1	0,5	0,2			55,4	18,3	8,0	1,8
39,8	0,8					24,3	10,1	2,5
42,0	0,9	0,3		10"		27,3	11,3	2,7
45,4	1,1	0,4	0,1			31,8	13,1	3,2
56,8	1,6	0,7					19,5	3,6
62,4	1,9	0,8	0,2		12"		23,1	5,7
68,2	2,3	0,9					27,7	6,8
79,4	3,1	1,2	0,3					8,9
85,0	3,4	1,4						10,1
90,8	3,9	1,6	0,4	0,1		14"		11,7
102	4,9	1,8	0,5					14,5
108	5,3	2,0						15,9
113	5,9	2,1	0,6	0,2	0,1		16"	17,6
170	12,6	4,9	1,3	0,4	0,2	0,1		
227	19,4	8,8	2,2	0,7	0,3			
250		10,3	2,6	0,9	0,4	0,2		
234		13,2	3,2	1,1	0,5		0,1	18"
341		18,8	4,6	1,6	0,6	0,3	0,2	
454			7,9	2,6	1,1	0,5	0,3	
568				3,9	1,6	0,8	0,4	0,2
683				5,6	2,2	1,1	0,6	0,3
796				7,3	3,0	1,4	0,8	0,4
910					3,9	1,9	1,0	0,6
1022					4,7	2,3	1,2	0,7
1137					5,8	2,7	1,5	0,9
1250					7,1	3,4	1,7	1,0
1363						3,9	2,0	1,2

Los valores de la tabla corresponden a agua limpia en cañería nueva de hierro. Para cañerías viejas de hierro, multiplicar los valores de tabla por 1,33. Para los distintos tipos de cañerías, dichos valores deben ser multiplicados por los factores detallados a continuación:

- Acero laminado nuevo : 0,8
- Acero arrugado : 1,25
- Fibrocemento : 1,25
- Aluminio : 0,7
- P.V.C. : 0,65
- Hidrobronz : 0,67

Fuente: <http://www.rotorump.com/pdf/tabla-perdidas-por-friccion.pdf>

ANEXO 6

TABLA: TABLA DE PERDIDAS POR FRICCIÓN EN ACCESORIOS

PERDIDAS POR FRICCIÓN EN ACCESORIOS

(LONGITUD EQUIVALENTE DE CAÑO RECTO DEL MISMO DIAMETRO EN METROS)

Diámetro nominal de los caños normales								
mm.	Pulg.							
12	1/2	0,12	5,18	2,44	1,22	0,46	0,30	1,00
19	3/4	0,15	6,71	3,36	1,83	0,61	0,45	1,37
25	1	0,18	8,24	4,27	2,44	0,82	0,52	1,74
32	1 1/4	0,24	11,00	5,49	3,66	1,07	0,70	2,32
38	1 1/2	0,30	13,12	6,71	4,27	1,31	0,82	2,74
51	2	0,36	16,78	8,24	5,80	1,68	1,07	3,66
63	2 1/2	0,43	20,43	10,06	7,01	1,98	1,28	4,27
76	3	0,52	25,01	12,50	9,76	2,44	1,59	5,18
102	4	0,70	33,55	16,16	13,12	3,36	2,14	6,71
127	5	0,88	42,70	21,35	17,69	4,27	2,74	8,24
152	6	1,07	51,85	24,40	20,74	4,88	3,36	10,00
203	8	1,37	68,02	36,60	-----	6,10	4,27	13,12
254	10	1,77	85,40	42,70	-----	7,93	5,18	16,16
305	12	2,07	100,65	48,80	-----	9,76	6,10	20,74
356	14	2,44	115,90	58,00	-----	11,28	7,32	23,79
406	16	2,74	134,20	67,10	-----	12,81	8,24	26,84

UNA VALVULA DE PIE PUEDE SER DESPRECIADA SI SU SECCION DE PASAJE ESTA BIEN DIMENSIONADA

Diámetro nominal de los caños normales								
mm.	Pulg.							
12	1/2	1,00	0,24	1,09	0,30	0,18	0,27	0,49
19	3/4	1,37	0,30	1,52	0,45	0,24	0,40	0,61
25	1	1,74	0,40	1,83	0,52	0,30	0,46	0,76
32	1 1/4	2,32	0,51	2,53	0,70	0,40	0,61	1,04
38	1 1/2	2,74	0,61	3,05	0,82	0,45	0,73	1,22
51	2	3,66	0,76	3,96	1,07	0,58	0,91	1,52
63	2 1/2	4,27	0,92	4,58	1,28	0,67	1,10	1,83
76	3	5,18	1,16	5,49	1,59	0,85	1,37	2,38
102	4	6,71	1,52	7,32	2,14	1,16	1,83	3,26
127	5	8,24	1,92	9,46	2,74	1,43	2,29	4,12
152	6	10,00	2,29	11,28	3,36	1,77	2,74	4,70
203	8	13,12	3,05	15,55	4,27	2,29	3,96	6,07
254	10	16,16	3,96	18,60	5,18	3,05	4,58	7,47
305	12	20,74	4,58	22,57	6,10	3,66	5,49	9,09
356	14	23,79	5,18	25,92	7,32	3,96	6,10	10,64
406	16	26,84	5,80	30,50	8,24	4,58	7,02	12,20

Instalación típica y cálculo de su altura total

En la instalación representada, compuesta por cañería y accesorios de Ø2", se solicita un caudal de Q=20 m³/h. Además se conoce o se estima que, durante el bombeo, el nivel del pozo descendiendo hasta que la distancia entre éste y la boca de impulsión de la bomba alcanza a 2 m. Por consiguiente, la altura desde el nivel de bombeo hasta la descarga del líquido es de 17 m (altura geométrica). En una correcta determinación de la altura que debe superar la bomba a instalar, es necesario calcular las pérdidas causadas por la fricción del líquido, para lo cual se debe:

- Mediante la tabla 2 (dorso), convertir todos los accesorios a su equivalencia en caño recto. (Por ejemplo en el caso de la curva normal de Ø2" se observa que produce las mismas pérdidas de carga que 1,07 m de caño de la misma altura).
- Sumar estas equivalencias a la longitud de caño recto que posea la instalación. De esta operación se obtiene la longitud total de un caño imaginario de Ø2", que para el caudal solicitado de Q=20 m³/h (tabla 1 - frente) ocasionaría las mismas pérdidas de carga que la instalación completa funcionando. En nuestro problema las pérdidas se deben a lo siguiente:

En la cañería de aspiración a:

6 m de caño de Ø2"	6	metros de caño de Ø2"
1 curva normal de Ø2" equivalente a	1,07	metros de caño de Ø2"
1 entrada a la válvula de pie	1,52	metros de caño de Ø2"

En la cañería de impulsión a:

15 + 3 = 18 m de caño de Ø2"	18	metros de caño de Ø2"
1 codo normal de Ø2" equivalente a	1,68	metros de caño de Ø2"
1 válvula esclusa totalmente abierta Ø2" equivalente a	0,36	metros de caño de Ø2"

Y la suma de todos los elementos totalizan

28,63

De la tabla 1, para un caudal de Q=20 m³/h, un caño recto de Ø2" y 100 mts de longitud origina pérdidas que representan 21 m, por consiguiente:

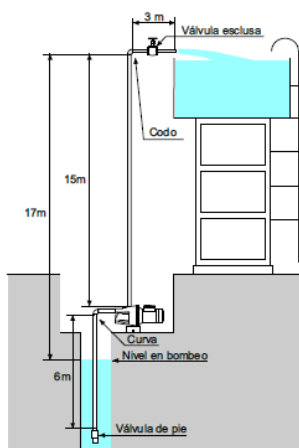
$$100 \text{ m} \quad 21 \text{ metros}$$

$$28,63 \text{ m} \quad 28,63 \times 21 = 6 \text{ metros}$$

$$100$$

Finalmente, si la altura geométrica de la instalación es de 17 m y las pérdidas por fricción significan 6 m, la suma de ambas 17+6=23m, nos proporcionará la Altura Manométrica que debe cumplir la bomba.

Cabe señalar que en este cálculo se ha despreciado la pérdida de altura por velocidad del líquido $h = \frac{v^2}{2g}$.



ANEXO 7

TABLA: CONVERTIDOR DE FRECUENCIA DE BAJA TENSIÓN DE CA

13

ACS580, DE 0,75 A 500 KW

Tipos y tensiones

Aplicaciones de carga ligera		Aplicaciones de carga pesada		Código de pedido ABB Envoltente IP21/IP00	Código de tipo ABB/código de pedido para unidades IP21/IP00	Tamaño de bastidor	Precio de unidades IP21 (Euros)
P_{motor} (kW)	I_{motor} (A)	P_{motor} (kW)	I_{motor} (A)				
Tensión de alimentación CA trifásica, 380, 400, 415 V							
0,75	2,5	0,55	1,8	3AXD50000038937	ACS580-01-02A7-4	R1	
1,1	3,1	0,75	2,6	3AXD50000038938	ACS580-01-03A4-4	R1	
1,5	3,8	1,1	3,3	3AXD50000038939	ACS580-01-04A1-4	R1	
2,2	5,3	1,5	4	3AXD50000038940	ACS580-01-05A7-4	R1	
3	6,8	2,2	5,6	3AXD50000038951	ACS580-01-07A3-4	R1	
4	8,9	3	7,2	3AXD50000038952	ACS580-01-09A5-4	R1	
5,5	12	4	9,4	3AXD50000038953	ACS580-01-12A7-4	R1	
7,5	16,2	5,5	12,6	3AXD50000038959	ACS580-01-018A-4	R2	
11	23,8	7,5	17	3AXD50000038960	ACS580-01-026A-4	R2	
15	30,4	11	24,6	3AXD50000038961	ACS580-01-033A-4	R3	
18,5	36,1	15	31,6	3AXD50000038962	ACS580-01-039A-4	R3	
22	42,8	18,5	37,7	3AXD50000038963	ACS580-01-046A-4	R3	
30	58	22	44,6	3AU00000080498	ACS580-01-062A-4	R4	
37	68,4	30	61	3AU00000080499	ACS580-01-073A-4	R4	
45	83	37	72	3AU00000080502	ACS580-01-088A-4	R5	
55	100	45	87	3AU00000080503	ACS580-01-106A-4	R5	
75	138	55	105	3AU00000080504	ACS580-01-145A-4	R6	
90	161	75	145	3AU00000080505	ACS580-01-169A-4	R7	
110	196	90	169	3AU00000080506	ACS580-01-206A-4	R7	
132	234	110	206	3AU00000080507	ACS580-01-246A-4	R8	
160	278	132	246*	3AU00000080508	ACS580-01-293A-4	R8	
200	345	160	293	3AU00000080509	ACS580-01-363A-4	R9	
250	400	200	363**	3AU00000080510	ACS580-01-430A-4	R9	

