

Methodology for Designing a Static Pressure Test Bench to Verify the Absence of Leaks and Physical Damage in Drinking

Dennis Enrique Herrera Velasquez, Eng.¹, Julio Fredy Chura Acero, Dr.², Wilson Percy Clavetea Meneses, M.Sc.³, Armando Tito Cruz Cabrera, M.Sc.⁴, Fredy Bernardo Coyla Apaza, Dr.⁵, Mateo Alejandro Salinas Mena, Dr.⁶ and Adhemir Homero Gutierrez Gallegos, M.Sc.⁷

¹Universidad Nacional del Altiplano, Perú, dherrera@gmail.com

^{2,3,4,5,6,7}Universidad Nacional del Altiplano, Perú, jchura@unap.edu.pe, wclavetea@unap.edu.pe, armandocruz@unap.edu.pe, fredycoyla@unap.edu.pe, msalinasm@unap.edu.pe, agutierrez@unap.edu.pe

Abstract—The paper 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.

I. INTRODUCTION

To install a drinking water meter in a home connection, it must have an initial verification certificate with conforming results, with respect to metrological and technical requirements; for this, the water meters are tested in two test benches [1]. Currently, the demand for drinking water meters has grown greatly and the companies that are engaged in the initial verification of drinking water meters are not supplied [2], because they require more equipment to increase their production and cope with this demand.

In addition to complying with the procedure PV-003 Ed. 01 – INACAL, for the initial verification of drinking water meters, in which it mentions the requirements, instruments necessary or minimum that a static pressure test bench must have.

II. LITERARY REVIEW

A. Design Methodology

It defines design methodology as “the study of design principles, practices and procedures in a broad sense, the central objective is related to how to design, and includes the study of how designers work and think; the establishment of appropriate structures for the design process; and the reflection on the nature and extent of design knowledge and its application to design problems.” [3], [4].

B. Micheal French Design Model

Michael French developed a more detailed model of the design process, shown in Figure 1, based on the following activities [5]:

- Problem Analysis
- Conceptual Design
- Shape schemes
- Development of details

Analysis of the problem:

The process begins with an initial approach to a “need”, and the first design activity is in “problem analysis”, French suggests that problem analysis is a small but important part of the overall process and the result is a problem approach, and this can have three elements [5].

- An approach to the design problem itself.
- The limitations imposed on the solution, for example, codes of practice, statutory requirements, customer rules, termination dates, etc.
- The criterion of excellence towards which we are going to work.

Conceptual design:

This phase takes the approach to the problem and generates comprehensive solutions, in the form of schemes, is the phase that imposes higher demands on the designer and where there is the greatest field for spectacular improvements; it is the stage where engineering science, practical knowledge, production methods and commercial aspects need to be combined, and where decisions are made on the hierarchy and the relationship between the main aspects of the product [6].

Shape schemes:

At this stage the schemes are worked in more detail and, if there are more than one, a final choice is made between them; the final product is usually a set of drawings of the general arrangement, there should be a good amount of feedback from this stage to the conceptual design phase [6].

Development of details:

This is the final phase, in which a very large number of small but essential points remain to be decided, the quality of this work must be good, otherwise it will incur delays and costs, or even a failure; computers are increasingly covering the monotonous aspects of this job, which requires skill and patience, while reducing the possibility of errors [7].

C. 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 [8].

D. 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 [19] 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 [10].
- 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 [10].
- 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 [10].

- 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 [11].

E. Componentes y accesorios del banco de pruebas

- Bomba hidráulica.
- Válvula de bola.
- Válvula check o retención.
- Filtro de agua “Y”
- manómetro de presión analógico.
- Medidor de caudal electromagnético.
- Sello (O-ring).
- Unión universal.
- Pistón hidráulico.
- Tuberías.
- Manguera flexible de acero.
- Equipo multiplicador de presión.
- Válvula de control direccional.

F. 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 [12].

- 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.
- 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.

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.

- 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×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 [15].
- Al subir y bajar la presión no deben haber cambios bruscos de presión [15].

G. Carga de aspiración positiva

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 sucede ello, se producen burbujas llenas de vapor, que reciben el nombre de burbujas de cavitación [4].

