



UNAP



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BATERÍA DE BOMBEO
EN EL LABORATORIO DE PROCESOS
UNITARIOS DE LA FIQ-UNAP**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTADO POR:

**GUSTAVO LEONARDO MENDOZA VERGARA
MARÍA EMILIA RENGIFO DELGADO**

ASESOR:

Ing. LUIS GÓMEZ TUESTA

IQUITOS, PERÚ

2024

ACTA DE SUSTENTACIÓN



UNAP

Facultad de Ingeniería Química
Unidad de Investigación



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 003 -CGT-FIQ-UNAP-2024

En Iquitos, en el auditorio de la Facultad de Ingeniería Química, a los 10 días del mes de febrero de 2024, a horas 11:40, se dio inicio a la sustentación pública de la Tesis titulada: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BATERÍA DE BOMBEO EN EL LABORATORIO DE PROCESOS UNITARIOS DE LA FIQ-UNAP", aprobado con Resolución Decanal N° 005-2024-FIQ-UNAP, presentado por los Bachilleres: **Gustavo Leonardo Mendoza Vergara y María Emilia Rengifo Delgado**, para optar el título profesional de **Ingeniero Químico**, que otorga la Universidad de acuerdo Ley y Estatuto.

El jurado calificador y dictaminador designado mediante R. D. N° 151-2023-FIQ-UNAP está integrado por:

Ing. SUMNER SHAPIAMA ORDOÑEZ, MSc.	Presidente
Ing. FERNANDO JAVIER SALAS BARRERA, MSc.	Miembro
Ing. KARENTH ELENA RAMÍREZ ÁLVAREZ, MSc.	Miembro

Luego de haber escuchado con atención y formulado las preguntas necesarias, las cuales fueron respondidas: Satisfactoriamente

El jurado después de las deliberaciones correspondientes, llegó a las siguientes conclusiones:

La sustentación pública y la tesis ha sido: Aprobada con la calificación Buena, estando los bachilleres aptos para obtener el Título Profesional de Ingeniero Químico. Siendo las 12:50 se dio por terminado el acto de Sustentación

Ing. SUMNER SHAPIAMA ORDOÑEZ, MSc.
Presidente de Jurado

Ing. FERNANDO JAVIER SALAS BARRERA, MSc.
Miembro

Ing. KARENTH ELENA RAMÍREZ ÁLVAREZ, MSc.
Miembro

Ing. LUIS GÓMEZ TUESTA
Asesor



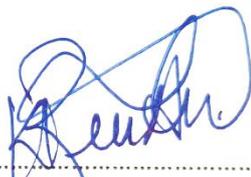
JURADO Y ASESOR



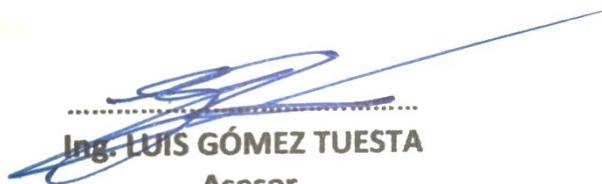
.....
Ing. SUMNER SHAPIAMA ORDOÑEZ, MSc.
Presidente de Jurado



.....
Ing. FERNANDO JAVIER SALAS BARRERA, MSc.
Miembro



.....
Ing. KARENTH ELENA RAMÍREZ ÁLVAREZ, MSc.
Miembro



.....
Ing. LUIS GÓMEZ TUESTA
Asesor

RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

FIQ_TESIS_MENDOZA VERGARA_RENGIFO DELGADO.pdf

AUTOR

MENDOZA VERGARA / RENGIFO DELGADO

RECuento de palabras

8795 Words

RECuento de caracteres

43554 Characters

RECuento de páginas

44 Pages

Tamaño del archivo

1.1MB

Fecha de entrega

Jul 22, 2024 10:45 AM GMT-5

Fecha del informe

Jul 22, 2024 10:46 AM GMT-5

● 31% de similitud general

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

- 29% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 20% 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
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi mamá y abuelita que han sabido formarme en valores y buenas costumbres, los cuales me ha ayudado a seguir adelante en momentos difíciles y así poder cumplir mis metas, a mis hermanos que me mostraron su apoyo incondicional y a mi amado hijo por ser fuente de motivación e inspiración para obtener mi título profesional.

María Emilia Rengifo Delgado

Dedico esta tesis que es el producto de mi esfuerzo y años de estudio; en especial a mi mamá porque fue el apoyo y la mentora de toda mi educación y siempre ha estado conmigo apoyándome día a día en cada triunfo y derrota; a mi tío Daniel, que siempre me cuidó y dirigió como un padre desde mi niñez y por sus enseñanzas que sirvieron como base para mi desarrollo personal; a mis demás familiares que fueron y son el impulso con sus consejos brindados para seguir y no claudicar; y finalmente también dedicar esta tesis a Hércules, quien en vida fue mi compañero y gran amigo que me acompañó estos tantos años de estudios brindándome su grata y hermosa compañía en cada batalla académica. A todos ellos les muestro este trabajo como el fruto de mi esfuerzo, el fruto de sus apoyo y enseñanza brindada.

Gustavo Leonardo Mendoza Vergara

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ser mi fortaleza y apoyo en aquellos momentos de dificultad, a mi institución y a mis formadores por sus esfuerzos ya que me ayudaron a obtener este grado como profesional.

También agradezco a mis familiares ya que ellos también forman parte de este logro académico.

Por último, agradecer a todos mis compañeros de la universidad ya que gracias al compañerismo, amistad y apoyo moral han aportado mucho en esta etapa de mi carrera profesional.

María Emilia Rengifo Delgado

Agradezco a Dios por darme la vida, sabiduría y fuerza para seguir creciendo y aprendiendo en mi vida profesional, a mis amigos y/o compañeros por cada desvelo y momentos que van a ser recordados y finalmente a mi casa de estudios y sus ejemplares maestros que gracias a sus conocimientos brindados y adquiridos tengo la dicha de haber concluido satisfactoriamente mis estudios universitarios.

Gustavo Leonardo Mendoza Vergara

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
PORTADA	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN	ii
JURADO Y ASESOR	iii
RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Bases teóricas	9
1.3. Definición de términos básicos	21
CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES	23
2.1. Formulación de la hipótesis	23
2.2. Variables y su operacionalización	23
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	25
3.1. Tipo y diseño	255
3.2. Diseño muestral	25
3.3. Distribución de la batería de bombeo con arreglo en serie y paralelo	26
3.4. Procedimientos de recolección de datos	27
3.5. Procesamiento y análisis de datos	29
3.6. Aspectos éticos	30
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	31
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	37
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES	40
CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES	41
CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN	42
ANEXOS	46

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Interpretación del número de Reynolds	19
Tabla 2. Operacionalización de las variables	24
Tabla 3. Resultados teóricos de la batería con arreglo en serie	31
Tabla 4. Resultados teóricos de la batería con arreglo en paralelo	33
Tabla 5. Resultados experimentales de la batería con arreglo en serie	34
Tabla 6. Resultados experimentales de la batería con arreglo en paralelo	35
Tabla 7. Porcentaje de error de las bombas con arreglo en paralelo	38
Tabla 8. Porcentaje de error de las bombas con arreglo en serie	39

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Representación de una Bomba.	10
Figura 2. Clasificación de Bombas Hidráulicas	11
Figura 3. Curvas características de una Bomba Hidráulica	12
Figura 4. Diagrama de Bombas en paralelo	13
Figura 5. Curvas características de Bombas en Paralelo con máquinas iguales	14
Figura 6. Diagrama de Bombas en Serie	15
Figura 7. Curvas características de Bombas en Serie con máquinas iguales	16
Figura 8. Representación la ecuación de continuidad	17
Figura 9. Representación de la ecuación de Bernoulli	18
Figura 10. Diagrama de la Bateria de bombeo	26
Figura 11. Esquema de la Bateria de bombeo con arreglo en serie	27
Figura 12. Esquema de la Bateria de bombeo con arreglo en paralelo	28
Figura 13. Representación gráfica de curvas teóricas en arreglo en serie	32
Figura 14. Representación gráfica de curvas teóricas en arreglo en paralelo	34
Figura 15. Representación gráfica de curva experimental en arreglo en serie	35
Figura 16. Representación gráfica de curva experimental en arreglo en paralelo	36

RESUMEN

Las bombas en serie y en paralelo son configuraciones utilizadas en sistemas de bombeo para mejorar la eficiencia y el rendimiento en ciertos procesos industriales. En una configuración en serie, varias bombas se colocan en línea, de manera que el flujo de salida de una bomba se dirige hacia la entrada de la siguiente. Esto aumenta la presión total generada por las bombas, siendo útil en aplicaciones donde se requiere un mayor empuje.

Por otro lado, en una configuración en paralelo, varias bombas se conectan de manera que sus flujos de salida se combinan en una tubería común. Esto aumenta la capacidad de caudal total del sistema, siendo beneficioso en situaciones donde se necesita mover grandes volúmenes de líquido.

El objetivo general del presente estudio fue diseñar, construir y poner en funcionamiento una batería de bombas con arreglos en serie y paralelo en la Facultad de Ingeniería Química de la UNAP para realizar determinaciones gráficas y analíticas de caudales y presiones. La investigación cuantitativa fue de tipo experimental, se realizaron 08 pruebas en la batería de bombeo con arreglo en serie y paralelo.

Se determinó que la batería de bombeo tiene un porcentaje de error alto en la configuración con arreglo en paralelo comparando la altura dinámica total teórico versus la altura dinámica experimental, esto debido a que existe más accesorios y longitud en ese arreglo lo que ocasiona mayor pérdida de energía; y un porcentaje menor en la configuración con arreglos en serie al comparar la altura dinámica total teórico versus la altura dinámica experimental esto debido a que existe menos accesorios y longitud, lo que ocasiona menor pérdida de energía.

Palabras clave: bombas en serie, bombas en paralelo, caudal, mecánica de fluidos.

ABSTRACT

Series and parallel pump configurations are used in pumping systems to improve efficiency and performance. In a series configuration, multiple pumps are placed in line, so that the output flow of one pump is directed to the input of the next pump. This increases the total pressure generated by the pumps, which is useful in applications where greater thrust is required.

On the other hand, in a parallel configuration, multiple pumps are connected so that their output flows combine in a common pipe. This increases the total flow capacity of the system, which is beneficial in situations where large volumes of liquid need to be moved.

The general objective of this study was to design, build, and put into operation a battery of pumps with series and parallel arrangements in the Chemical Engineering Faculty of the UNAP, in order to perform graphical and analytical determinations of flow rates and pressures. The quantitative research was experimental in nature, and 8 tests were conducted on the pump battery with series and parallel arrangements.

It was determined that the pumping battery has a high percentage of error in the parallel arrangement configuration when comparing the theoretical total dynamic head to the experimental dynamic head. This is due to the presence of more accessories and length in that arrangement, causing greater energy loss. On the other hand, there is a lower percentage of error in the series arrangement configuration when comparing the theoretical total dynamic head to the experimental dynamic head. This is attributed to the fewer accessories and less length in that arrangement, resulting in less energy loss.

Keywords: pumps in series, pumps in parallel, flow, fluid mechanics.

INTRODUCCIÓN

El uso de bombas (centrífugas, periféricas, de tornillo, etc.) en los hogares y en las industrias está aumentando, principalmente por la necesidad de contar con agua en lugares convenientes para su uso. Si bien es cierto que la teoría sobre el transporte de fluidos es abundante, también es cierto que la información técnica para dimensionar el equipo correctamente para la selección de la bomba impulsora es escasa.

La Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP), nunca ha contado con un laboratorio para ensayo de bombas en serie y paralelo.

En un proceso u operación industrial, existen requisitos de flujo y carga que requieren el uso de un sistema de bombeo con múltiples bombas. Esto puede deberse a la incapacidad de proporcionar los requisitos de carga de proceso o costos con una sola bomba. Por lo tanto, se debe utilizar una batería de bombeo en serie o en paralelo, según sus necesidades.

En el presente trabajo de investigación se desarrolla, plantea, ejecuta y evalúa los resultados de experimentos sobre el desempeño de diferentes arreglos de bombas; como son los arreglos en serie y paralelo.

Dependiendo de los requisitos del sistema, puede ser necesario configurar el sistema con el mismo par de motores de bomba o con pares diferentes.