Fuente: <https://new.abb.com/drives/es>

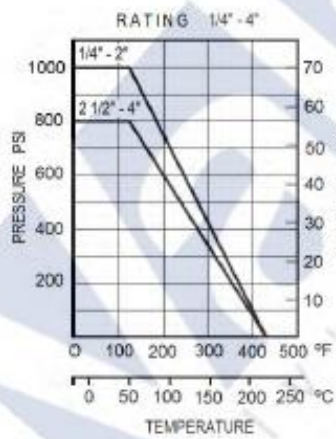
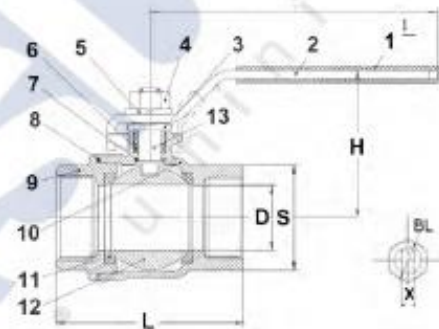
ANEXO 8

FICHA TECNICA: VALVULA DE BOLA



VALVULA DE BOLA INOXIDABLE ROSCADA

N2	PARTE	MATERIAL
1	Cubierta maneta	Plástico
2	Maneta	A-304
3	Tuerca preñe	A-304
4	Tuerca	A-304
5	Arandela	A-304
6	Prensaestopas	PTFE
7	Arandela	PTFE
8	Junta	PTFE
9	Tapa	CF8 (A-316)
10	Cuerpo	CF8 (A-316)
11	Asiento bola	RPTFE
12	Bola	CF8 (A-316)
13	Eje	A-316



DN	D	L	H	W	S	X	BL	Kg
1/4"	11,6	48,5	48	91	19	5	M8	0,188
3/8"	12,5	48,5	48	91	21	5	M8	0,165
1/2"	15	58	52	91	25,5	5	M8	0,270
3/4"	20	64	61	111	31	5,8	M8	0,360
1"	25	77	65	111	37,5	5,8	M8	0,550
1 1/4"	32	90	79	154	46,5	7	M10	1,021
1 1/2"	38	98	83	154	53,5	7	M10	1,132
2"	50	121	97	192	66	8	M10	2,080
2 1/2"	64	145	129	246	82,5	12	M16	4,120
3"	76	166	138	246	97,5	12	M16	5,850

Nota: Todas las medidas son en mm.

Pág. 30

Fuente: (Valsum, 2015)

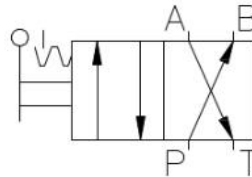
ANEXO 9

FICHA TECNICA: VALVULA DISTRIBUIDORA 4/2

- SAI9243 - Válvula distribuidora 4/2 con enclavamiento (memoria mecánica)



- Válvula distribuidora 4/2 biesable.
- Accionamiento manual con enclavamiento mecánico.
- Sobre placa base con enchufes rápidos macho, R 1/4".
- Válvula normalizada TN6.



Fuente: <https://www.smctraining.com/es/webpage/indexpage/283>

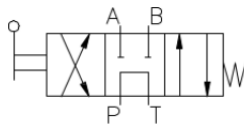
ANEXO 10

FICHA TECNICA: VALVULA DISTRIBUIDORA 4/3

- SAI9214 - Válvula distribuidora 4/3, centro a derivación



- Accionamiento manual. Recuperación por muelle. P y T comunicados en posición central.
- Sobre placa base con enchufes rápidos macho, R 1/4".
- Válvula normalizada TN6.



Fuente: <https://www.smctraining.com/es/webpage/indexpage/283>

ANEXO 11

FICHA TECNICA: VALVULA DE AGUJA 1/8"

Válvulas de aguja con bonete integral—Series O, 1, 18, 20 y 26 5

Conexiones finales		C _v	Orificio mm (pulg)	Referencia	Dimensiones, mm (pulg)								
Entrada/Salida	Tamaño				A	B ₁	B ₂	C	D	E	F	G	H
Racores Swagelok fraccionales	1/8 pulg	0,09	2,0 (0,080)	SS-ORS2	49,3 (1,94)	24,9 (0,98)		32,8 (1,29)	11,2 (0,44)	7,9 (0,31)	25,4 (1,00)	11,9 (0,47)	57,9 (2,28)
	1/4 pulg	0,37	4,4 (0,172)	SS-1RS4	57,6 (2,27)	28,7 (1,13)		38,4 (1,51)		9,7 (0,38)	35,1 (1,38)	13,5 (0,53)	63,5 (2,50)
	3/8 pulg	0,73	6,4 (0,250)	SS-1RS6	65,5 (2,58)	32,8 (1,29)		45,5 (1,79)	14,0 (0,55)	12,7 (0,50)	47,8 (1,88)	19,8 (0,78)	75,4 (2,97)
	1/2 pulg			SS-1RS8	71,1 (2,80)	35,6 (1,40)	48,3 (1,90)						
	1/2 pulg	1,80	9,5 (0,375)	SS-1RS8	96,5 (3,80)	48,3 (1,90)		67,3 (2,65)	19,1 (0,75)	76,2 (3,00)	26,2 (1,03)	99,3 (3,91)	
	3/4 pulg			SS-1RS12									
Racores Swagelok métricos	3 mm	0,09	2,0 (0,080)	SS-ORS3MM	49,3 (1,94)	24,9 (0,98)		32,8 (1,29)	11,2 (0,44)	7,9 (0,31)	25,4 (1,00)	12,2 (0,48)	57,9 (2,28)
	6 mm	0,37	4,4 (0,172)	SS-1RS6MM	57,6 (2,27)	28,7 (1,13)		38,4 (1,51)		9,7 (0,38)	35,1 (1,38)	13,5 (0,53)	63,5 (2,50)
	8 mm			SS-1RS8MM	59,4 (2,34)	29,7 (1,17)	39,1 (1,54)						
	10 mm	0,73	6,4 (0,250)	SS-1RS10MM	66,0 (2,60)	33,0 (1,30)		45,7 (1,80)	14,0 (0,55)	12,7 (0,50)	47,8 (1,88)	19,8 (0,78)	75,4 (2,97)
	12 mm			SS-1RS12MM	71,1 (2,80)	35,6 (1,40)	48,3 (1,90)						
	12 mm	1,80	9,5 (0,375)	SS-1RS12MM	96,5 (3,80)	48,3 (1,90)		67,3 (2,65)	19,1 (0,75)	76,2 (3,00)	26,2 (1,03)	99,3 (3,91)	
	18 mm			SS-1RS18MM									
NPT hembra	1/8 pulg	0,09	2,0 (0,080)	SS-ORF2	47,8 (1,88)	23,9 (0,94)		31,8 (1,25)	11,2 (0,44)	7,9 (0,31)	25,4 (1,00)	11,9 (0,47)	57,9 (2,28)
	1/8 pulg	0,37	4,4 (0,172)	SS-1RF2	41,1 (1,62)	20,6 (0,81)		30,2 (1,19)		9,7 (0,38)	35,1 (1,38)	13,5 (0,53)	63,5 (2,50)
	1/4 pulg	0,73	6,4 (0,250)	SS-1RF4	53,8 (2,12)	26,9 (1,06)		39,6 (1,56)	14,0 (0,55)	12,7 (0,50)	47,8 (1,88)	19,8 (0,78)	75,4 (2,97)
	3/8 pulg	1,80	9,5 (0,375)	SS-1RF6	76,2 (3,00)	38,1 (1,50)		57,2 (2,25)					
	1/2 pulg			SS-1RF8									
NPT macho	1/8 pulg	0,09	2,0 (0,080)	SS-ORM2	38,1 (1,50)	19,1 (0,75)		26,9 (1,06)	11,2 (0,44)	7,9 (0,31)	25,4 (1,00)	11,9 (0,47)	57,9 (2,28)
	1/8 pulg	0,37	4,4 (0,172)	SS-1RM2	41,1 (1,62)	20,6 (0,81)		30,2 (1,19)		9,7 (0,38)	35,1 (1,38)	13,5 (0,53)	63,5 (2,50)
	1/4 pulg			SS-1RM4	50,0 (1,97)	24,9 (0,98)	34,5 (1,36)						
	3/8 pulg	0,73	6,4 (0,250)	SS-1RM6	57,2 (2,25)	28,4 (1,12)		41,1 (1,62)	14,0 (0,55)	12,7 (0,50)	47,8 (1,88)	19,8 (0,78)	75,4 (2,97)
	1/2 pulg	1,80	9,5 (0,375)	SS-1RM8	76,2 (3,00)	38,1 (1,50)		57,2 (2,25)					
NPT macho/ Racor Swagelok	1/8 pulg	0,09	2,0 (0,080)	SS-ORM2-S2	43,9 (1,73)	24,9 (0,98)	19,1 (0,75)	32,8 (1,29)	11,2 (0,44)	7,9 (0,31)	25,4 (1,00)	11,9 (0,47)	57,9 (2,28)
	1/4 pulg	0,37	4,4 (0,172)	SS-1RM4-S4	49,5 (1,95)	28,7 (1,13)	24,9 (0,98)	38,4 (1,51)		9,7 (0,38)	35,1 (1,38)	13,5 (0,53)	63,5 (2,50)
	1/4 a 3/8 pulg	0,73	6,4 (0,250)	SS-1RM4-S6	61,5 (2,42)	32,8 (1,29)	28,4 (1,12)	45,5 (1,79)	14,0 (0,55)	12,7 (0,50)	47,8 (1,88)	19,8 (0,78)	75,4 (2,97)
	3/8 pulg			SS-1RM6-S6		48,3 (1,90)							
	3/8 a 1/2 pulg			SS-1RM6-S8	64,0 (2,52)	35,6 (1,40)							
NPT macho/ hembra	1/4 pulg	0,73	6,4 (0,250)	SS-1RM4-F4	55,6 (2,19)	26,9 (1,06)	28,4 (1,12)	39,6 (1,56)	14,0 (0,55)	12,7 (0,50)	47,8 (1,88)	19,8 (0,78)	75,4 (2,97)
	1/2 pulg	1,80	9,5 (0,375)	SS-18RM8-F8	76,2 (3,00)	38,1 (1,50)		57,2 (2,25)	19,1 (0,75)	76,2 (3,00)	26,2 (1,03)	98,6 (3,88)	
ISO hembra ^①	1/4 pulg	0,73	6,4 (0,250)	SS-1RF4RT	53,8 (2,12)	26,9 (1,06)		39,6 (1,56)	14,0 (0,55)	12,7 (0,50)	47,8 (1,88)	19,8 (0,78)	75,4 (2,97)
	3/8 pulg	1,80	9,5 (0,375)	SS-18RF6RT	76,2 (3,00)	38,1 (1,50)		57,2 (2,25)					
	1/2 pulg			SS-18RF8RT									