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 [4].

$$NPSH = \left(\frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} \right)_{ent} - \frac{P_v}{\rho g} \dots (1)$$

a) **NPSH de la bomba o requerido:** Según [22] el valor de $NPSH_{req}$ 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 $NPSH_{req}$ 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 $NPSH_{req}$ tanto mayor es su capacidad de aspiración [22].

b) **NPSH de la instalación o disponible:** El valor de $NPSH_{disp}$ 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 [22].

III. MATERIALES Y MÉTODOS

A. 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.

B. Técnicas e instrumentos de investigación

Tabla 1: Técnicas e instrumentos

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

C. Análisis del problema

a) 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.

b) 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".

c) 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 [26].

Tabla 2: 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

d) 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.

e) 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 1: Caja negra de funciones

En la figura 1, 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.

En la figura 5, 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.

D. 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 3: Matriz morfológica

FUNCION	ALTERNATIVA		
	1	2	3
Fuerza Motriz	Motor eléctrico	Motor de combustión	-

FUNCION	ALTERNATIVA		
	1	2	3
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	-

a) **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 [3].

Tabla 4: 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	Confianza	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	9
Pistón hidráulico de aceite con suministro externo	7	8	10		8.3
Filtro para el agua	Criterio de Evaluación				Resultado
	Costo	Eficiencia	Pérdida 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	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

En la tabla 4, 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.

E. 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.

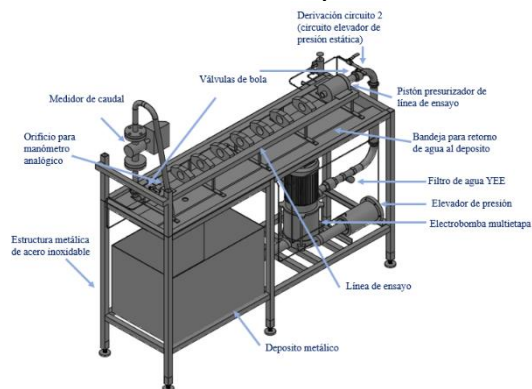


Figura 2: Alternativa 1 banco de pruebas

En la figura 2, 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.

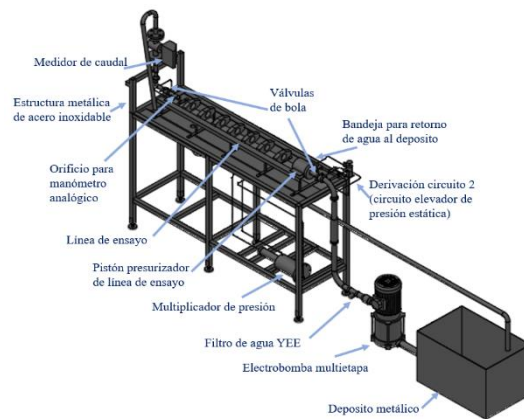


Figura 3: Alternativa 2 banco de pruebas

En la figura 3, 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.

F. 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.

a) 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.

Tabla 5: 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"	X	-

(Accesorio línea de ensayo)		
1" (Accesorio línea de ensayo)	X	-

b) 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 ¼") 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 $6\text{ m}^3/\text{h}$ y para el circuito 2 un flujo máximo de $0.756\text{ m}^3/\text{h}$.

c) 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.

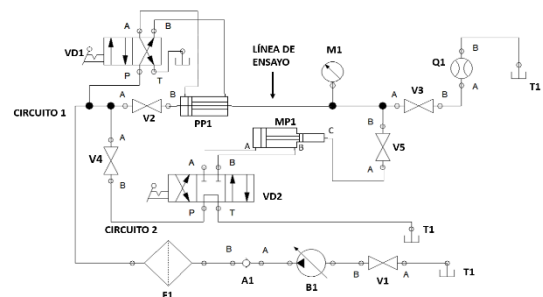


Figura 4: Circuito hidráulico del banco de pruebas

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.

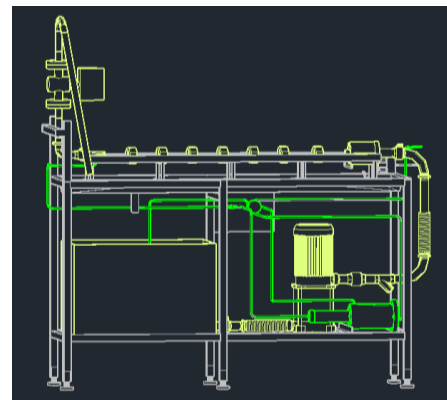


Figura 5: Esquema de circuitos del banco de pruebas.