Así, en el presente trabajo de tesis, se planteó el problema general: “**¿Es posible diseñar, construir y poner en funcionamiento una batería de bombas con arreglos en serie y paralelo en el laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la Facultad de Ingeniería Química (FIQ) de la UNAP, para realizar determinaciones gráficas y analíticas de caudales y presiones?**”.

Problema específico

- ¿Es posible determinar gráficamente las curvas características de los resultados en los arreglos de bombas en serie y paralelo?

Objetivo general

Diseñar, construir y poner en funcionamiento una batería de bombas con arreglos en serie y paralelo en el laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP para realizar determinaciones gráficas y analíticas de caudales y presiones.

Objetivos específicos

- Diseñar la batería de bombeo con arreglos en serie y paralelo de acuerdo al espacio permisible dentro del laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP.

- Construir y ensamblar el módulo de una batería de bombas en serie y paralelo en el laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP.
- Poner en funcionamiento la batería de bombeo en arreglos en serie y paralelo para obtener las curvas características y experimentar el comportamiento de las bombas acopladas en serie o en paralelo.
- Representar el diagrama de flujo de la batería de bombeo.
- Identificar las variables operativas que influyen en el flujo de líquidos con la batería de bombeo en serie y paralelo.
- Elaborar la guía de operación para el correcto funcionamiento de la batería de bombeo en serie y en paralelo, en el laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ – UNAP.

La importancia de este trabajo radica en la contribución para la implementación del Laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la FIQ-UNAP, mediante la cual se posibilitará la realización de experimentos de asignaturas que tengan que ver con la mecánica de fluidos para los estudiantes de los últimos niveles de la FIQ-UNAP y otras afines.

La estructura de la tesis, está formada por los siguientes capítulos:

- Capítulo I: Marco teórico
- Capítulo II: Hipótesis y variables
- Capítulo III: Metodología
- Capítulo IV: Resultados
- Capítulo V: Discusión
- Capítulo VI: Conclusiones
- Capítulo VII: Recomendaciones
- Capítulo VIII: Fuentes de información

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

- En un artículo titulado, “Diseño, implementación y control para un banco de pruebas con bombas centrífugas en conexión serie y paralelo, se desarrolló en la instalación de la Escuela Superior Politécnica en el Laboratorio de Operaciones Unitarias ESPOL”. La investigación determinó que:

Las bombas implementadas transformaron un trabajo mecánico convirtiéndolo en uno de tipo hidráulico, en conjunto con una correcta instalación eléctrica y electrónica, se plantea obtener un ambiente óptimo de estudio. El banco de pruebas con bombas centrífugas se encuentra en estado funcional tanto física como lógicamente, e instalado en el Campus Gustavo Galindo, ESPOL para la práctica de los estudiantes. (Amores et al, 2017).

- En la tesis “Diseño y construcción de un módulo de laboratorio para el estudio experimental del comportamiento de bombas hidráulicas en serie y paralelo”, los objetivos son:

“Diseñar un módulo de laboratorio para el estudio experimental del comportamiento de bombas en serie y paralelo. Construir un módulo de laboratorio para el estudio experimental del comportamiento de bombas en serie y paralelo.”

Los autores concluyeron que: “En el proyecto de investigación de la tesis se logró diseñar y construir el módulo de tesis para el laboratorio de Ingeniería Mecánica, y analizar el estudio experimental del

comportamiento de bombas en serie y paralelo.” (Aguilar et al, 2017).

- En un trabajo de grado desarrollado en Ecuador, cuyo estudio de investigación lleva como nombre, “Diseño y construcción de un banco de pruebas para la determinación de la eficiencia de bombas centrífugas domiciliarias”, los autores afirman que:

En el diseño del equipo se determinó que las variables óptimas para el funcionamiento del mismo son: Caudal máx. 94,6L/min, cuando se trabaja en paralelo con las 4 bombas; Presión máx. 80m.c.a, cuando se trabaja en serie con las bombas Pedrollo-Meyers. (Cajo et al, 2012).

- En un trabajo de tesis de pregrado realizado en Santiago de Cali, se desarrolló una investigación que lleva como nombre: “Diseño de un banco para ensayo de bombas en serie y paralelo”; pone como objetivo general que: “Diseñar un banco para estudio experimental y analítico de las características de operación, altura, potencia, eficiencia o rendimiento vs. Caudal, de un sistema de dos bombas centrífugas iguales conectadas en serie y/o en paralelo”. En mencionada investigación los autores comentan que:

Este práctico prototipo apoya a las materias de Mecánica de Fluidos I y Maquinas Hidráulicas de la carrera de Ingeniería Mecánica y en las prácticas de Cálculo de Potencias de Bombas Centrífugas, Cálculo de Pérdidas en Bombas, así como de Sistemas de Bombeo en Serie y en Paralelo. (Villarreal, 2008).

- En otro estudio se ha desarrollado un modelo de computadora para combinar curvas de bombas en serie y en paralelo y determinar el rendimiento de la estación de bombeo y las bombas que la componen. Se ajustan polinomios a los datos de las curvas de cada bomba y a los datos combinados de la estación de bombeo. La interpolación "spline" cúbica se utiliza para combinar curvas de bomba de diferentes capacidades. Se calculan indicadores de rendimiento de la estación y de cada bomba individualmente para todo el rango de caudal del sistema. Una interfaz gráfica permite al usuario dibujar el esquema de la estación de bombeo y visualizar los datos de cada bomba y las ecuaciones ajustadas. Los datos, gráficos y coeficientes de las ecuaciones ajustadas pueden imprimirse. Los cálculos del modelo han sido verificados con una hoja de cálculo electrónica. (Andrade et al, 2001).
- En este artículo se describe una metodología para calcular los coeficientes de las curvas características de una serie de bombas rotodinámicas iguales, a partir del conocimiento de las características de una sola de ellas. La metodología, conocida como Método de las Áreas, se basa en la relación directa entre las áreas bajo las curvas (polinomios) de una bomba y la correspondiente al caso en cuestión (n bombas en serie). El objetivo del método es determinar los coeficientes de las curvas características resultantes de la combinación de bombas rotodinámicas en serie y proporcionar una herramienta para obtener estos coeficientes de manera eficiente. (Martínez y Riano, 20018).

- En el artículo se presentó la determinación experimental de las curvas características de las principales bombas de las fuentes de Montjuic en Barcelona-España. Estas curvas se utilizaron posteriormente para determinar las características de los diferentes circuitos hidráulicos que conforman la fuente. La conclusión principal del estudio se centró en la constatación de que las curvas características de muchos de los anillos estudiados tenían características de pérdidas similares. Con esto, se aseguró que los puntos de funcionamiento de las bombas al operar con diferentes anillos tuvieran una escasa variación, lo que garantizaba que la fatiga a la que estaban sometidos los grupos de bombeo fuera mínima. En el futuro, el sistema se utilizaría para realizar el mantenimiento predictivo de la instalación. (Bergada et al, 2004).
- Se realizó un trabajo con el fin de simular el desempeño de la bomba centrífuga BSC 80/200 (130-65) a través del método CFD, de manera que se pudieran obtener las curvas de características de flujo-cabeza, flujo-potencia y flujo-eficiencia. Para su ejecución, se consideró la información especializada en el diseño paramétrico de bombas centrífugas y en análisis por elementos finitos aplicados a fluidos, y se llevó a cabo el diseño, proyección 3D y simulación computacional mediante ANSYS (CFX). Los resultados obtenidos incluyen la creación de modelos tridimensionales del cuerpo de la bomba y de los tres impulsores (5 aspas, 6 aspas y 7 aspas), y se pudo comprobar que la correlación en todas las curvas era la esperada, tal como se describe en la bibliografía especializada. Se

llegó a la conclusión de que, tras comparar los resultados obtenidos a través de las simulaciones CFD considerando las variaciones en el número de aspas, el impulsor que proporcionó los mejores resultados fue el de 7 aspas, alcanzando la mejor eficiencia (90%) y potencia (36,25 kW) para un flujo del diseño del 70%. (Martínez et al, 2021).

- En otro estudio nos indica que las bombas centrífugas con doble aspiración son comúnmente usadas en aplicaciones industriales y agrícolas debido a su alta capacidad de flujo, que es el doble de la capacidad de las bombas de una sola aspiración con el mismo tamaño de impulsor.
- El objetivo de este estudio fue simular el rendimiento de la bomba centrífuga de doble aspiración BCP 125-420 utilizando el método de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD). Se siguieron los protocolos metodológicos recomendados en la literatura científica para el modelado de estas máquinas y se utilizó el software ANSYS Workbench en su versión 14.5 para la simulación y evaluación del desempeño. Entre los resultados obtenidos, se encontró que la altura predicha por la simulación y la altura real de la bomba fueron de 81.65 y 81.83 metros de columna de agua, respectivamente, superando el valor de 80 metros de columna de agua previsto en el diseño inicial. El error entre la altura real y la obtenida mediante la simulación no superó el 1%, lo que sugiere la confiabilidad en el

rendimiento de la bomba BCP 125-420 en las condiciones de operación evaluadas. (Moreno et al, 2021).

- La investigación de los fenómenos físicos presentes en las bombas rotodinámicas ha creado una nueva área de estudio para estas máquinas, que busca optimizar la eficiencia en el punto de operación sin afectar otros parámetros. En estudios realizados en bombas periféricas se ha demostrado experimentalmente que la ecuación de Euler no describe su comportamiento hidráulico, debido al flujo toroidal presente en estas máquinas, que da lugar a la recirculación de fluido. En esta investigación, se desarrolla una metodología que permite modelar el comportamiento de las bombas periféricas al aplicar un nuevo criterio para predecir la curva característica de la bomba, basado en la ecuación de Euler y que incluye factores de corrección. El modelo propuesto es validado experimentalmente para verificar que describe el fenómeno en función de las variables geométricas, mecánicas e hidráulicas de la bomba. Una vez ajustado el modelo de Euler, se realiza un proceso de optimización y se comparan los resultados obtenidos con la curva real de la bomba, lo que permite obtener una mejora en la potencia hidráulica. Este enfoque puede predecir el aumento en el rendimiento de las bombas periféricas sin la necesidad de realizar ensayos experimentales costosos. (Camargo et al, 2018).

1.2. Bases teóricas

1.2.1. Bombas

Según Carnicer Royo define la bomba afirmando que:

En general las bombas hidráulicas son máquinas que engendran energía hidráulica por transformación de energía mecánica que viene de exterior (motor), la cual se añade a la energía cinética y potencial del líquido que pasa a través de ellas. Estas máquinas mueven el líquido como consecuencia de un intercambio de energía por rozamiento. La transferencia de energía se ocasiona por medio del movimiento rotacional del líquido conducido por la parte que asume una función activa de la máquina que se denomina rodete que es un impulsor con álabes. El proceso energético ocurre en dos etapas sucesivas; en primer lugar, por efecto del movimiento rotacional, se origina un crecimiento de la energía cinética en energía de presión (presión), dirigiéndolo al mismo tiempo hacia el exterior por la tubuladura de descarga. El cuerpo de bomba no interviene en la producción de altura. (Carnicer et al, 2001, p. 20).

Sin embargo, Salvador De Las Heras, nos describe de manera más entendible, describiendo que las bombas son:

Una máquina de fluido, que es un sistema mecánico que intercambia energía con el fluido que está contenido o que circula a través de ella. Son máquinas de fluido las bombas, los ventiladores, los compresores, las turbinas hidráulicas, las turbinas de vapor y de gas, pero también los tornillos de Arquímedes o las ruedas hidráulicas. La gran complejidad del flujo en estas máquinas, aun supuesto ideal, hace que su estudio sea motivo de investigación permanente y que su diseño se apoye tanto en la experimentación como en el

desarrollo de teorías y simulaciones que analicen el flujo tridimensional (De las Heras, 2011, p. 121).

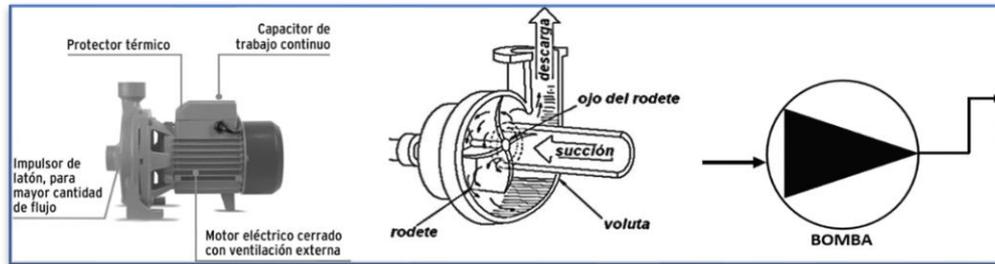


Figura 1. Representación de una Bomba.