Dimensiones determinadas utilizando válvulas con vástagos de regulación y mandos estándar. Dimensiones mostradas con las tuercas Swagelok apretadas a mano.

① Consulte las especificaciones ISO 7/1, BS EN 10226-1, DIN-2999, JIS B0203.

Fuente: www.swagelok.com

ANEXO 12

FICHA TECNICA: FILTRO DE AGUA YEE

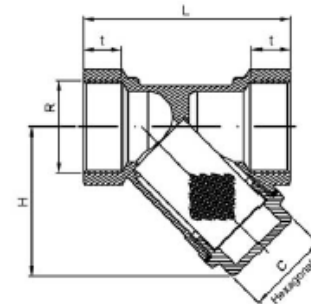
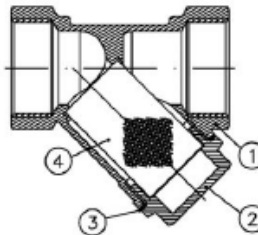
GENEBRE

GENEBRE S.A. - Avda. Joan Carles I, 46-48 - EDIFICIO GENE BRE
Tel. +34 93 298 80 00/01 - Fax +34 93 298 80 06
08908 L'HOSPITALET DE LLOBREGAT Barcelona (Spain)
e-mail: genebre@genebre.es
internet: <http://www.genebre.es>

Art.: 3302N

Filtro colador tipo "Y" latón / "Y" Type brass strainer filter

Características	Features
1. Construcción en latón según UNE-EN 12165.	1. Brass construction acc/ UNE-EN 12165.
2. Extremos roscados hembra NPT según ANSI / ASME B 1.20.1.	2. NPT threaded ends female according to ANSI / ASME B 1.20.1.
3. Presión máxima de trabajo 16 bar (PN 16).	3. Maximum working pressure 16 bar (PN 16).
4. Temperatura de trabajo desde -20°C a 100°C.	4. Working temperature from -20°C to 100°C.
5. Tamiz en acero inoxidable AISI 304.	5. Sieve in stainless steel AISI 304.
6. Junta tapa en NBR.	6. NBR cap gasket.



Nº	Denominación / Name	Material	Acabado Superficial / Surface Treatment
1	Cuerpo / Body	Latón / Brass (CW617N)	Granallado / Peened
2	Tapa / Cap	Latón / Brass (CW617N)	Granallado / Peened
3	Junta / Joint	NBR	-
4	Tamiz / Sieve	Acero Inoxidable / Stainless Steel (AISI 304)	-

Ref.	Medida / Size R	Luz malla / Sieve light	Dimensiones / Dimensions (mm.)				Peso / Weight (Kg)
			L	H	t	C (Hexagonal)	
3302N 04	1/2"	500µ.	56,5	38	11,5	20	0,115
3302N 05	3/4"	500µ.	66	44	12,5	20	0,195
3302N 06	1"	500µ.	74	50	14	25,5	0,265
3302N 07	1 1/4"	500µ.	96	66	16,5	35	0,540
3302N 08	1 1/2"	500µ.	104	71	17	38	0,610
3302N 09	2"	500µ.	125	89	18	46,5	1,150
3302N 10	2 1/2"	1200µ.	154	110	22	54	2,100
3302N 11	3"	1200µ.	173	120	26	63	2,900
3302N 12	4"	1200µ.	210	152	25	80	5,500

GENEBRE S.A.

FECHA DE REVISIÓN: 30/09/2020

NUMERO DE REVISIÓN: R6

Fuente: (Tamiz, 2020)

ANEXO 13

FICHA TECNICA: MANOMETRO ANALOGICO



Manómetros

Línea Mecánica

Serie 11

Descripción

Manómetro de uso general en sistemas neumáticos, hidráulicos, de riego, filtros, equipos de soldadura, calefacción, etc. Debe usarse en procesos con fluidos líquidos o gaseosos, limpios no cristalizables, compatibles con los materiales indicados para los internos del manómetro y dentro del rango de temperatura admisible.

No debe ser expuesto a condiciones ambientales no compatibles con los materiales constitutivos del mismo y/o con su grado de protección.

Características Técnicas

Principio de medición:	Tubo de Bourdon
Materiales:	
Conexión:	Latón
Tubo burdon:	Aleación cobre
Caja – Aro:	Acero SAE 1010 pintada en negro
Cuadrante:	Aluminio pintado blanco mate
Aguja:	Aluminio pintado negro
Visor:	Acrílico
Diámetros:	40; 50; 63; 100 mm
Tipo de conexión:	Radial Posterior
Roscas:	Diámetro 40/50 mm 1/8" 1/4" NPT ó BSP Diámetro 63 mm 1/4" NPT ó BSP Diámetro 100 mm 1/2" NPT ó BSP
Precisión:	EN837 clase 1.6-2.5% ASME B40, 1 Grade B
Grado de Protección:	IP43
Rangos:	-1 a 1000 Bar / -30 in.Hg a 15000 PSI
Escalas:	Simple: en negro sobre fondo blanco Doble: en negro y naranja sobre fondo
Temperatura ambiente:	mínima: -20°C máxima: 60°C
Temperatura fluido:	mínima: -20°C máxima: 60°C
Temp. almacenamiento:	mínima: -40°C máxima: 70°C



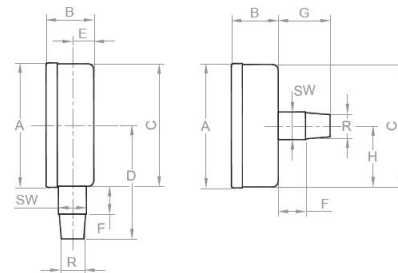
Opcionales

Caja:	Acero SAE 1010 cromada
Zócalo:	Latón cromado
Montaje:	Panel con brida frontal (PB) conexión posterior Panel con grampa trasera (PBS) conexión posterior
Esfera:	Personalizada
Aguja:	Color a pedido

Otras personalizaciones a pedido.

Dimensiones

	1140		1150		1163		11100
	R	P	R	P	R	P	R
A	42	42	52,5	52,5	63	63	100
B	24	25	28	28	28	28	36,5
C	40,5	40,5	51	51	61	61	98,5
D	37	-	46	-	51	-	80
E	8	-	9	-	8	-	16
F	7	+	10	6	7	6	13
G	-	14	-	19	-	19	-
H	-	21	-	26	-	31,5	-
R	1/8" NPT	1/8" NPT	1/4" BSP	1/4" BSP	1/4" BSP	1/4" BSP	1/8" NPT
SW	11	11	14	14	14	14	22



La empresa se reserva el derecho a modificar los datos consignados en este catálogo, sin previo aviso.

Fuente: (Industrial, n.d.)

ANEXO 14

FICHA TECNICA: MANGUERA FLEXIBLE DE ACERO INOXIDABLE

03 Otros productos
Other products

Tubos flexibles acero inoxidable

Velocidad de Flujo

Las mangueras de metal flexible corrugadas tienen limitaciones en el caso de fluidos con altas velocidades de flujo debido a que una alta velocidad puede causar vibraciones resonantes, que como resultado causan fallos prematuros. Siempre que la velocidad de flujo supere los 50 m / seg. para gas y los 25 m / seg. para líquidos se debe utilizar en los ensamblajes de manguera un revestimiento de manguera interlock. Los anteriores valores de velocidad de flujo se reducen en un 50% en ángulos de 90° y en un 25% en ángulos de 45°.