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 6: 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
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°

d) Cálculo de pérdidas de carga y ecuación de la energía de los circuitos del banco de pruebas:

TRAMO DE TUBERÍA 1	Longitud de tubería	Velocidad (V1c1)	Caudal (Q1)	Presión (P1c1)
DN32	0.905 m	2.0875m/s	6000 L/h	9.3 bar
TRAMO DE TUBERÍA 2	Longitud de tubería	Velocidad (V2c1)	Caudal (Q1)	Presión (P2c1)
DN25	1.271 m	3.408m/s	6000 L/h	¿?

Circuito 1

Cálculo de pérdidas de carga de tuberías

Reynolds

$$Re = \frac{VD}{\nu} \dots (3)$$

Factor de fricción

$$f = \frac{0.25}{[\text{Log}(\frac{1}{3.7(\frac{D}{\epsilon})} + \frac{5.74}{Re^{0.9}})]^2} \dots (4)$$

Perdida de fricción

$$h_L = f \frac{L V^2}{D 2g} \dots (5)$$

N	Diámetro (m)	Rugosidad (material)	Reynolds	Factor de fricción (m)	Perdida de fricción (m)
1	0.032	2x10 ⁻⁶	66335.6	0.0198	0.124
2	0.025	2x10 ⁻⁶	84607.7	0.0189	0.569

Cálculo de pérdidas menores

$$h_L = k \frac{V^2}{2g} \dots (6)$$

Válvula de retención 1 ¼"	Válvula de bola 1 ¼"	Contracción 1 ¼" - 1"	Codo 90°
K=0.005	K=0.05	K=0.10	K=0.9
0.55 m	0.01 m	0.06 m	0.2 m x 2
Unión universal	Filtro YEE 1 ¼" ficha de fabricante	Manguera de acero 1 ¼" ficha de fabricante	Total
K=0.005			
0.018 m	1.63 m	0.204 m	3.365 m

Reemplazamos los datos hallados en la ecuación de la energía.

$$P_1 + \rho \frac{V_1^2}{2} - hf = P_2 + \rho \frac{V_2^2}{2} + \rho g Z_2 \dots (7)$$

P1c1 (bar)	P2c1 (bar)	Hf c1 (bar)	V1c1 (m/s)	V2c1 (m/s)
9.3	8.9	0.33	2.08	3.41

Circuito 2

TRAMO DE TUBERÍA 1	Longitud de tubería	Velocidad (V1c1)	Caudal (Q1)	Presión (P1c1)
DN8	0.08 m	4.2m/s	756 L/h	8.9 bar
TRAMO DE TUBERÍA 2	Longitud de tubería	Velocidad (V2c1)	Caudal (Q1)	Presión (P2c1)
DN6	2.0 m	5 m/s	504 L/h	¿?

Cálculo de pérdidas de carga de tuberías

Nº	Diámetro (m)	Rugosidad (material)	Reynolds	Factor de fricción (m)	Perdida de fricción (m)
1	0.008	2x10 ⁻⁶	33366.4	0.0236	0.42

2	0.006	5x10 ⁻⁶	2979 1.5	0.0257	10.91
---	-------	--------------------	-------------	--------	-------

Cálculo de pérdidas menores

Válvula de bola 1 ¼" K=5.5 2/3 abierto	Válvula distribuidora 4v/2p K=10	Total
7.01 m	12.74 m	19.75 m

Reemplazamos los datos hallados en la ecuación de la energía.

P1c1 (bar)	P2c1 (bar)	Hf1 (bar)	V1c1 (m/s)	V2c1 (m/s)
8.9	5.97	3.01	4.2	5.0

e) Cálculo del NPSH disponible: Realizamos el cálculo de la carga de aspiración positiva disponible de la instalación.

$$NPSH_{Disponible} = H_s \pm H_a - H_{vp} - H_f \dots (8)$$

- La presión estática del fluido Hs, 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 Ha, se obtiene del Anexo 23, donde el tanque estará 0.5m debajo de la bomba.
- La presión de vapor del fluido Hvp, 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: realizando los cálculos obtenemos 1.64m de pérdidas menores.