Fuente: Elaboración propia.

1.2.2. Clasificación de las Bombas

Según Hicks, argumenta que las clasificaciones de las bombas se pueden resumir afirmando que:

Las bombas se clasifican según dos consideraciones generales diferentes: (1) la que toma en consideración las características de movimiento de líquidos y (2) la que se basa en el tipo o aplicación específica para los cuales se ha diseñado la bomba. El uso de estos dos métodos de clasificación de bombas causa gran confusión entre los principiantes y aún entre los veteranos. (Hicks, 1988, p 19).

Sin embargo, Manuel Viejo reitera que:

Siendo tan variados los tipos de bombas que existen, es muy conveniente hacer una adecuada clasificación. La que se considera más completa, el autor menciona que según Hydraulic Institute, el cual tiene como miembros a más de cincuenta compañías fabricantes de equipos de bombeo en el mundo entero y se ha procurado por mantener al día los llamados estándares (Viejo, 2006, pp. 13-14).

Manuel Viejo lo clasifica de la siguiente manera:

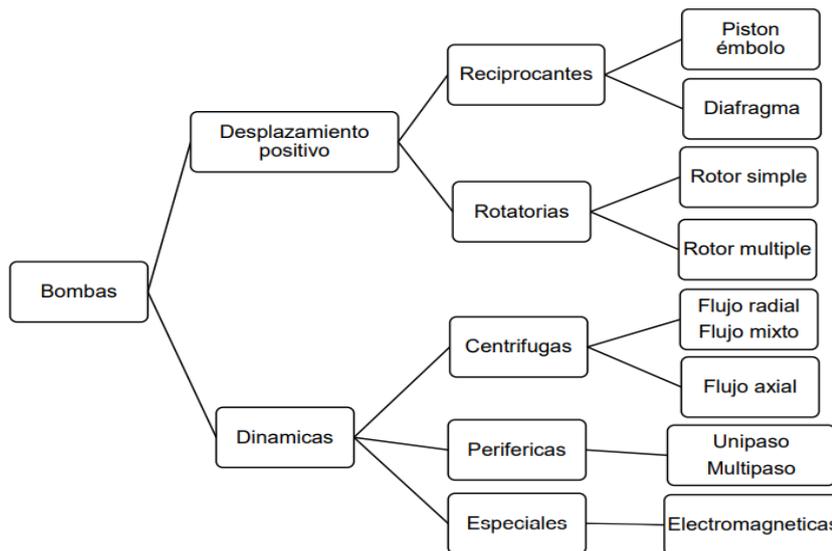


Figura 2. Clasificación de Bombas Hidráulicas.

Fuente: Viejo, 2006, p. 14.

1.2.3. Curvas características

En muchos libros de mecánica de fluidos podemos encontrar varios conceptos de curva características de las bombas; la definición más clara es que:

Las curvas características de bombas hidráulicas son gráficos que muestran la relación entre el caudal Q (volumen de líquido que fluye por la bomba por unidad de tiempo) y la cabeza H (altura dinámica o presión que la bomba puede generar) que puede proporcionar una bomba hidráulica a diferentes puntos de operación.

Estas curvas se generan mediante pruebas experimentales realizadas en la bomba hidráulica, donde se miden y registran el caudal y la altura dinámica en diferentes puntos de operación. La información recopilada se utiliza para construir la curva de características de la bomba hidráulica.

La curva característica de una bomba hidráulica es esencial para comprender su comportamiento y su capacidad de operación en diferentes condiciones de trabajo. Por ejemplo, a partir de esta curva se pueden determinar

el punto de operación de la bomba (que se produce cuando la cabeza y el caudal requerido se interceptan en la curva), la eficiencia de la bomba, la potencia requerida para operarla, así como las condiciones de funcionamiento de la bomba. (Terán et al, 2018, p. 68).

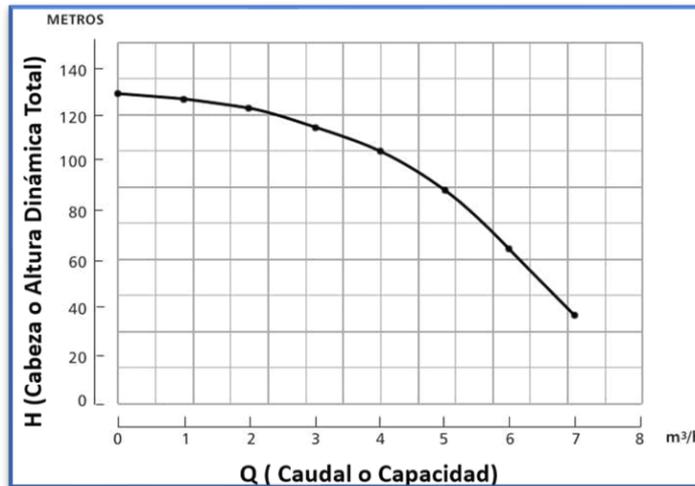


Figura 3. Curvas características de una Bomba Hidráulica.
Fuente: Elaboración Propia.

La conexión entre la altura dinámica de la electrobomba (H) y el caudal (Q) que genera, muchas veces se puede expresar mediante una ecuación cuadrática, es decir:

$$H = a + bQ + cQ^2. \quad (1)$$

En el cual a , b y c son valores numéricos, la altura dinámica de la electrobomba (H) está en m y el caudal (Q) producido en m^3/hr o L/min . (Marbello, 2018, p. 92).

1.2.4. Bombas en Paralelo

Estos arreglos se emplean cuando se tiene una gran variedad en la demanda de flujo de fluidos. La primera bomba se emplea para bajas demandas y la bomba en paralelo se emplea en momentos de mayor demanda. Existen 2 tipos de arreglos de bombas en paralelos, las cuales son bombas en paralelo

con máquinas iguales y diferentes. La curva de rendimiento se obtiene sumando los caudales con Head constantes. (Salinas at el, 2018, p. 133).

$$Q_{\text{Total}} = Q_A + Q_B \quad (2)$$

$$H_{\text{Total}} = H_A = H_B. \quad (3)$$

Cuando se usan bombas en paralelo con máquinas iguales, todas las bombas son del mismo tipo, marca y modelo, y están diseñadas para operar juntas en paralelo. En este caso, las bombas tienen la misma curva característica, lo que significa que garantizan el mismo caudal a la misma presión en cualquier punto de operación. Las bombas en paralelo con máquinas iguales se utilizan en aplicaciones donde se requiere un mayor caudal y la operación redundante. Por otro lado, las bombas en paralelo con máquinas diferentes utilizan bombas de diferentes tamaños, marcas o modelos, lo que significa que tienen curvas características diferentes. En este caso, las bombas no superarán el mismo caudal a la misma presión en cualquier punto de operación, sino que se dividirán el caudal según su capacidad de flujo. Las bombas en paralelo con máquinas diferentes se utilizan en aplicaciones donde se requiere una mayor flexibilidad de operación y se pueden ajustar para adaptarse a diferentes condiciones de trabajo. (Salinas at el, 2018, p. 134).

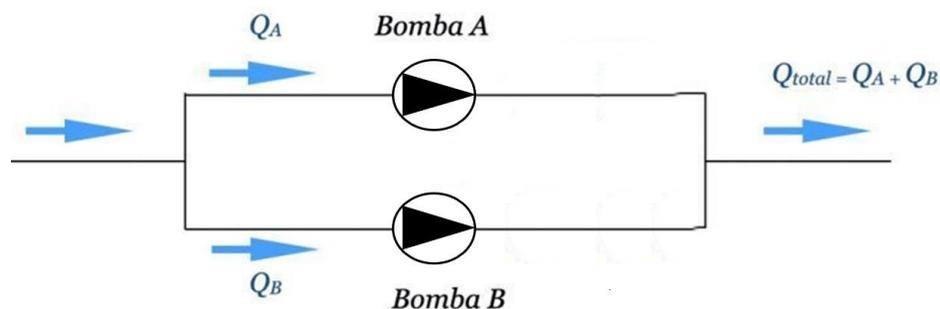


Figura 4. Diagrama de Bombas en paralelo.
Fuente: Elaboración Propia.

En resumen, la principal diferencia entre las bombas en paralelo con máquinas iguales y diferentes radica en el tipo de bombas que se utilizan y la

capacidad de proporcionar el mismo caudal a la misma presión en cualquier punto de operación. Las bombas en paralelo con máquinas iguales se utilizan en aplicaciones donde se requiere un mayor caudal y la operación redundante, mientras que las bombas en paralelo con máquinas diferentes se utilizan en aplicaciones donde se requiere una mayor flexibilidad de operación (Salinas et al, 2018, p. 134).

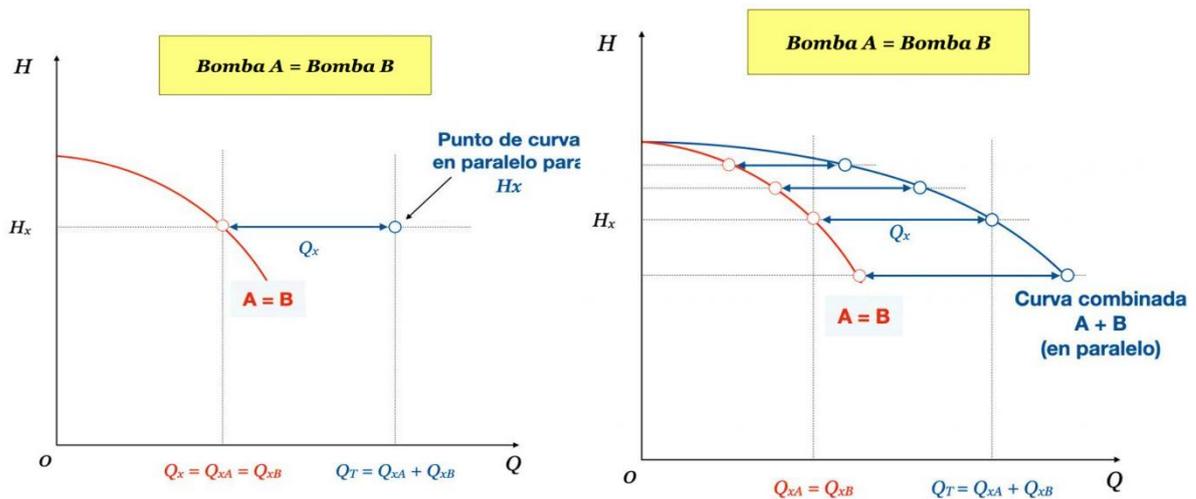


Figura 5. Curvas características de Bombas en Paralelo con máquinas iguales.

Fuente: Elaboración Propia.

1.2.5. Bombas en Serie

Los arreglos de bombas en serie se utilizan para aumentar la presión del líquido. En este tipo de configuración, el flujo de líquido pasa de una bomba a otra, lo que aumenta la presión del líquido a medida que avanza a través del sistema. En el caso de sistemas en serie, la curva de rendimiento de las bombas se obtiene sumando los Head's a caudal constante (Salinas et al, 2018, p. 134).

El caudal se comporta según:

$$Q_{\text{Total}} = Q_A = Q_B \quad (3)$$

El Head total será:

$$H_{\text{Total}} = H_A + H_B \quad (4)$$

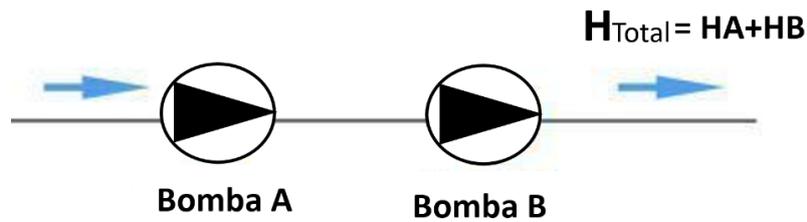


Figura 6. Diagrama de Bombas en Serie
Fuente: Elaboración Propia.

Se pueden tener dos tipos de arreglos de bombas en serie:

Cuando se utilizan bombas en serie con máquinas iguales, todas las bombas son del mismo tipo, marca y modelo, y están diseñadas para operar juntas en serie. En este caso, las bombas tienen la misma curva característica, lo que significa que garantizan el mismo caudal a diferentes presiones. Las bombas en serie con máquinas iguales se utilizan en aplicaciones donde se requiere un aumento de la presión y una operación redundante.