Ventajas de las Mangueras Metálicas Flexibles

- n Adecuadas para una amplia gama de temperaturas (-270° C a 700° C)
- n Compensan la expansión o contracción térmica en el sistema de tuberías
- n Alta fortaleza física
- n Resistente al fuego
- n Resistente a la humedad
- n Vida más larga
- n Buenas características de corrosión
- n Resistente a la abrasión, penetración y daños
- n Conecta tuberías rígidas mal alineadas, absorbiendo la vibración
- n Una opción flexible y rápida para tuberías rígidas en espacios de difícil acceso

Modos de Movimiento

Instalaciones Estáticas

En los casos en que la manguera flexible se utiliza para conectar tuberías mal alineadas y permanecen en una posición estática.

Flexión Ocasional

En los casos en los que se requiere que la manguera se flexione ocasionalmente.

Flexión Constante

En los casos en los que se requiere un continua flexión de la manguera, normalmente en máquinas con movimiento.

Vibración

Alta frecuencia, bajo movimiento de amplitud. Por ejemplo, en un compresor.

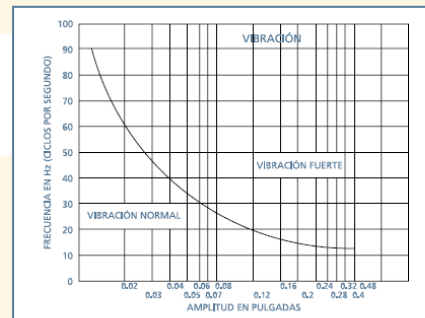


TABLA 1 - DATOS TÉCNICOS

DIÁMETRO NOMINAL (D.N.)	RADIO DE FLEXIÓN MÍNIMO		SIN TRENZADO		UN ÚNICO TRENZADO		DOBLE TRENZADO	
	ESTÁTICO	EN FLEXIÓN	Presión de trabajo Máxima	Prueba de Presión	Presión de trabajo Máxima	Prueba de Presión	Presión de trabajo Máxima	Prueba de Presión
mm	mm	mm	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
6	25	100	4	6	100	150	160	240
10	40	150	4	6	90	135	144	216
12	50	200	3	4.5	80	120	128	192
16	50	200	3	4.5	70	105	112	168
20	70	200	2	3	64	96	102	153
25	90	200	2	3	50	75	80	120
32	110	250	1.5	2.3	40	60	64	96
40	130	250	1.5	2.3	30	45	48	72
50	175	350	1.0	1.5	28	42	44	66
65	200	410	1.0	1.5	24	36	38	57
80	205	450	1.0	1.5	18	27	28	42
100	230	560	0.8	1.2	16	24	26	39
125	280	660	0.6	0.9	12	18	20	30
150	320	815	0.6	0.9	12	15	16	24
200	435	1015	0.5	0.75	8	12	12	18

* Los anteriores índices de presión son para temperatura de fluidos y ambiente de 20C. Con temperaturas más altas aplicar factores de corrección según la Tabla II.

* Los datos anteriores de 250 mm y 300 mm de diámetro nominal se pueden proporcionar si así se requiere.

* La presión de estallido es 4 veces la presión de trabajo máxima.

* Los anteriores datos técnicos están sujetos a cambios debidos a mejoras en el diseño.

ANEXO 15

FICHA TECNICA: UNION CLAMP

UNIÓN DOBLE NORMA CLAMP

Conducción de fluidos sanitarios

Uniones para tubería

Aplicación

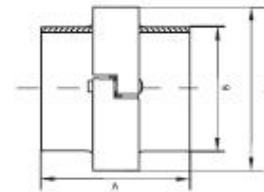
Conexión para todo tipo de instalación alimenticia, láctea, bebidas, cosmética y biotecnología.

Permite desarmar partes de instalaciones en forma rápida y sencilla.



Características

- Diseñado y construido con precisión dimensional.
- Paso total (caudal de plena corriente).
- Acabado sanitario con rugosidad $Ra < 0,8 \mu m$.
- Cuenta con una abrazadera que sirve de cierre para ambas piezas.



Elementos que la componen



DN	A (mm)	B (mm)	C (mm)	KG / UN
1/2"	38	12,7	34,3	-
3/4"	38	19,05	34,3	-
1"	58	25,4	56,4	-
1 1/4"	58	31,7	56,4	-
1 1/2"	58	38,1	56,4	--
2"	58	50,8	67	-
2 1/2"	58	63,5	81,3	-
3"	58	76,2	98,2	-
4"	58	101,6	122,2	-
5"	58	127	151,2	--
6"	58	152,4	175,2	-
8"	58	203,2	229	-

Fuente: (Famiq, 2019)

ANEXO 16

FICHA TECNICA: TUBERIA ACERO INOXIDABLE



HGA[®]

**TUBO INOXIDABLE SOLDABLE ASTM A312
304L SCH 80S CON COSTURA EFW**

La tubería A312 está destinada para aplicaciones sometidas a temperatura y agentes corrosivos en general. Longitud 6m.



TEST DE TENSION

MATERIAL	CARGA DE ROTURA, mín.		LÍMITE ELÁSTICO, mín.	
	PSI	MPa	PSI	MPa
304L	70000	485	25000	170
304	75000	515	30000	205
316L	70000	485	25000	170
316	75000	515	30000	205

Fiorella Representaciones S.A.C.
Importador y distribuidor autorizado de productos HGA para Perú y para su exportación.

DIMENSIONES

DIÁMETRO NOMINAL	DIÁMETRO EXTERNO	SCH 10S			SCH 40S			SCH 80S		
		ESPESOR NOMINAL	PESO		ESPESOR NOMINAL	PESO		ESPESOR NOMINAL	PESO	
pulg	mm	mm	kg/m	kg (6m)	mm	kg/m	kg (6m)	mm	kg/m	kg (6m)
1/4	13.7	1.65	0.49	2.94	2.24	0.63	3.78	3.02	0.80	4.80
3/8	17.1	1.65	0.63	3.78	2.31	0.85	5.10	3.20	1.09	6.54
1/2	21.3	2.11	1.00	6.00	2.77	1.27	7.62	3.73	1.62	9.72
3/4	26.7	2.11	1.28	7.68	2.87	1.69	10.14	3.91	2.20	13.20
1	33.4	2.77	2.09	12.54	3.38	2.50	15.00	4.55	3.24	19.44
1 1/4	42.2	2.77	2.69	16.14	3.56	3.39	20.34	4.85	4.47	26.82
1 1/2	48.3	2.77	3.11	18.66	3.68	4.05	24.30	5.08	5.41	32.46
2	60.3	2.77	3.93	23.58	3.91	5.45	32.70	5.54	7.49	44.94
2 1/2	73.0	3.05	5.27	31.62	5.16	8.64	51.84	7.01	11.42	68.52
3	88.9	3.05	6.46	38.76	5.49	11.30	67.80	7.62	15.28	91.68
4	114.3	3.05	8.37	50.22	6.02	16.09	96.54	8.56	22.34	134.04
5	141.3	3.40	11.6	69.60	6.56	21.8	130.80	9.53	31.0	186.00
6	168.3	3.40	13.85	83.10	7.11	28.28	169.68	10.97	42.60	255.60
8	219.1	3.76	19.98	119.88	8.18	42.57	255.42	12.70	64.69	388.14
10	273.0	4.19	27.88	167.28	9.27	60.36	362.16	12.70	81.6	489.60
12	323.8	4.57	36.08	216.48	9.53	73.9	443.40	12.70	97.4	584.40
14	355.6	4.78	41.3	247.80	9.53	81.3	487.80	12.70	107.4	644.40
16	406.4	4.78	47.3	283.80	9.53	93.3	559.80	12.70	123.3	739.80
18	457.2	4.78	53.3	319.80	9.53	105.2	631.20	12.70	139.2	835.20
20	508	5.54	68.8	412.80	9.53	117.2	703.20	12.70	155.1	930.60
22	558.8	5.54	75.5	453.00	9.53	129.1	774.60	12.70	171.1	1026.60
24	609.6	6.35	94.5	567.00	9.53	141.1	846.60	12.70	187.1	1122.60

* Fotos y datos referenciales. No aceptamos responsabilidad por usos incorrectos o mal interpretaciones de estos datos.