Reemplazamos los datos en la formula

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

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

f) 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.

Parámetros para seleccionar la electrobomba

- Altura de Impulsión: 100m
- Caudal: 6 m³/h = 6000 L/h
- Diámetro de aspiración (entrada): 1 ¼"
- NPSH: Menor que 7.17 m

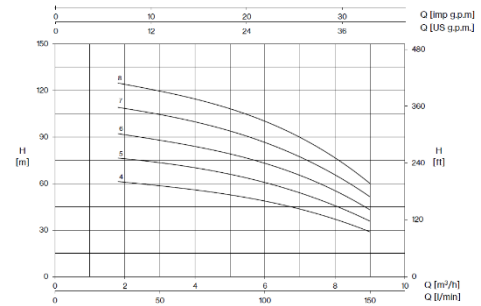


Figura 6: Gráfico H vs Q
Fuente: Pentax

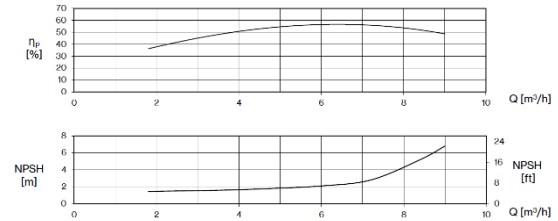


Figura 7: Gráfico eficiencia y NPSH vs Caudal
Fuente: Pentax

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 hidráulica y la potencia en el eje de la bomba

$$P_{oth} = \gamma * Q * H \dots (9)$$

$$P_{oth} = 9.806 \frac{KN}{m^3} \times 0.001667 \frac{m^3}{s} \times 99.8 \text{ m}$$

$$P_{oth} = 1.63 \text{ Kw} = 2.19 \text{ Hp}$$

$$n_{bomba} = \frac{P_{oth}}{P_{ejebomba}} \dots (10)$$

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

$$e_{jebomba} = 3.77 \text{ HP} < 4 \text{ HP}$$

g) Selección del 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	220/380 V
Frecuencia	60 Hz
Revoluciones	3450 rpm

Dimensionamiento

Régimen de carga	100% normal
Temperatura normal (0-40°C) (<0°C o >40°, por cada centígrado se depreciará 1% de la corriente nominal)	25°C
Altitud (0 a 1000 msnm – normal) >1000 msnm, por cada 100m se depreciará 1% de la corriente nominal	355 m

No se depreciará ningún porcentaje de la corriente nominal del motor eléctrico, porque las condiciones ambientales son normales.

Catálogo del fabricante: 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.

h) Dimensionamiento del equipo multiplicador de presión: Para el ingreso de una presión de $P_{2c2}=5.97$ bar del circuito 2, calculamos la presión de salida.

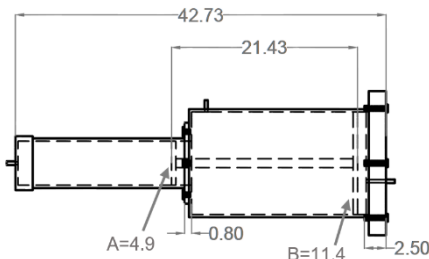


Figura 8: Equipo multiplicador de presión

Hallamos la fuerza en “B”

$$F1 = P1 \times A1$$

$$F1 = 5.97 \text{ bar} \times 0.0102 \text{ m}^2$$

$$F1 = 597000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.0102 \text{ m}^2$$

$$F1 = 6089.4 \text{ N} = F2$$

Hallamos la presión en “A”

$$P2 = F2 \times A2$$

$$P2 = \frac{6089.4 \text{ N}}{0.00188 \text{ m}^2}$$

$$P2 = 3239042.5 \text{ Pa} = 32.39 \text{ bar}$$

IV. RESULTADO Y DISCUSIÓN

En la investigación 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 Alternativa 1, equipo para pruebas de presión estática con un solo depósito de agua, retorno automático, compacto y electrobomba multietapa regulado por un variador de frecuencia.