Por otro lado, las bombas en serie con máquinas diferentes utilizan bombas de diferentes tamaños, marcas o modelos, lo que significa que tienen curvas características diferentes. En este caso, las bombas no mejorarán el mismo caudal a diferentes presiones, sino que se dividirán el caudal según su capacidad de flujo. Las bombas en serie con máquinas diferentes se utilizan comúnmente en aplicaciones donde se requiere un aumento de la presión y se pueden ajustar para adaptarse a diferentes condiciones de trabajo (Salinas et al, 2018, p. 134).

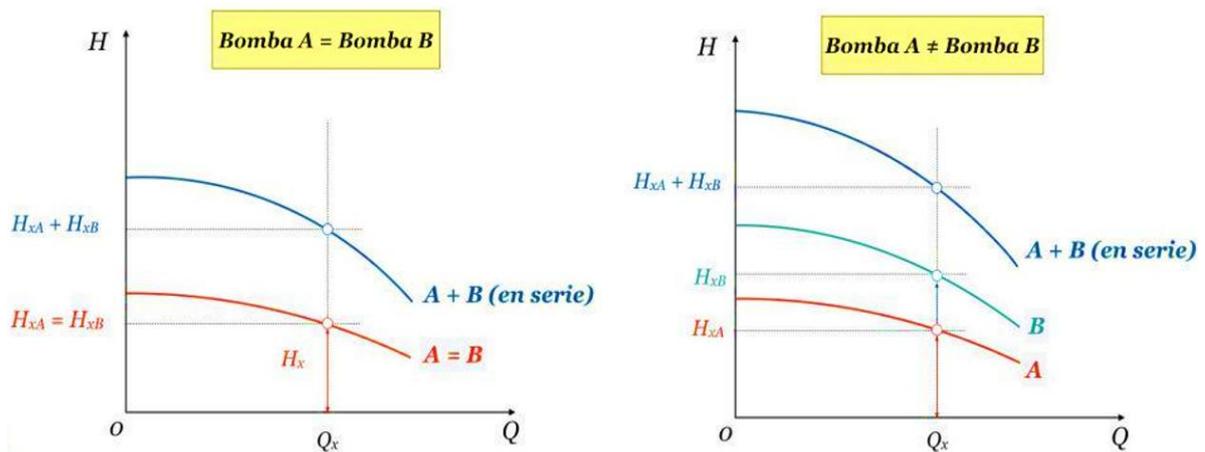


Figura 7. Curvas características de Bombas en Serie con máquinas iguales.

Fuente: Elaboración Propia.

La principal diferencia entre las bombas en serie con máquinas iguales y diferentes radica en el tipo de bombas que se están utilizando y la capacidad de proporcionar el mismo caudal a diferentes presiones.

Las bombas en serie con máquinas iguales se utilizan en aplicaciones donde se requiere un aumento de la presión y la operación redundante, mientras que las bombas en serie con máquinas diferentes se utilizan en aplicaciones donde se requiere un aumento de la presión y se pueden ajustar para adaptarse a diferentes condiciones de trabajo (Salinas et al, 2018, p. 134).

1.2.6. Ecuación de continuidad

La ecuación de continuidad es una de las ecuaciones fundamentales de la mecánica de fluidos, que describe la conservación de masa en un flujo de fluido incompresible y estacionario. Esta fórmula establece que el caudal de masa que entra en un volumen de control debe ser igual al caudal de masa que sale de él, y se expresa matemáticamente como (Mott, 2006, p. 156):

$$Q = A * V \tag{5}$$

Donde:

Q: Es el caudal volumétrico de fluido.

A: Es el área de la sección transversal del conducto.

V: Es la velocidad media del fluido en esa sección.

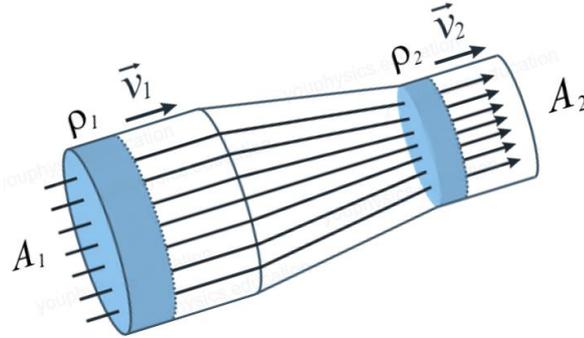


Figura 8. Representación la ecuación de continuidad.

Fuente: Mott, 2006, p. 156.

En el esquema (Figura 8) se ilustra la ecuación de continuidad, que indica que la cantidad de masa del fluido que ingresa a través de la sección transversal de área A_1 , debe ser igual a la cantidad de masa que se sale a través de la sección transversal de área A_2 . (Mott, 2006, p. 156; Flores, López y Menéndez, 2012, p. 3), es decir:

$$\hat{m}_1 = \hat{m}_2. \quad (6)$$

Donde:

\hat{m}_1 y \hat{m}_2 : Representan al flujo másico en las secciones de área A_1 y A_2 , respectivamente.

El flujo másico de un fluido, es el producto del caudal por la densidad del mismo, es decir:

$$\hat{m} = \rho Q. \quad (7)$$

Donde \hat{m} es el flujo másico en kg/s, ρ es la densidad en kg/m³ y Q es el caudal en m³/s.

1.2.7. Ecuación de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli es una de las ecuaciones fundamentales de la mecánica de fluidos que describen la relación entre la presión, la velocidad y la

altura de un fluido incompresible en movimiento a lo largo de una línea de corriente. Esta fórmula se basa en el principio de conservación de la energía, que establece que la energía total de un sistema cerrado permanece constante (Mott, 2006, p. 168.).

La fórmula de Bernoulli se expresa matemáticamente como:

$$\frac{p_1}{\rho g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}. \quad (8)$$

Donde p_1 y p_2 , son las presiones en las secciones 1 y 2, respectivamente, las cuales están en Pa. Las cantidades z_1 y z_2 , están en m y representan a las posiciones de las secciones 1 y 2, respectivamente. La densidad (ρ) en kg/m^3 y la aceleración de la gravedad (g) en m/s^2 (Mott, 2006, p. 168.).

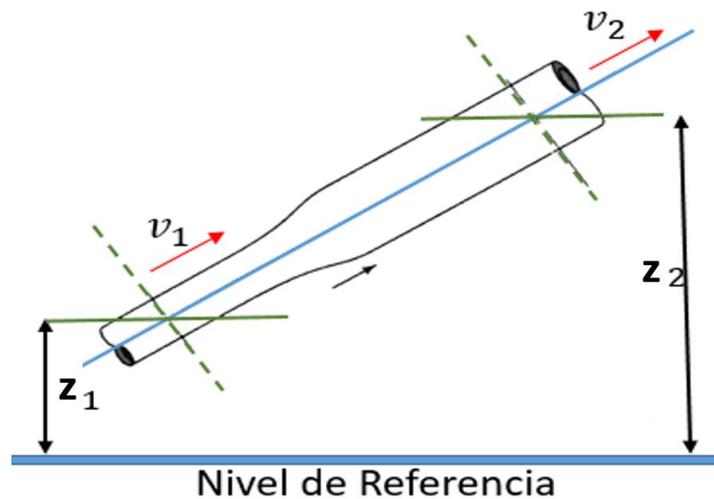


Figura 9. Representación de la ecuación de Bernoulli.

Fuente: Mott, 2006, p. 168.

1.2.8. Número de Reynolds

El número de Reynolds (Re) es una cantidad adimensional, determinando si el flujo es laminar o turbulento en una tubería o conducto. Se calcula dividiendo

la velocidad del fluido por la viscosidad dinámica. Un Re bajo indica flujo laminar, mientras que un Re alto sugiere flujo turbulento. (Cengel, 2007, p.366).

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (9)$$

2. **Tabla 1.** Interpretación del número de Reynolds.

Número de Reynolds	Tipo de flujo
Re < 2100	Flujo Laminar
2100 ≤ Re < 4000	Flujo de Transición
Re ≥ 4000	Flujo Turbulento

1.2.9. Pérdidas de carga por fricción de tuberías

Existen dos tipos de pérdidas de cargas o caída de presión las cuales se pueden determinar por la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (10)$$

Donde:

h_L = pérdida de energía por unidad de peso de fluido debido a la fricción, m.

f = factor de fricción, (adimensional).

L = longitud de la tubería, m.

D = diámetro de la tubería, m.

v = velocidad lineal promedio del fluido, m/s.

g = aceleración de la gravedad, 9.81 m/s².

Pérdidas primarias: Las pérdidas primarias son la resistencia al flujo de un fluido en una tubería, causadas principalmente por el rozamiento viscoso entre el fluido y la superficie interna de la tubería.

Pérdidas secundarias: son debidas a la forma, produciéndose en los accesorios de la instalación (válvulas, codos, etc.). Son debidas a una resistencia de forma por que producen desprendimiento de la capa límite. Los valores de pérdida secundarias normalmente se pueden obtener conociendo la relación L_e/D , se denomina relación de longitud equivalente, en el Anexo 1, se muestran los valores L_e/D de diversos accesorios.

1.2.10 Factor de fricción

El factor de fricción en tuberías es una medida que describe la resistencia al flujo de un fluido a través de una tubería debido al rozamiento con la superficie interna. Este factor, comúnmente representado como f , es esencial para calcular las pérdidas de carga en el sistema. (Mott, 2015, p. 195).

Para valores del número de Reynolds por debajo de 2000, f se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$f = \frac{N_R}{64}. \quad (11)$$

Para los números de Reynolds ubicados entre 2000 y 4000, se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7(D/\varepsilon)} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}} \right) \right]^2}. \quad (12)$$

1.3. Definición de términos básicos

1.3.1 Caudal

El caudal es la cantidad de fluido, como agua o aire, que fluye a través de un conducto en un determinado periodo de tiempo. Se mide comúnmente en unidades de volumen por unidad de tiempo, como litros por segundo o metros cúbicos por hora. (Mott, 2015, p. 119).

1.3.2 Altura dinámica de bombas

La altura dinámica indica la capacidad de la bomba para vencer la resistencia del sistema y elevar el líquido desde un nivel más bajo (punto de succión) hasta un nivel más alto (punto de descarga). Esta resistencia puede deberse a la fricción en las tuberías, accesorios, codos y otros elementos del sistema. La altura dinámica de una bomba se expresa en unidades de longitud, como metros (m) o pies (ft), ya que representa la energía por unidad de peso que la bomba transfiere al fluido durante su funcionamiento. (Geancopolis, 2006, p. 40).

1.3.3 Instrumentos de medición de control

Estos instrumentos tienen como objetivo la inspección y vigilancia de las bombas durante la operación de éstas. La información que se obtiene con el instrumento de medición puede ser útil en el diagnóstico del fluido o para indicar problemas ajenos a la propia bomba. El tipo y cantidad de instrumentos adecuados para supervisar una instalación dada se determina con la aplicación, diseño y tamaño del mismo. (Terán et al, 2018, p. 82).

Entre los instrumentos se encuentran:

Instrumentos de Presión: Manómetro, Vacuo metro, Manómetros Diferenciales.

Instrumentos para temperatura: Termómetro de Válvulas Protegidas, Termopares.

Instrumentos para la medición de flujo: Rotámetros, Metro Orificio, Metro Venturi, Tubo de Pitot Especiales.

Mediciones eléctricas (para determinar la potencia): Amperímetro, Voltímetro, Watímetro. (Terán et al, 2018, p. 83).

CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.1. Formulación de la hipótesis

Hipótesis general

Sí es posible diseñar, construir y poner en funcionamiento una batería de bombas con arreglos en serie y paralelo, en el laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la Facultad de Ingeniería Química (FIQ) de la UNAP, donde se obtendrán las curvas características reales de operación de carga de fluido versus caudal.

Hipótesis específicas

- Existe una relación entre el caudal del fluido y la altura dinámica.
- Se puede describir las curvas de las alturas dinámicas en función del caudal.

2.2. Variables y su operacionalización

Variable independiente: Caudal.

Variable dependiente: altura dinámica de la electrobomba.

Tabla 2. Operacionalización de las variables.