FIORELLA
Representaciones S.A.C.

www.fiorellarepre.com.pe

Calle Omicrón N° 215, Callao, Perú
 (51-1) 319 6160 (51) 998 373 362
ventas_omi@fiorellarepre.com.pe

Fuente: www.fiorellarepre.com.pe

ANEXO 17

FICHA TECNICA: TUBERIA DE COBRE

TUBO DE COBRE TIPO K - Dimensiones, pesos y presión:

MEDIDA ESTANDAR	DIÁMETRO EXTERNO		ESPESOR DE PARED		PESO TEÓRICO		PRESIÓN DE TRABAJO				LARGO	
	(in)	(in)	(mm)	(in)	(mm)	(lb/ft)	(kg/m)	H58 (psi)	H58 (MPa)	O50 (psi)	O50 (MPa)	(ft)
1/4	0,375	9,53	0,035	0,89	0,144	0,215	1463,36	10,09	1199,96	8,27		
3/8	0,500	12,70	0,049	1,24	0,267	0,397	1535,58	10,59	1259,17	8,68		
1/2	0,625	15,88	0,049	1,24	0,341	0,508	1207,59	8,33	990,22	6,83		
5/8	0,750	19,05	0,049	1,24	0,415	0,617	995,60	6,86	816,39	5,63		
3/4	0,875	22,23	0,065	1,65	0,638	0,949	1144,10	7,89	938,16	6,47		
1	1,125	28,58	0,065	1,65	0,835	1,242	877,59	6,05	719,62	4,96		
1.1/4	1,375	34,93	0,065	1,65	1,032	1,535	711,78	4,91	583,66	4,02	20	6096
1.1/2	1,625	41,28	0,072	1,83	1,356	2,019	666,39	4,59	546,44	3,77		
2	2,125	53,98	0,083	2,11	2,056	3,060	585,03	4,03	479,73	3,31		
2.1/2	2,625	66,68	0,095	2,41	2,910	4,331	539,63	3,72	442,50	3,05		
3	3,125	79,38	0,109	2,77	3,987	5,933	520,47	3,59	426,79	2,94		
3.1/2	3,625	92,08	0,120	3,05	5,102	7,592	493,32	3,40	404,52	2,79		
4	4,125	104,78	0,134	3,40	6,476	9,638	483,01	3,33	396,07	2,73		

LA NORMA ASTM B88M DETERMINA LOS TIPOS C, B Y A, COMO SIGUE:

TUBO DE COBRE TIPO C - Dimensiones, pesos y presión:

MEDIDA ESTANDAR	DIÁMETRO EXTERNO	ESPESOR DE PARED	PESO TEÓRICO	PRESIÓN DE TRABAJO				LARGO	
				H58 (psi)	H58 (MPa)	O50 (psi)	O50 (MPa)	(ft)	(mm)
6	6,00	0,60	0,091	1575,96	10,87	1292,29	8,91		
8	8,00	0,60	0,124	1156,82	7,98	948,59	6,54		
10	10,00	0,60	0,158	913,79	6,30	749,31	5,17		
12	12,00	0,60	0,191	755,15	5,21	619,22	4,27		
15	15,00	0,70	0,280	702,85	4,85	576,34	3,97		
18	18,00	0,70	0,339	581,95	4,01	477,20	3,29		
22	22,00	0,80	0,474	543,03	3,74	445,28	3,07		
28	28,00	0,90	0,682	478,33	3,30	392,23	2,70		
35	35,00	1,10	1,043	467,43	3,22	383,29	2,64		
42	42,00	1,20	1,369	423,94	2,92	347,63	2,40		
54	54,00	1,50	2,202	411,90	2,84	337,76	2,33		
67	67,00	1,60	2,926	352,98	2,43	289,45	2,00		
79	79,00	1,80	3,885	336,49	2,32	275,92	1,90		
105	105,00	2,40	6,885	337,57	2,33	276,81	1,91	20	6096

TUBO DE COBRE TIPO B - Dimensiones, pesos y presión:

MEDIDA ESTANDAR	DIÁMETRO EXTERNO	ESPESOR DE PARED	PESO TEÓRICO	PRESIÓN DE TRABAJO				LARGO	
				H58 (psi)	H58 (MPa)	O50 (psi)	O50 (MPa)	(ft)	(mm)
6	6,00	0,70	0,104	1865,66	12,86	1529,84	10,55		
8	8,00	0,80	0,161	1575,96	10,87	1292,29	8,91		
10	10,00	0,80	0,206	1239,22	8,54	1016,16	7,01		
12	12,00	0,90	0,279	1156,82	7,98	948,59	6,54		
15	15,00	1,00	0,391	1021,04	7,04	837,26	5,77		
18	18,00	1,00	0,475	842,95	5,81	691,22	4,77		
22	22,00	1,10	0,643	755,15	5,21	619,22	4,27		
28	28,00	1,20	0,899	643,44	4,44	527,62	3,64		
35	35,00	1,40	1,315	599,12	4,13	491,28	3,39		
42	42,00	1,50	1,699	533,04	3,68	437,10	3,01		
54	54,00	1,70	2,486	468,24	3,23	383,95	2,65		
67	67,00	2,00	3,635	443,39	3,06	363,58	2,51		
79	79,00	2,30	4,932	432,18	2,98	354,39	2,44		
105	105,00	2,80	8,001	395,06	2,72	323,95	2,23	20	6096

ANEXO 18

FICHA TECNICA: CAUDALIMETRO ELECTROMAGNETICO

© Siemens AG 2010

Instrumentos para medida de caudal SITRANS F SITRANS F M

Transmisor MAG 5000/6000

Datos técnicos		Comportamiento CEM	
Modo de operación y construcción		EN 61326-1 (cualquier entorno) EN 61326-2-5	
Principio de medición	Electromagnético con campo continuo pulsante	Indicador y teclado	
Tubo vacío	Detección de tubo vacío (en caso de sistemas montados por separado se requiere un cable especial)	Contadores	
Frecuencia de activación	Según el tamaño del sensor	Dos contadores de ocho dígitos para caudal de avance, neto o de retorno	
Impedancia de entrada del electrodo	$> 1 \times 10^{14} \Omega$	Indicador	
Entrada		Iluminación de fondo con texto alfanumérico, 3 x 20 caracteres para indicar el caudal, los valores acumulados, los ajustes y los errores. El caudal de retorno se indica por el signo menos.	
Entrada digital	11 ... 30 V DC, $R_i = 4,4 \text{ k}\Omega$	• Constante de tiempo	
• Duración de activación	50 ms	Constante de tiempo para la salida de corriente	
• Intensidad	$I_{11 \text{ V DC}} = 2,5 \text{ mA}$, $I_{30 \text{ V DC}} = 7 \text{ mA}$	Forma constructiva	
Salida		Material de la caja	
Salida de corriente		• Versión compacta	
• Rango de señal	0 ... 20 mA o 4 ... 20 mA	Poliamida reforzada por fibras de vidrio; opcional (sólo para IP67): acero inoxidable AISI 316	
• Carga	$< 800 \Omega$	• Módulo insertable de 19'	
• Constante de tiempo	0,1 ... 30 s, ajustable	Módulo insertable estándar de 19' de aluminio/acero (DIN 41494); anchura: 21 UM; altura: 3 HE	
Salida digital		• Montaje en panel posterior	
• Frecuencia	0 ... 10 kHz, 50 % del ciclo de trabajo (uni/bidireccional)	• Montaje en panel	
• Impulso (activo)	24 V DC, 30 mA, $1 \text{ k}\Omega \leq R_i \leq 10 \text{ k}\Omega$, resistente a cortocircuitos (alimentación desde el caudalímetro)	• Montaje en pared	
• Impulso (pasivo)	3 ... 30 V DC, máx. 110 mA, $200 \Omega \leq R_i \leq 10 \text{ k}\Omega$ (alimentación por el aparato conectado)	IP20/NEMA 1; aluminio	
• Constante de tiempo	0,1 ... 30 s, ajustable	IP20/NEMA 1 (preparado para IP65/NEMA 2/lado de pantalla); plástico ABS	
Salida de relé		• Dimensiones	
• Constante de tiempo	Relé de inversión, como la salida de corriente	• Versión compacta	
• Carga	42 V AC /2 A, 24 V DC/1 A	• Módulo insertable de 19'	
Supresión de bajo caudal		Véanse los esquemas de dimensiones	
0 ... 9,9 % del caudal máx.		Peso	
Aislamiento galvánico		• Versión compacta	
Todas las entradas y salidas están aisladas galvánicamente.		• Módulo insertable de 19'	
Error de medida máx. (incluido el sensor de medida y el cero)		Véanse los esquemas de dimensiones	
• MAG 5000	$\pm 0,4 \% \pm 1 \text{ mm/s}$	Alimentación	
• MAG 6000	$\pm 0,2s \% \pm 1 \text{ mm/s}$	• AC 115 ... 230 V +10 % -15 %, 50 ... 60 Hz	
Condiciones de aplicación		• 11 ... 30 V DC o 11 ... 24 V AC	
Temperatura ambiente	<ul style="list-style-type: none"> Versión con indicador: -20 ... +60 °C (-4 ... +140 °F) Versión sin indicador: -20 ... +60 °C (-4 ... +140 °F) 	Consumo de potencia	
• Operación		• 230 V AC: 17 VA	
• Almacenamiento	-40 ... +70 °C (-40 ... +158 °F)	• 24 V AC: 9 W, $I_N = 380 \text{ mA}$, $I_{ST} = 8 \text{ A}$ (30 ms)	
Carga Mecánica (Vibraciones)		• 12 V DC: 11 W, $I_N = 920 \text{ mA}$, $I_{ST} = 4 \text{ A}$ (250 ms)	
• Versión compacta	18 ... 1000 Hz, 3,17 g efect., sinusoidal en todos los sentidos según DIN IEC 68-2-36	Certificados y homologaciones	
• Módulo insertable de 19'	1 ... 800 Hz, 1 g, sinusoidal en todos los sentidos según DIN IEC 68-2-36	CE, C-UL Universal, C-Tick; CSA/FM Clase 1, Div. 2	
Grado de protección		Aprobación para transferencia de custodia (MAG 5000/6000 CT)	
• Versión compacta	IP 67/NEMA 4X/6 según DIN IEC 529 y DIN 40050 (1 mH ₂ O 30 min.)	• Agua fría: MI-001, PTB/OIML R 49 (homologación de prototipo DE/DK)	
• Módulo insertable de 19'	IP20/NEMA 1 según DIN IEC 529 y DIN 40050	• Agua caliente: PTB y DANAK OIML R75 (homologación de prototipo DE/DK) (MAG 6000 CT)	
		• Otros fluidos diferentes al agua (leche, cerveza, etc): PTB y DANAK OIML R117. (Homologación de prototipo DE/DK) (MAG 6000 CT)	
		Comunicación	
		Estándar	
		• MAG 5000	
		Sin comunicación serie o HART como opción	
		• MAG 6000	
		Preparado para la extensión con módulos adicionales del cliente	
		Opcional (sólo para MAG 6000)	
		HART, MODBUS RTU/RS485, FOUNDATION Fieldbus H1, DeviceNet, PROFIBUS PA, PROFIBUS DP como módulos adicionales	
		• MAG 5000/6000 CT	
		Ningún módulo de comunicación homologado	

4

Fuente: <http://icofesa.com/sistema/fichastecnicas/MAG5000.pdf>

ANEXO 19

FICHA TECNICA: BOMBA VERTICAL MULTITETAPA

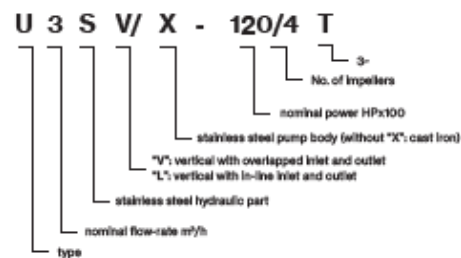
ULTRA SV/SL/SLX

Multistage Vertical

Stainless steel multistage vertical pumps. Pumping of clean non-loaded fluids, pressurizing system, irrigation, drinking and glycol water, water treatment, food industry, heating and air conditioning, washing system.