Se diseñaron y seleccionaron los componentes del banco de pruebas siendo los siguientes: Bomba multietapa, variador de frecuencia, caudalímetro, depósito de agua, válvulas de bola, válvula de aguja, válvula de retención, filtro para el agua tipo YEE, manguera flexible de acero, pistón presurizador de línea de ensayo, equipo multiplicador de presión, válvula distribuidora de 4v/2p con accionamiento manual y enclavamiento, válvula distribuidora de 4v/3p con centro abierto, accionamiento manual y enclavamiento, manómetro analógico, uniones clamp, tubería de acero y de cobre.

CONCLUSIONES

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.

Se determinó los parámetros técnicos: Caudal (Q_1), 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 instalación de

medidores y 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 $P_{2c1}=8.9$ 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_2), 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 $Q_2=756$ 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 32.29 bar. Además, se seleccionaron los componentes y accesorios adecuados para el equipo. Todo ello cumpliendo lo indicado en el procedimiento de verificación del INACAL.

REFERENCIA

- [1] 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.
- [2] 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.>
- [3] 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
- [4] Cimbala, J. M., & Cengel, Y. a. (2001). *Mecánica de Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones*. McGrawHill, Primera Ed, 10–11.
- [5] Cross, N. (2015). *Métodos de diseño: Estrategias para el diseño de productos*.
- [6] Dionisi, D., & Ficarra, E. (2017). *Diseño de Banco de Pruebas para Ensayo Metrológico de medidores de agua potable*.
- [7] Echeverría, J., & Ávila, J. (2019). *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE BANCO DE MEDIDORES*. 5–10.
- [8] Famiq. (2019). *Unión doble norma clamp*. 8–10. <https://www.famiq.com.ar/uploads/materiales/pdf/TAPA-CLAMP-234A-FI-CHA.PDF>
- [9] Flexilatina. (2020). *Mangueras Metálicas Flexibles*. <https://flexilatina.com/wp-content/uploads/2017/09/Catalogo-de-sellado.pdf>
- [10] GOPLAST. (n.d.). *Manguera-flexibles-Catalogo.pdf*.
- [11] 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/>
- [12] 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>
- [13] 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
- [14] 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.gov.pe/metrologia/categoria/normasmetrologicas>
- [15] 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.
- [16] Industrial, C. (n.d.). *Catálogo de productos*.
- [17] 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).
- [18] 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.

- [19] Lifeder. (2019). *¿Qué es la rugosidad absoluta y relativa?* Lifeder.Com. <https://www.lifeder.com/rugosidad-relativa-absoluta/>
- [20] Lindao Miranda, G. A. (2018). *Diseño y fabricación de prototipo de banco de pruebas portátil para medidores de agua potable*. 1–77. https://pir-hua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3654/IME_241_REST.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [21] Martínez Henao, P. N. (2012). *Propuesta metodológica para el diseño de un banco de pruebas para engranajes cilíndricos rectos*. 64–73.
- [22] 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-calculan-pshdisp-bomba-centrifuga>
- [23] Munson, B. R., Young, D. F., & Okiishi, T. H. (1999). *Fundamentos de mecánica de fluidos*.
- [24] 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.
- [25] Acero, J.F.C., Mamani, Y.A.M., Lloclla, H.S., Ortega, M.Z., Apaza, F.B.C., Meneses, W.P.C. *Protection System to Improve the Resistance of Grounding in the Telephony Base Stations Viettel Perú SAC (2023) International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering, ICECCME 2023, DOI: <https://doi.org/10.1109/ICECCME57830.2023.10253407>*
- [26] Acero, J.F.C., Castañón, N.J.B., Yucra, R.C., Viveros, H.P., Coaquira, A.M.L. (2022). Harmonics of the Microinverters for the Operation of the Grid-Connected Photovoltaic Energy System Considering the Uncertainty of Irradiance. *Proceedings of the 7th Brazilian Technology Symposium (BTSym'21)*. BTSym 2021. Smart Innovation, Systems and Technologies, vol 295. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-08545-1_68
- [27] 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>
- [28] Riba Romeva, C. (2002). Diseño concurrente. In *Ediciones UPC, España*.
- [29] Rodríguez, J. A. (2015). *Historia Tipos de bombas*. 22–28. <https://avdiaz.files.wordpress.com/2008/10/tipos-de-bombas.pdf>
- [30] Tamiz, C. (2020). *Filtro colador tipo “Y” latón / “Y” Type brass strainer filter 1*. 46–48.