Variables	Notación	Definición	Tipo por su naturaleza	Indicadores	Escala de medición	Medios de verificación
Independiente						
Caudal	Q	El caudal es el volumen de fluido que fluye a través de un conducto en un determinado periodo de tiempo. (Mott, 2015, p. 119). En esta tesis, al hacer alusión al volumen de flujo, nos estamos enfocando de manera específica en la generación proporcionada por la electrobomba.	Cuantitativa continua	$\frac{L}{\text{min}}$ $\frac{m^3}{s}$	Razón	Hojas de cálculo de Excel.
Dependiente						
Altura dinámica de la electrobomba	H	Representa la energía por unidad de peso que la bomba transfiere al fluido durante su funcionamiento. Se expresa en unidades de longitud (Geancopolis, 2006, p. 40).	Cuantitativa Continua	m	Razón	Hojas de cálculo de Excel.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño

La presente investigación cuantitativa es de tipo experimental, se realizaron 08 pruebas, como mínimo, en la batería de bombeo con arreglo en serie y paralelo.

3.2. Diseño muestral

3.2.1 Población de estudio

Está conformado, por todos los datos de caudales y alturas dinámicas de la batería de bombeo que se instaló en el laboratorio de operaciones y procesos unitarios de la FIQ-UNAP.

3.2.2. Muestreo o selección de la muestra

Se realizaron registros, como mínimo, de cuatro (04) pruebas en el arreglo en serie y otras cuatro (04) en el arreglo en paralelo.

3.2.3. Criterios de selección

3.2.3.1 Criterios de inclusión.

Se registraron los datos de caudal desde el menor valor que se sensibilice el rotámetro hasta la total apertura de las válvulas de salida de las bombas.

3.3. Distribución de la batería de bombeo con arreglo en serie y paralelo.

En la figura 10, se tiene el diagrama del equipo de la batería de bombeo con arreglo en serie y paralelo. Se puede observar en esta figura que los componentes principales de dicho equipo son: el tanque reservorio, la línea de succión, las electrobombas periféricas y la línea de descarga.

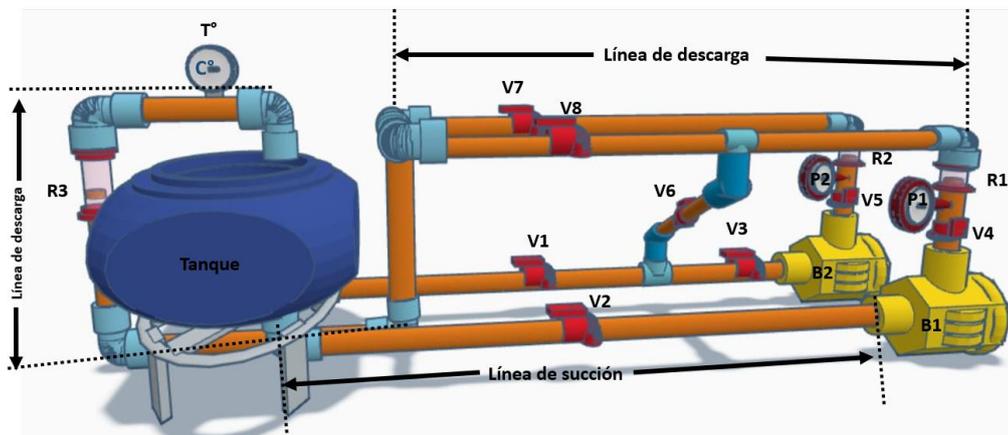


Figura10. Diagrama de la Batería de bombeo.
Fuente: Elaboración Propia.

- Tanque reservorio: Este componente cumple las funciones de alimentar con agua a la electrobomba a través de la línea de succión y receptionar el agua que sale de la línea de descarga.
- Línea de succión: Por medio de este componente, la electrobomba succiona el agua del tanque reservorio y la impulsa a través de la línea de descarga. Está conformado por: 233 cm de longitud de tubería PVC de 1"; 4 uniones universales de 1"; 4 codos de 90° de 1"; 3 válvulas globo de 1"; 1 T de 1".
- Electrobombas: Estas son 2 bombas periféricas de 0.5 Hp, cuya función principal es bombear el agua desde el punto 1 (ubicado en el tanque reservorio) hasta el punto 2 (ubicado al final de la línea

de descarga). También, las electrobombas tienen como función mantener el flujo estable en la línea de succión y la línea de descarga.

- Línea de descarga: En la línea de descarga se realizan las configuraciones en serie y paralelo, y la descarga del fluido termina en el tanque reservorio. Está conformado por: 386.5 cm de longitud de tubería PVC de 1"; 9 uniones universales de 1"; 5 válvulas globo de 1"; 2 rotámetros de flujo variado, 2 T de 1", 2 reducciones de 1" a 1 ¼"; 2 ampliaciones de 1 ¼" a 1", 8 codos de 90° de 1"; 60 cm de longitud de 1"; 2 codos de 45° de 1".

3.4. Procedimientos de recolección de datos

3.4.1. Configuración en serie

Para la recolección de datos de la batería de bombeo con arreglo en serie, es necesario cerrar por completo las válvulas V_1 y V_8 , y mantener abierto por completo las válvulas V_2 , V_3 , V_4 , V_5 , V_6 y V_7 . Posteriormente se procedió al arranque de las bombas periféricas, se esperó que el flujo se estabilice.

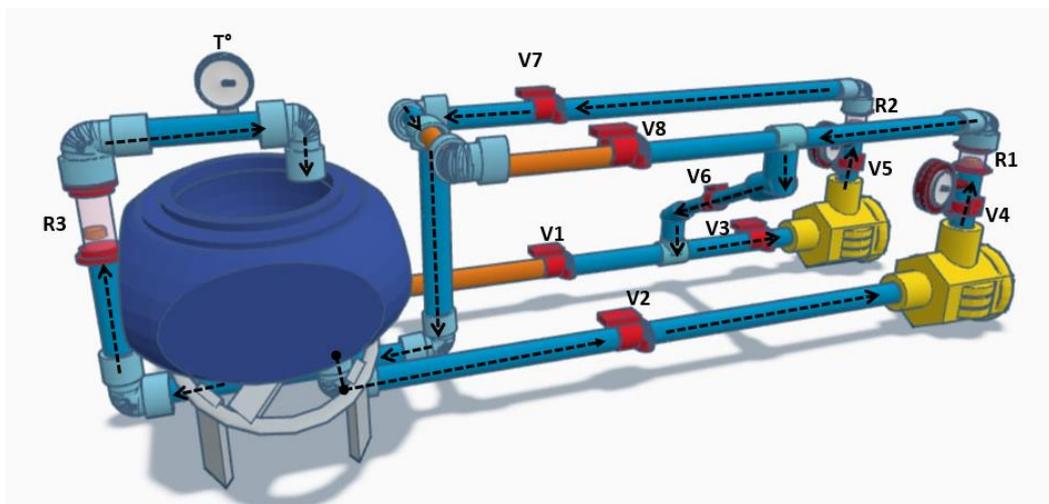


Figura 11. Esquema de la Batería de bombeo con arreglo en serie.
Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente se procedió a manipular las válvulas V_4 y V_5 para así controlar los caudales producido por las bombas, después se procedió a recolectar los valores de los caudales de los rotámetros R_1 , R_2 y R_3 .

En la tabla del Anexo 4, se registraron los caudales de los rotámetros en arreglo en serie, además se registraron los datos de los instrumentos de control (Temperatura, voltaje, amperaje) instalados en la batería de bombeo.

3.4.2. Configuración en paralelo.

Para la recolección de datos de la batería de bombeo con arreglo en paralelo, es necesario cerrar por completo la válvula V_6 , y mantener abierto por completo las válvulas V_1 , V_2 , V_3 , V_4 , V_5 , V_7 y V_8 . posteriormente se procedió al arranque de las bombas periféricas, se esperó que el flujo se estabilice.

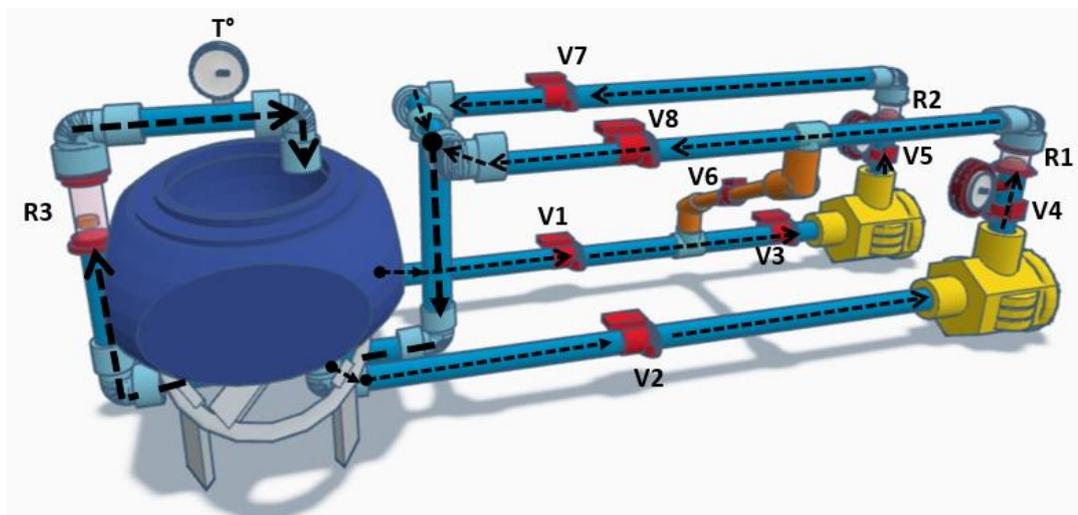


Figura 12. Esquema de la Batería de bombeo con arreglo en paralelo.
Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente se procedió a manipular las válvulas V_4 y V_5 para así fijar los caudales producido por las bombas, consecuentemente se procedió a recolectar los valores de los caudales reflejados en los rotámetros R_1 , R_2 y R_3 .

En la Tabla del Anexo 5, se registraron los caudales de los rotámetros en arreglo en paralelo, además se registraron los datos de los instrumentos de control (Temperatura, voltaje, amperaje) instalados en la batería de bombeo.

3.5. Procesamiento y análisis de datos

En este trabajo se utilizaron dos máquinas idénticas (bombas periféricas). Para el análisis de datos hemos utilizado la hoja electrónica Microsoft Excel 2019; que es un programa que nos permitió el uso de hojas de cálculo, se trabajó en los diferentes arreglos de bombas, realizando cálculos de caudal, altura dinámica, cálculos de pérdida de energías, cálculos con datos de la ficha técnica y la generación de las gráficas de altura dinámica versus caudal en los arreglos en serie y paralelo (Anexo 3).

Para la obtención de las alturas dinámicas producidas por las bombas periféricas se utilizó los datos de la ficha técnica para realizar la regresión polinómica de las bombas (Anexo 6), obteniéndose la siguiente relación:

$$\text{Bomba 1: } H_1 = 0.006Q_{R_1}^2 - 0.8514Q_{R_1} + 20.079 \quad (13)$$

$$\text{Bomba 2: } H_2 = 0.006Q_{R_2}^2 - 0.8514Q_{R_2} + 20.079 \quad (14)$$

Para la obtención de las alturas dinámicas totales producidas por las bombas periféricas con arreglo en paralelo se obtuvo la siguiente relación:

$$H_{\text{Total}} = 0.0015 Q_{R_3}^2 - 0.4257 Q_{R_3} + 20.079 \quad (15)$$

Para la obtención de las alturas dinámicas totales producidas por las bombas periféricas con arreglo en serie se obtuvo la siguiente relación:

$$H_{\text{Total}} = 0.012Q_{R_3}^2 - 1.7028Q_{R_3} + 40.158 \quad (16)$$

En las ecuaciones polinómicas se representan las alturas dinámicas y caudales como H y Q respectivamente, los cuales tienen unidades de m y L/min.

3.6. Aspectos éticos

Esta investigación se sustentó en los principios de la ética, se protegió la propiedad intelectual mediante la cita de los diferentes trabajos utilizados, se protegió a la sociedad en el proceso investigativo; además no se trabajó con seres humanos ni animales.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

En la **Tabla 3** se muestran los resultados teóricos de la batería de bombeo con arreglo en serie de máquinas iguales (bombas periféricas de $\frac{1}{2}$ Hp), en la cual se observa que el caudal se mantiene constante. La altura dinámica generada por cada bomba se suma en la medida que el fluido pasa por cada una de ellas. En otras palabras, la altura dinámica de salida de una bomba se convierte en la altura dinámica de entrada de la siguiente bomba, y así sucesivamente.