Construction features	
Pump body	cast iron (SV/SL); stainless steel AISI 304 (SLX)
Motor bracket	cast iron
Impellers, diffusers, shell, motor shaft	stainless steel AISI 304
Mechanical seal	ceramic-graphite-EPDM graphite-silicon carbide-EPDM
Intermediate shaft guiding stage bush	ceramic-tungsten carbide
Ambient temperature	max 40 °C
Liquid temperature	+5 + 90 °C (SV) -15 + 110 °C (SL/SLX)
Max operating pressure	8 bar ≤ 4 impellers; 14 bar ≥ 5 impellers
Pump body gasket	EPDM

Motor	
	3- 220/380V - 60Hz
2 pole induction motor	1- 220V - 60Hz (with thermal protection up to 1,85 kW)
Insulation class	F
Protection degree	IPX4 IPX5 ≥ 4,5 HP



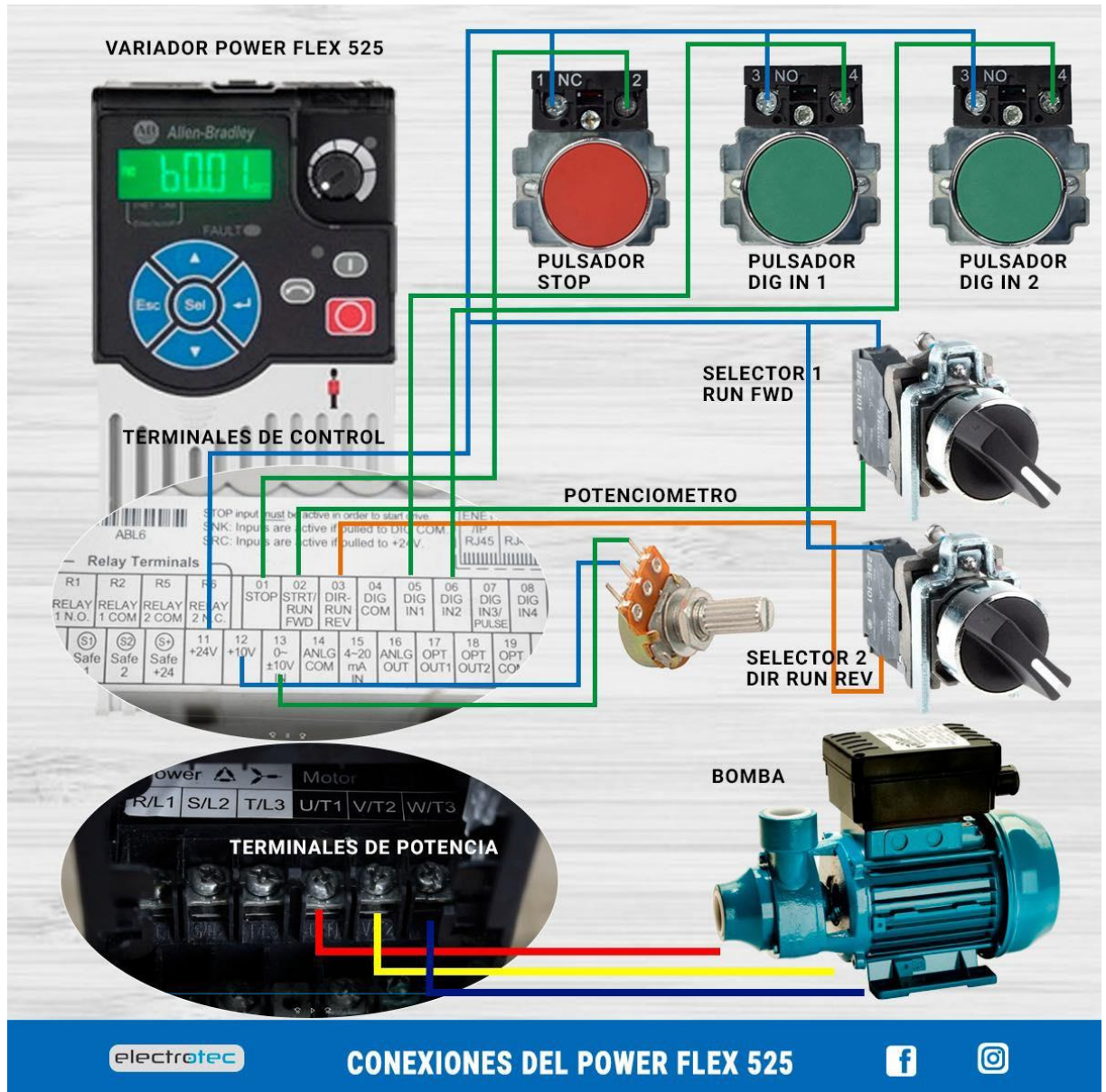
More details of the mechanical seals are included on page 230

213

Fuente: <https://www.pentaxpedrollo.com/>

ANEXO 20

FICHA TECNICA: CIRCUITO DE CONEXIONADO DE UN VARIADOR DE FRECUENCIA



Fuente: <https://electrotec.pe/>

ANEXO 21

FICHA TECNICA: JUNTA TORICA

23900 Juntas tóricas



Descripción del artículo/Imágenes del producto



Descripción

Material:
Elastómero NBR.

Versión:
Dureza Shore ~70, negro.

Indicación:
Las juntas tóricas son elementos sellantes de aplicación universal para la hermetización de medios líquidos o gaseosos. Son aptos para usos estáticos y, de forma secundaria, dinámicos. Las juntas tóricas se pueden instalar como sellantes tanto en sentido radial como axial. El efecto estanco proviene en la instalación de la compresión axial o radial de la sección. En estado activo, la presión del medio intensifica la deformación de la junta tórica, aumentando así la función sellante. Para un óptimo efecto de sellado hay que elegir juntas tóricas con el mayor diámetro posible de sección cruzada.

En el espacio de instalación hay que asegurarse de realizar un relleno correcto de la ranura, así como de la precompresión, dilatación y recalque adecuados.

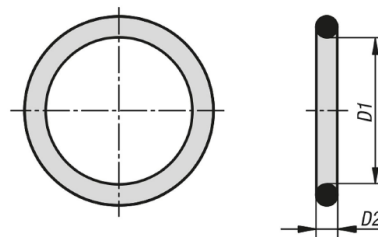
En una aplicación estática, la compresión previa debe ser del 15 – 30% con respecto al diámetro de sección cruzada. En los usos dinámicos, 10 – 18% (sistema hidráulico), 4 – 12% (sistema neumático).

Cuando está instalada, la junta tórica puede dilatarse con respecto al diámetro interior máx. 6% y comprimirse un 3% como máx.

El material NBR tiene una elevada resistencia a la abrasión y es inalterable a los aceites y grasas lubricantes a base de petróleo, los aceites hidráulicos H, H-L, H-LP, los fluidos hidráulicos ignífugos HFA, HFB, HFC, los hidrocarburos alifáticos, aceites y grasas de silicona y resisten también agua hasta 80 °C aprox.