Como resultado, el sistema de bombeo en serie es capaz de generar una altura dinámica total más alta en comparación con una sola bomba. Cada bomba contribuye incrementalmente a aumentar la altura dinámica del fluido, lo que permite superar mayores resistencias en las tuberías o sistema en el que se encuentra instalado.

Tabla 3. Resultados teóricos de la batería con arreglo en serie

Bombas con Arreglo en Serie						
N°	Bomba 1	Bomba 2	Bomba 1	Bomba 2	H _{Total} (m)	Q _{Total} (L/min)
	Q ₁ (L/min)	Q ₂ (L/min)	H ₁ (m)	H ₂ (m)	H ₁ +H ₂	Q ₁ = Q ₂
1	21.30	21.30	4.67	4.67	9.33	21.3
2	20.00	20.00	5.45	5.45	10.90	20.00
3	18.33	18.33	6.49	6.49	12.98	18.33
4	16.67	16.67	7.55	7.55	15.11	16.67

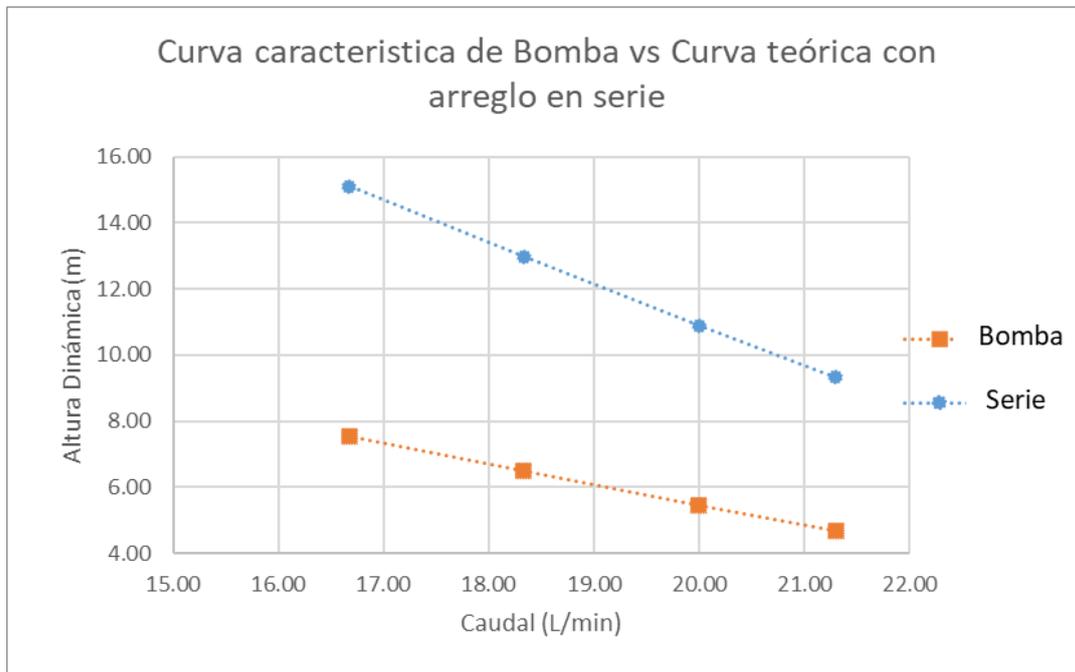
Fuente: Elaboración propia.

En la **figura 13** se muestra la gráfica de la curva característica de las bombas periféricas utilizadas en la batería de bombeo (líneas naranjas), en comparación con la curva obtenida teóricamente con el arreglo en serie.

En la gráfica de altura dinámica y caudal del sistema de bombeo con arreglo en serie, se observa la altura dinámica acumulativa, a medida que el

fluido pasa por cada bomba en el arreglo en serie, la presión generada por cada bomba se suma, lo que resulta en un aumento gradual de la presión total a lo largo del sistema. En la gráfica, esto se representa mediante una curva en la que se observa que al aumentar el caudal la altura dinámica disminuye.

Figura 13. Representación gráfica de curvas teóricas en arreglo en serie.



Fuente: Elaboración propia.

La **tabla 04** se muestran los resultados teóricos de la configuración de la batería de bombeo con arreglo en paralelo. Cuando se conectan bombas periféricas en paralelo, el resultado es un aumento en el caudal total disponible. En lugar de tener una sola bomba suministrando el caudal, al agregar bombas periféricas adicionales en paralelo, se aumenta la capacidad de flujo total del sistema.

El funcionamiento en paralelo de las bombas periféricas implica que cada bomba contribuye con una fracción del caudal total requerido. Por lo tanto, el

caudal total será la suma de los caudales individuales de cada bomba en paralelo (bomba 1 y bomba 2).

La altura dinámica generada por las bombas periféricas en paralelo no es acumulativa. La altura dinámica se mantiene similar a la de una sola bomba periférica, ya que está determinada por las características de la bomba individual y las restricciones del sistema.

Tabla 4. Resultados teóricos de la batería con arreglo en paralelo

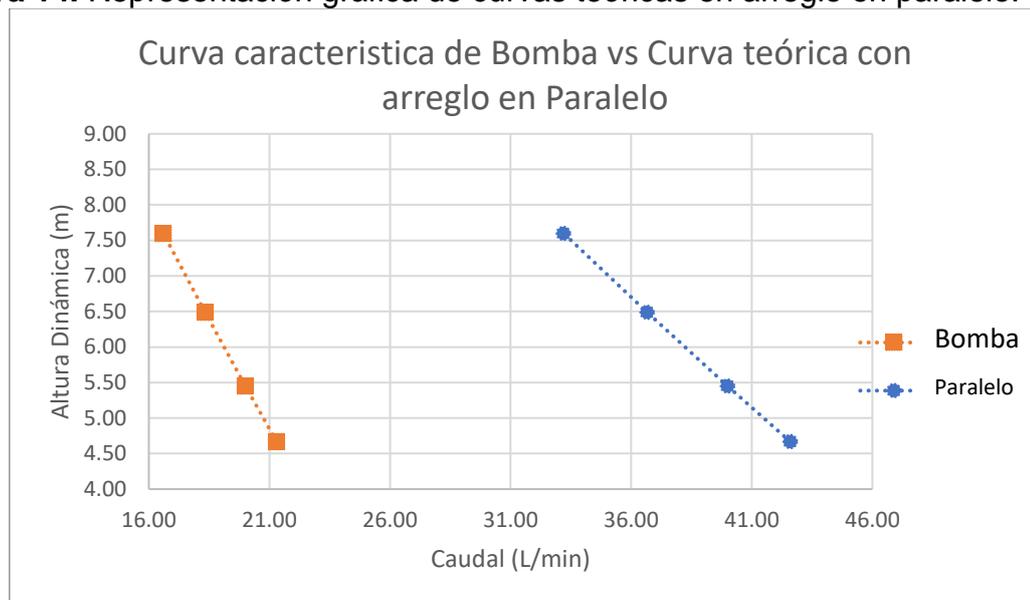
Bombas con Arreglo en Paralelo						
N°	Bomba 1	Bomba 2	Bomba 1	Bomba 2	H _{Total} (m)	Q _{Total} (L/min)
	Q ₁ (L/min)	Q ₂ (L/min)	H ₁ (m)	H ₂ (m)	H ₁ =H ₂	Q ₁ + Q ₂
1	21.30	21.30	4.67	4.67	4.67	42.60
2	20.00	20.00	5.45	5.45	5.45	40.00
3	18.33	18.33	6.49	6.49	6.49	36.66
4	16.60	16.60	7.60	7.60	7.60	33.20

Fuente: Elaboración propia.

En la **figura 14** se muestra la gráfica teórica de bombas periféricas con arreglo en paralelo (curva de color azul) con respecto a la curva característica de las bombas periféricas (curva de color anaranjado), se observa desplazamiento horizontal entre el caudal total y la altura dinámica producida por el sistema.

La gráfica muestra una curva descendente, donde el eje horizontal representa el caudal total y el eje vertical representa la altura dinámica producida por el sistema. Al variar el caudal total mediante el arreglo en paralelo, la altura dinámica generada por el sistema se mantiene igual que las bombas individuales.

Figura 14. Representación gráfica de curvas teóricas en arreglo en paralelo.



Fuente: Elaboración propia.

En la **tabla 5** se muestran los valores experimentales obtenidos de la batería de bombeo cuando está configurado con arreglo en serie y se opera en las mismas condiciones teóricas de caudal. Se obtuvo las alturas dinámicas utilizando la ecuación **16** a partir de los caudales recopilados del rotámetro R₃ y se le resta las pérdidas de carga que se desarrolla en el arreglo (Anexo 9).

Tabla 5. Resultados experimentales de la batería con arreglo en serie.

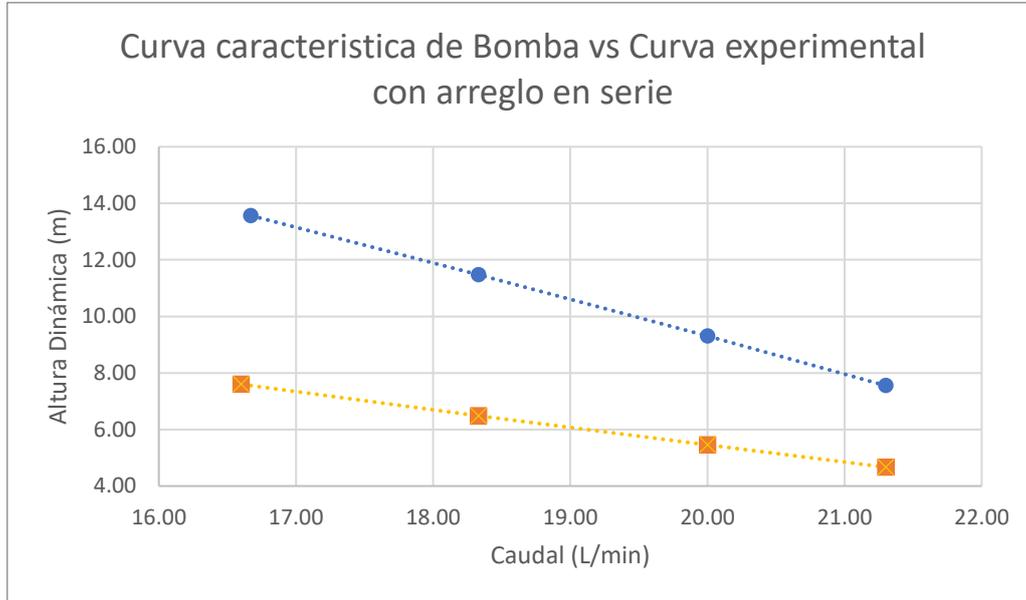
Bombas con Arreglo en Serie					
Nº	Bomba 1	Bomba 2	Q _{Total} (L/min)	H _{Total} (m)	HL (m)
	Q ₁ (L/min)	Q ₂ (L/min)	Rotámetro 3	H _{Total} = (0.012Q _{R3} - 1.7028Q _{R3} + 40.158) - HL	Pérdida de carga
1	21.30	21.30	21.30	7.55	1.78
2	20.00	20.00	20.00	9.30	1.60
3	18.33	18.33	18.33	11.48	1.50
4	16.67	16.67	16.67	13.57	1.54

Fuente: Elaboración propia.

En la **figura 15** se muestra la curva experimental de altura dinámica versus caudal de la bomba (línea guionada anaranjada) y de la batería de

bombeo en arreglo en serie (línea punteada azul) en las mismas condiciones teóricas de caudal.

Figura 15. Representación gráfica de curva experimental en arreglo en serie.



Fuente: Elaboración propia.

En la **tabla 6** se muestra los resultados experimentales obtenidos del rotámetro R₃ de la batería con arreglo en paralelo cuando se opera en las mismas condiciones teóricas de caudal. Se obtuvo las alturas dinámicas utilizando la ecuación **15** a partir de los caudales recopilados del rotámetro R₃ y se le resta las pérdidas de carga que se desarrolla en el arreglo (Anexo 9).

Tabla 6. Resultados experimentales de la batería con arreglo en paralelo

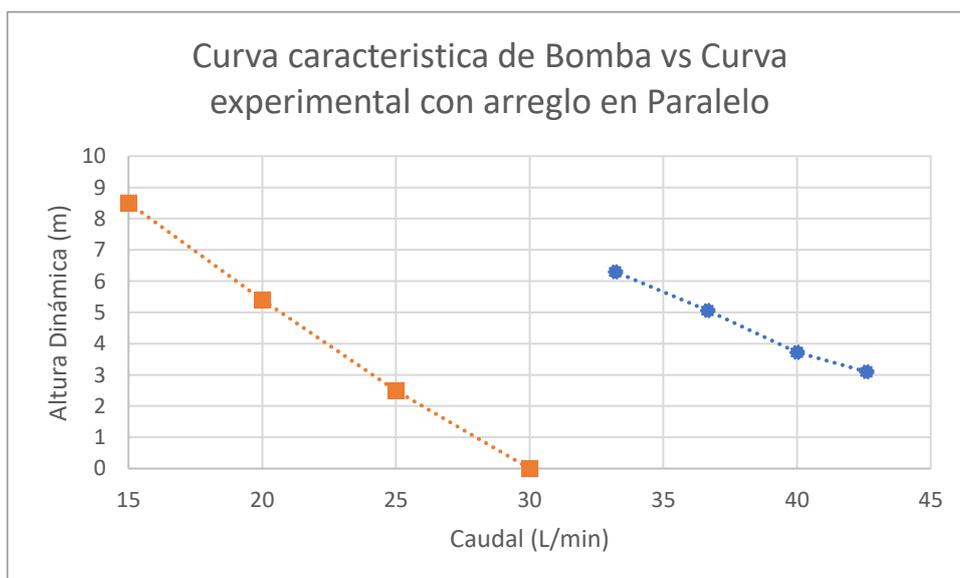
Bombas con Arreglo en Paralelo						
N°	Bomba 1	Bomba 2	Q _{Total} (L/min)	H _{Total} (m)		HL (m)
	Q ₁ (L/min)	Q ₂ (L/min)	Rotámetro 3	H _{Total} = (0.006Q _{R3} - 0.8514Q _{R3} + 20.079)-HL		Pérdida de carga
1	21.3	21.3	42.6	3.10		1.57
2	20	20	40	3.72		1.73
3	18.33	18.33	36.66	5.06		1.43
4	16.6	16.6	33.2	6.30		1.3

Fuente: Elaboración propia.

En la **figura 16** se obtuvo la gráfica de la curva experimental de las bombas cuando operan en arreglo en paralelo, es importante tener en cuenta que la gráfica de bombas periféricas en paralelo no será una línea recta perfecta, ya que existen limitaciones y características propias de las bombas periféricas. Algunos factores que pueden afectar la relación entre el caudal y la altura dinámica en la gráfica incluyen las curvas características de las bombas.

En esta gráfica se muestran las curvas de altura dinámica en función del caudal de bombeo correspondientes a bombas periféricas y al arreglo en paralelo. Se observa que, en ambas curvas, al incrementarse el caudal, la altura dinámica disminuye. Para el arreglo en paralelo (línea punteada azul), la curva se muestra desplazada en el eje del caudal, por ser acumulativo, pero la altura dinámica disminuye casi al mismo ritmo que de la curva característica de cada bomba periférica.

Figura 16. Representación gráfica de curva experimental en arreglo en paralelo.



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

En la **tabla 7** se muestra los porcentajes de error que se obtuvo con el arreglo en paralelo de la batería de bombeo, cuando se utilizaron bombas con arreglo en paralelo de máquinas iguales, es de esperar que el porcentaje de error de caudal sea menor en comparación con un arreglo en paralelo de máquinas diferentes. Esto se debe a que las bombas idénticas tienen características de rendimiento similares y, en teoría, deberían proporcionar resultados más consistentes.

Al utilizar bombas iguales en paralelo, se minimiza el efecto de las diferencias individuales entre las bombas, como la eficiencia, la curva de caudal-presión y las pérdidas internas. Además, las bombas iguales tienden a funcionar de manera más equilibrada y tienen una mayor probabilidad de compartir la carga de manera uniforme.

Sin embargo, aunque las bombas sean iguales, aún pueden existir ciertos factores que contribuyan al porcentaje de error. Algunos de estos factores pueden incluir:

- Pequeñas variaciones de fabricación: Incluso con bombas idénticas, puede haber ligeras diferencias de fabricación que afecten el rendimiento, aunque estas diferencias suelen ser mínimas.
- Pérdidas de carga: Las diferencias en las tuberías, válvulas y accesorios, así como las condiciones de flujo, generan diferentes pérdidas de carga.
- Mantenimiento y desgaste: A lo largo del tiempo, el desgaste y el mantenimiento desigual pueden conducir a diferencias en el rendimiento de las bombas, incluso si fueron inicialmente idénticas.

Tabla 7. Porcentaje de error de las bombas con arreglo en paralelo.

Resultados de Bombas con arreglo en paralelo						
Nº	Q Total Teórico (L/min)	Q Total Experimental (L/min)	% Error	H _{Total} (m) Teórico	H _{Total} (m) Experimental	% Error
1	42.60	42.60	0.00%	4.67	3.10	33.65%
2	40.00	40.00	0.00%	5.45	3.72	31.74%
3	36.66	36.66	0.00%	6.49	5.06	22.04%
4	33.20	33.20	0.00%	7.60	6.30	17.11%

Fuente: Elaboración propia.

En la **tabla 8**, se muestran los porcentajes de error de las bombas en configuración en serie, en un arreglo de bombas en serie de máquinas iguales, el porcentaje de error en la presión tiende a ser bajo.

Como las bombas son idénticas, se espera que tengan características de comportamiento similares, incluida la capacidad para generar altura dinámica. En el arreglo en serie, la presión se acumula a medida que el fluido pasa por cada bomba sucesivamente. Dado que las bombas son iguales, se obtuvo de manera similar al aumento de la altura dinámica, lo que reduce la probabilidad de errores significativos.

El porcentaje de error aumenta con influencia de las pérdidas de carga: A diferencia de un arreglo en paralelo, en un arreglo en serie, las pérdidas de carga se suman a medida que el fluido atraviesa cada bomba y las tuberías que recorre en el sistema.

Tabla 8. Porcentaje de error de las bombas con arreglo en serie.

Resultados de Bombas con arreglo en serie						
Nº	H _{Total} (m)	H _{Total} (m)	% Error	Q Total Teórico	Q Total Experimental	% Error
	Teórico	Experimental		(L/min)	(L/min)	
1	9.33	7.55	19.07%	42.60	42.60	0.00%
2	10.90	9.30	14.68%	40.00	40.00	0.00%
3	12.98	11.48	11.56%	36.66	36.66	0.00%
4	15.11	13.57	10.19%	33.20	33.20	0.00%

Fuente: Elaboración propia.

En resumen, aunque el porcentaje de error en el caudal de las bombas en paralelo y la altura dinámica de las bombas en serie de máquinas iguales tiende a ser menor en comparación con máquinas diferentes, aún pueden existir algunas variaciones debido a factores como pequeñas diferencias de fabricación, pérdidas de carga y mantenimiento desigual.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

- Se logró diseñar la batería de bombeo con arreglos en serie y paralelo, ajustándose al espacio disponible en el laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP.
- Se ha construido y ensamblado exitosamente el módulo de la batería de ensayos de bombas en serie y paralelo, listo para su implementación en el laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP.
- La puesta en funcionamiento de la batería de bombeo en arreglos en serie y paralelo ha permitido obtener las curvas características, brindando la oportunidad de observar el comportamiento real de las bombas acopladas en serie o paralelo.
- Se ha representado de manera precisa el diagrama de flujo de la batería de bombeo, facilitando la comprensión del sistema y su funcionamiento en el laboratorio.
- Mediante la identificación de las variables de proceso relevantes, se ha determinado qué factores influyen en el comportamiento de la batería de bombeo en serie y paralelo, contribuyendo a un mejor entendimiento de su desempeño.
- Se ha elaborado una guía de operación detallada para asegurar el correcto funcionamiento del sistema de bombeo en serie y en paralelo en el laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP, garantizando así un uso eficiente y seguro del equipo.

CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar otros estudios en el equipo modular, utilizando otras bombas de máquinas diferentes y de diferentes potencias.
- Es aconsejable asegurarse de contar con una toma de corriente exclusiva y ubicada en las proximidades de la electrobomba al instalar el equipo modular en el Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la Facultad de Ingeniería Química (FIQ) de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP).
- Se recomienda leer la guía de operación de la batería de bombeo, de esta forma se podrá conocer el correcto funcionamiento.
- Se recomienda realizar la toma de mediciones de caudal y presión después de 5 minutos de haberse puesto en marcha, con el propósito de que el flujo se estabilice y evitar errores de medición.
- Se recomienda que el equipo sólo trabaje con agua, ya que las bombas (equipo de proceso) fueron diseñadas para ese tipo de fluido.
- Se recomienda que se opere el equipo por máximo de tiempo continuo de 20 minutos por 15 minutos de descanso.

CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN

- AMORES SILVA, Ivette, CHÁVEZ ESTRADA, Miriam y MIRANDA RAMOS, Mónica. Diseño, implementación y control para un banco de pruebas con bombas centrífugas en conexión serie y paralelo [en línea]. Enero-junio 2018. n° 22. [Fecha de consulta: 13 de mayo de 2021]. Disponible en: https://www.sepi.esimez.ipn.mx/manuscritos/V22N1_051_059.pdf. ISSN: 1665-0654.
- AGUILAR TORRES, Rodrigo Eduardo y VENTURA GÓMEZ, Harold Yuri. Diseño y construcción de un módulo de laboratorio para el estudio experimental del comportamiento de bombas hidráulicas en serie y paralelo. Tesis (Título en Ingeniería Mecánica Eléctrica). Puno: Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, electrónica y Sistemas. 02 de febrero 2017. 132 pp.
- ANDRADE, C. de L.T. de., ALLEN, R.G. y WELLS, R.D., 2001. PUMPCOM: um modelo para combinação de curvas e análise do desempenho de bombas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental [en línea], vol. 5, no. 3, pp. 403-410. ISSN 1415-4366. DOI 10.1590/S1415-43662001000300007. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662001000300007>.
- BERGADA, J.M.; JIMENEZ DE ANTA, B y ALCALA, L. Características de Funcionamiento de los Sistemas Hidráulicos de una Fuente de Agua. Inf. tecnol. [online]. 2004, vol.15, n.3 [citado 2022-08-10], pp.9-17. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642004000300002&lng=es&nrm=iso. ISSN 0718-0764. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642004000300002>.

- CAJO SOLANO, Sonia Alexandra y LÓPEZ LÓPEZ, Lorena Elizabeth. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA DETERMINACION DE LA EFICIENCIA DE BOMBAS CENTRIFUGAS DOMICILIARIAS. Tesis (Título en Ingeniería Química). Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química. 2012. 124 pp.
- CARNICER ROYO, Enrique y MAINAR HASTA, Concepción. BOMBAS CENTRÍFUGAS. Madrid: PARANINFO, 2001. 119 pp. ISBN: 8428322430.
- CAMARGO, Carlos; GARCIA, Carlos; DUARTE, Jorge y RINCON, Adriana. Modelo estadístico para la caracterización y optimización en bombas periféricas. Ing. Desarro. [online]. 2018, vol.36, n.1 [cited 2022-19-10], pp.18-39. Available from: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-34612018000100018&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0122-3461. <https://doi.org/10.14482/inde.36.1.10939>.
- CENGEL, Yunus A. Transferencia de calor y masa. Un enfoque práctico. 3.^a ed. México: Mc Graw Hill, 2007. 901 pp. ISBN: 9789701061732
- DE LAS HERAS JIMÉNEZ, Salvador. Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas. Catalunya: Universitat Politècnica De Catalunya Iniciativa Digital Politècnica. 2011. 417 pp. ISBN: 9788476538937.
- GEANCOPOLIS, Christie John. Procesos de Transporte y Principios de Procesos de Separación. 4ta ed. México: CESCO, 2006. 1034 pp. ISBN: 9702408563.
- HICKS, Tyler Gregory. BOMBAS, SELECCIÓN Y APLICACIÓN. México: CONTINENTAL, 1988. ISBN: 9789682609077.
- MARBELLO, Ramiro. Funcionamiento de bombas rotodinámicas. Medellín, Colombia: Facultad de Minas, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, 2018. pp. 91-92.