Rango de temperatura:
De -30 °C a +100 °C

Planos





PLANOS DEL BANCO DE PRUEBAS

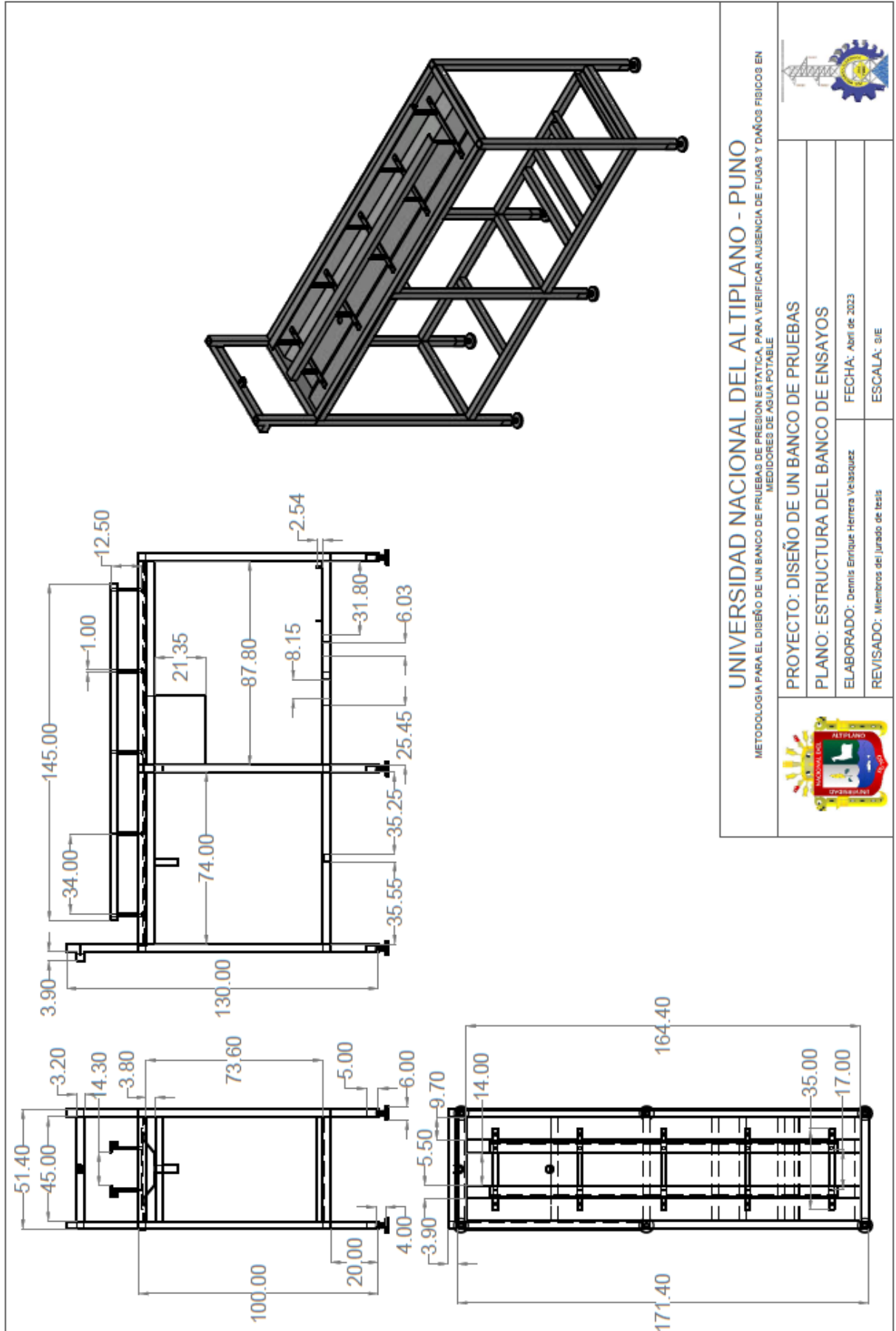
ANEXO 22: ESTRUCTURA DEL BANCO DE PRUEBAS

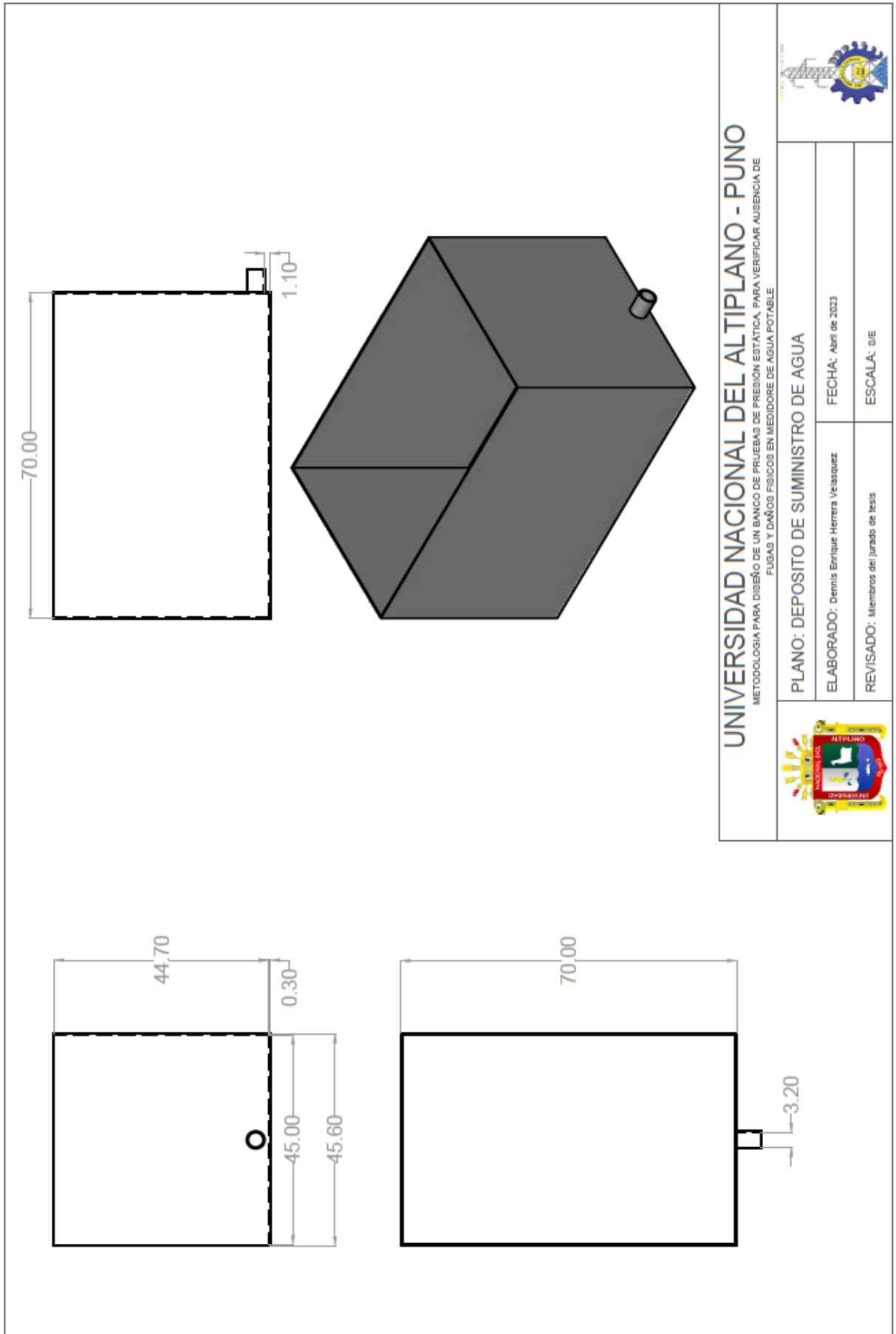
ANEXO 23: DEPOSITO DE SUMINISTRO DE AGUA

ANEXO 24: EQUIPO ELEVADOR DE PRESIÓN

ANEXO 25: EQUIPO PISTÓN PRESURIZADOR HERMETIZADOR

ANEXO 26: DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS DE PRESIÓN ESTÁTICA



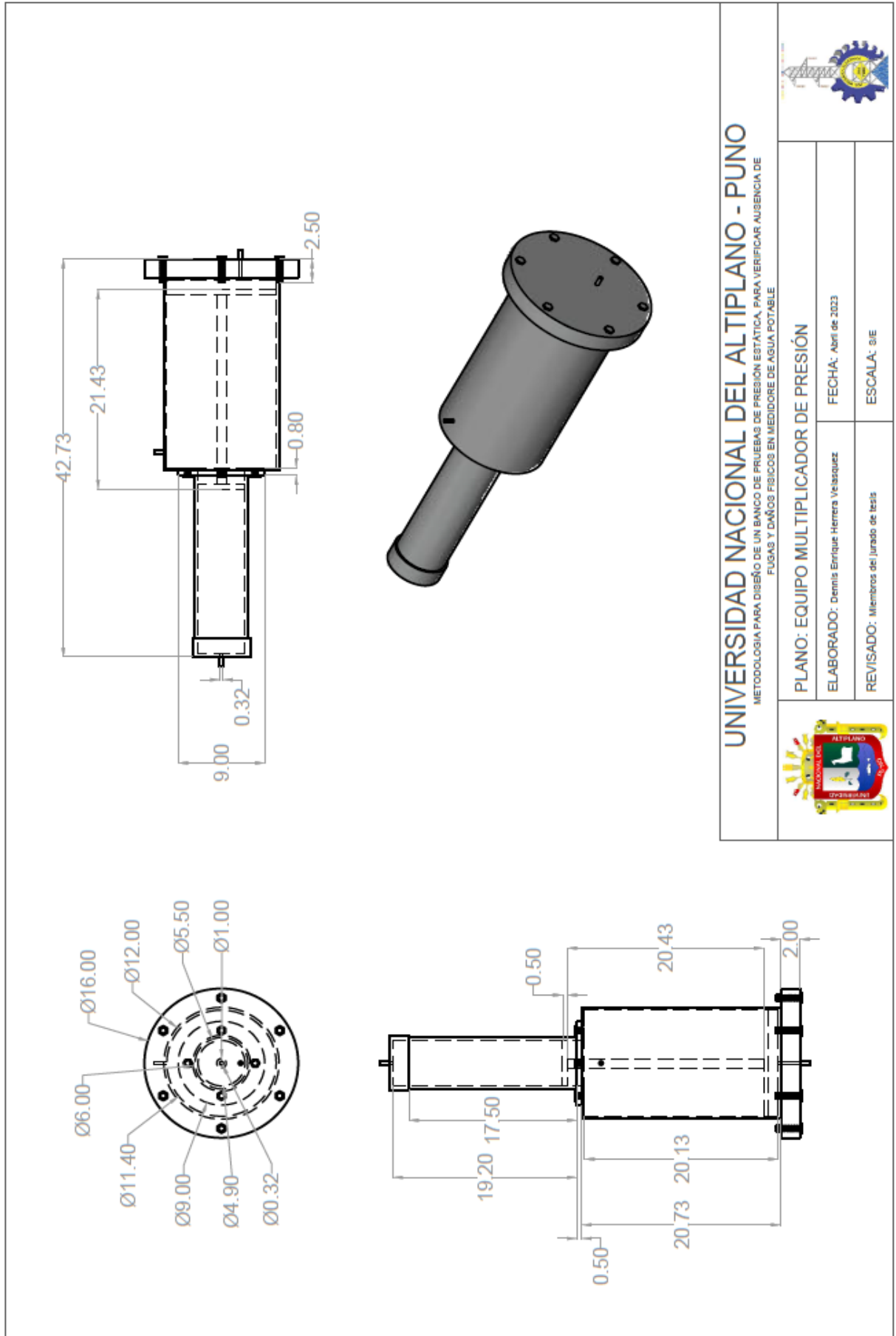


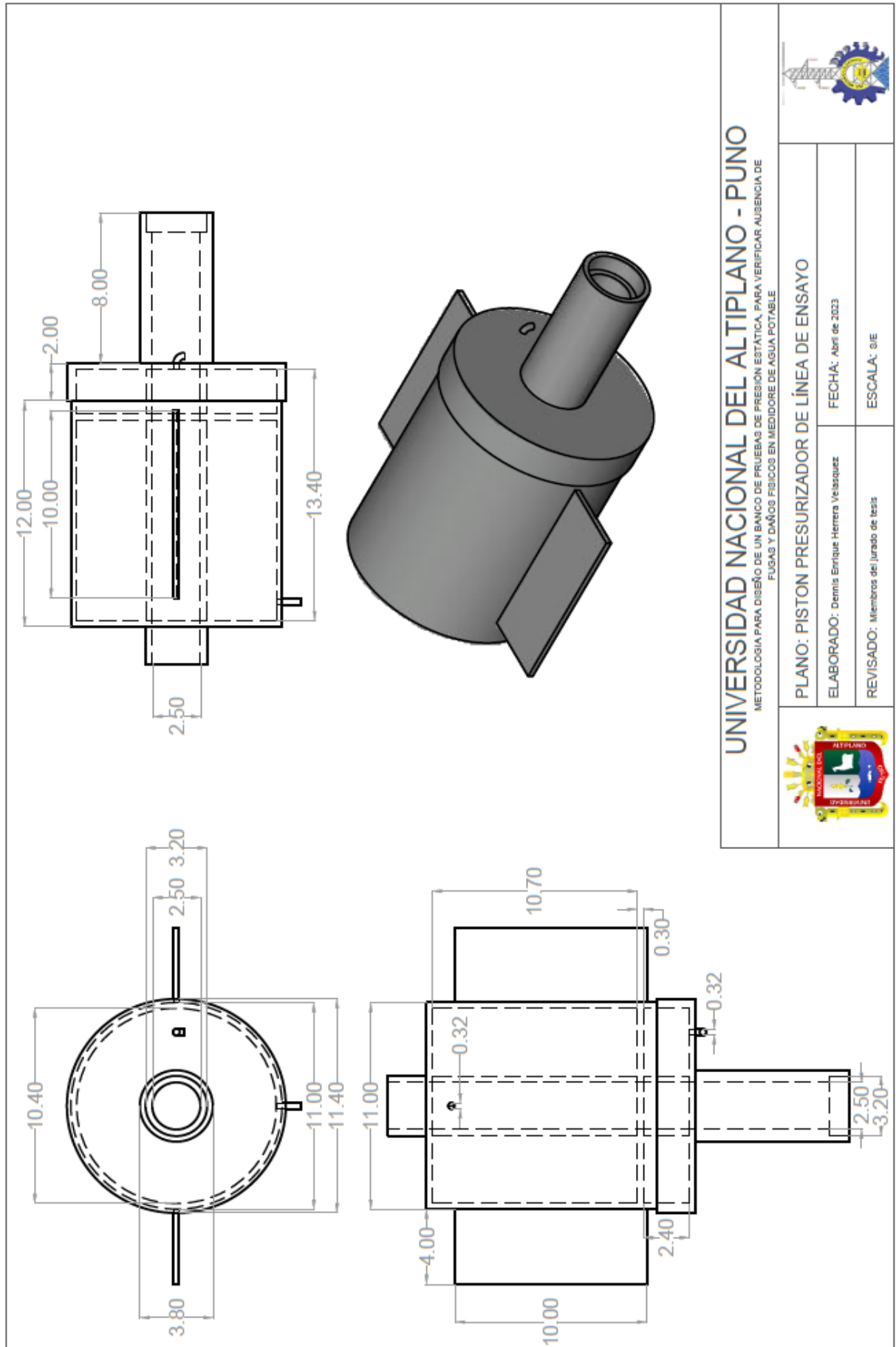
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
 METODOLOGIA PARA DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS DE PRESIÓN ESTÁTICA, PARA VERIFICAR AUSENCIA DE
 FUGAS Y DAÑOS FÍSICOS EN MEDIDORE DE AGUA POTABLE

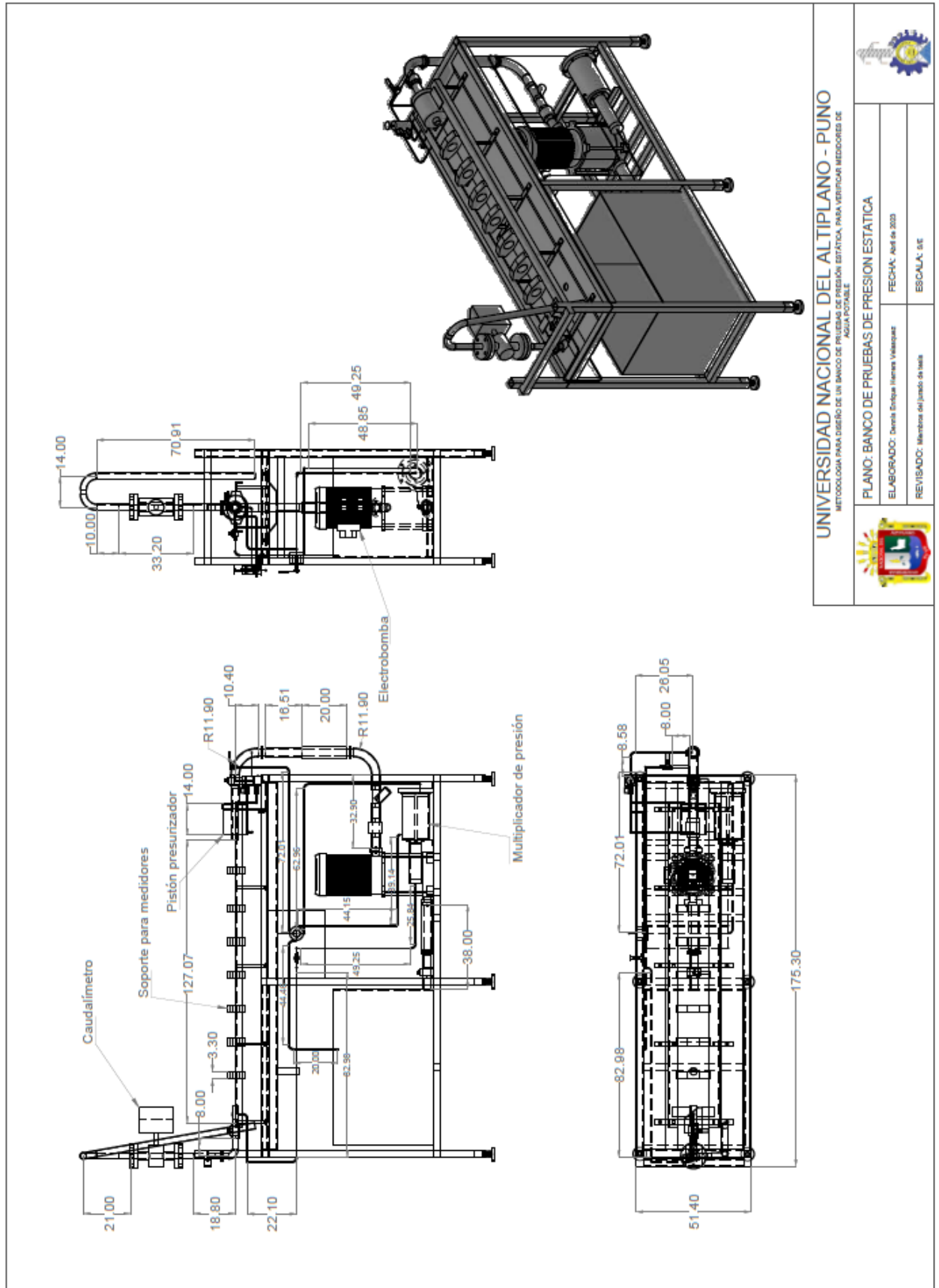


PLANO: DEPOSITO DE SUMINISTRO DE AGUA	
ELABORADO: Dennis Enrique Herrera Velazquez	FECHA: Abril de 2023
REVISADO: Miembros de Jurado de tesis	ESCALA: 3/1E











DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo DENNIS ENRIQUE HERRERA VELASQUEZ,
identificado con DNI 70297004 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

" METODOLOGÍA PARA DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS DE PRESIÓN
ESTÁTICA, PARA VERIFICAR AUSENCIA DE FUGAS Y DAÑOS FÍSICOS
EN MEDIDORES DE AGUA POTABLE "

Es un tema original.

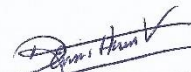
Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 20 de JULIO del 2023


FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo DENNIS ENRIQUE HERRERA VELASQUEZ,
identificado con DNI 70297004 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ METODOLOGÍA PARA DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS DE PRESIÓN ESTÁTICA, PARA VERIFICAR AUSENCIA DE FUEGAS Y DAÑOS FÍSICOS EN MEDIDORES DE AGUA POTABLE ”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.


En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 20 de JULIO del 2023


FIRMA (obligatoria)



Huella