- MORENO-TAMAYO, Ignacio David et al. Performance of the Centrifugal Pump of Double Suction using the Computational Fluid Dynamics Method. Rev Cie Téc Agr [online]. 2021, vol.30, n.2 [citado 2022-05-10], e05. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542021000200005&lng=es&nrm=iso>. Epub 01-Abr-2021. ISSN 2071-0054.
- MARBELLO, Ramiro. Funcionamiento de bombas rotodinámicas. Medellín, Colombia: Facultad de Minas, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, 2018. pp. 91-92.
- MARTINEZ VALDES, Yaset y RIANO VALLE, Félix. Deducción analítica de las curvas características de las bombas rotodinámicas en serie. riha [online]. 2018, vol.39, n.1 [citado 2023-05-10], pp.98-111. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382018000100008&lng=es&nrm=iso>. ISSN 1680-0338.
- MARTINEZ-BLANCO, Isidro Antonio et al. Application of Fluid Dynamics to the Design of the Centrifugal Pump Model BSC 80/200 (130-65). Rev Cie Téc Agr [online]. 2021, vol.30, n.4 [citado 2023-05-10], e05. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542021000400005&lng=es&nrm=iso>. Epub 01-Dic-2021. ISSN 2071-0054.
- Mecánica de Fluidos por Terán H. Héctor C. [et al.]. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2018. 121 pp. ISBN: 9789942765277.
- MOTT, Robert L. Mecánica de fluidos. 6a. ed. México: Pearson Educación, S.A, de C.V., 2006. pp. 798. ISBN: 970-26-0805-8.
- MOTT, Robert L. Mecánica de fluidos. 7a. ed. México: Pearson

Educación, S.A, de C.V., 2015.

ISBN: 978-607-32-3288-3.

- SALINAS DE SANTILLANA, Julia y SANTILLANA SOTO, Jaime. Mecánica de Fluidos Para Ingenieros de Procesos. Lima: EDUNI, 2018. 470 pp. ISBN: 9786124396083.
- VILLARREAL LÓPEZ, William Joseph. DISEÑO DE UN BANCO PARA ENSAYO DE BOMBAS EN SERIE Y PARALELO. Tesis (Título en Ingeniería Química). Santiago de Cali: Universidad Autónoma de Occidente, Facultad de Ingeniería, Departamento de Energética y Mecánica, Programa Ingeniería Mecánica. 2008. 110 pp.
- VIEJO ZUBICARAY, Manuel. Bombas: Teoría Diseño y Aplicaciones. México: LIMUSA, 2006. 290 pp. ISBN: 9681864433.

ANEXOS

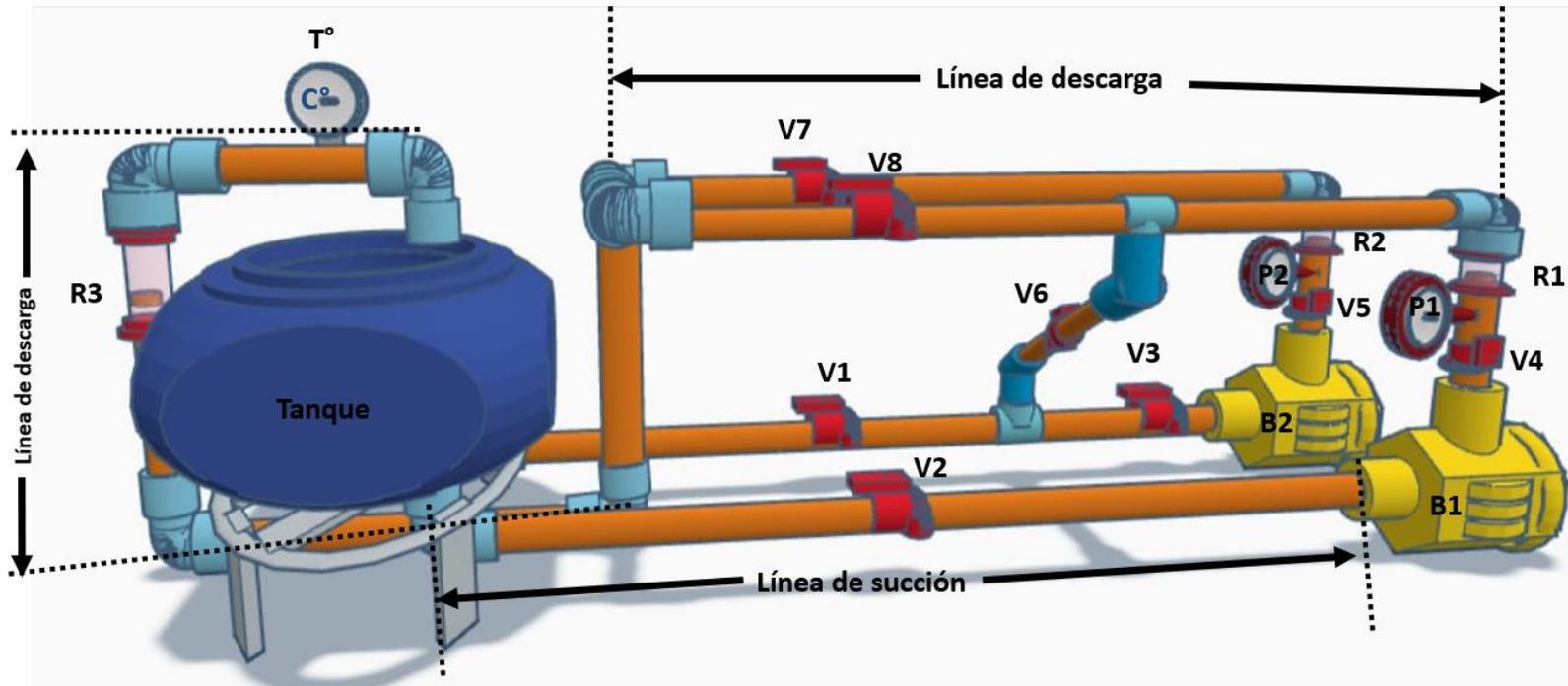
Anexo 1. Longitudes equivalentes de algunos accesorios

Tabla 1. Resistencia de válvulas y accesorios expresadas como longitud equivalente.

Tipo	Relación de longitud equivalente L_e/D
Válvula de globo totalmente abierta	340
- abierta al 75 %	350
- abierta al 50 %	475
- abierta al 25 %	815
Unión universal	2
Codo estándar de 90°	30
Codo estándar de 45°	16
Te estándar – con flujo por la línea principal	20
Te estándar – con flujo por la ramificación	60

Fuente: Geancopolis, 2006.

Anexo 2. Diagrama del equipo modular.

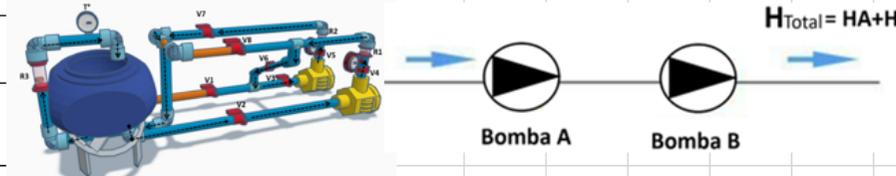


Anexo 3. Hojas de cálculos Microsoft Excel

Archivo Inicio Insertar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Ayuda ¿Qué desea hacer?

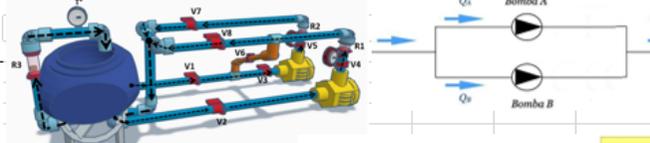
E16 $=(((0.006)*(H16^2))-(0.8514*H16)+20.079)-I16$

Bombas con Arreglo en Serie						
N°	Bomba 1 Q1(L/min)	Bomba 2 Q2(L/min)	Q _{Total} (L/min) Rotámetro 3	H _{Total} (m) $H_{Total} = (0.012Q2R3 - 1.7028QR3 + 40.158) - HL$	HL (m)	Pérdida de carga
1	21.30	21.30	21.30	7.55	1.78	
2	20.00	20.00	20.00	9.30	1.60	
3	18.33	18.33	18.33	11.48	1.50	
4	16.67	16.67	16.67	13.57	1.54	

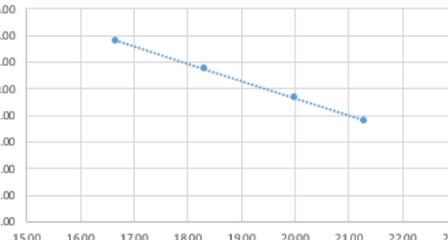


$H_{Total} = HA + HB$

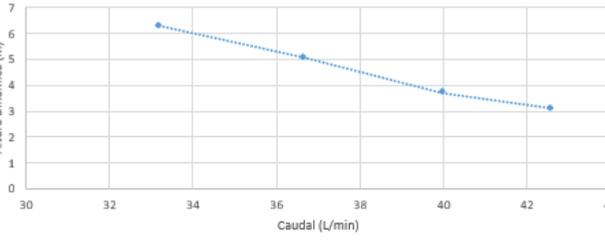
Bombas con Arreglo en Paralelo						
N°	Bomba 1 Q1(L/min)	Bomba 2 Q2(L/min)	Q _{Total} (L/min) Rotámetro 3	H _{Total} (m) $H_{Total} = (0.006Q2R3 - 0.8514QR3)$	HL (m)	Pérdida de carga
1	21.3	21.3	42.6	3.10	21.3	1.57
2	20	20	40	3.72	20	1.73
3	18.33	18.33	36.66	5.06	18.33	1.43
4	16.6	16.6	33.2	6.30	16.6	1.3

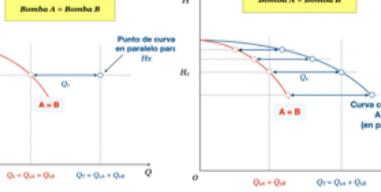


Curva experimental con arreglo en serie



Curva teórica con arreglo en Paralelo





Activar Windows
Ve a Configuración para activar Windows.

... A.Serie Experimental A. Paralelo Experimntal **Arreglos serie y paral** Discusion Hoja9 Hc ...

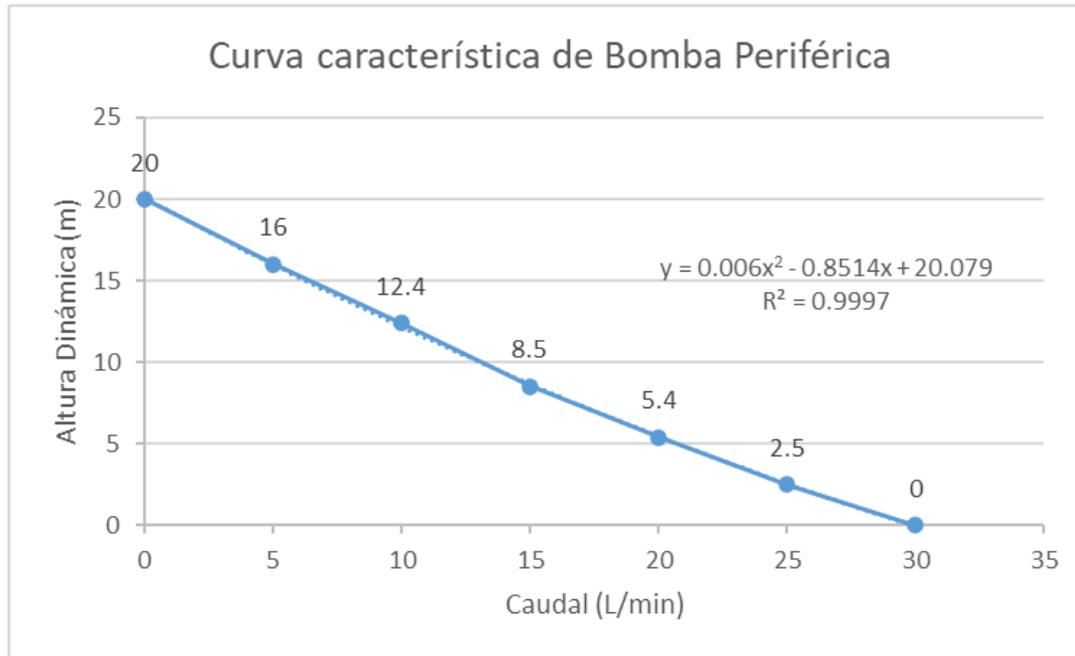
Anexo 4. Tabla de registro de datos de la batería de bombeo con arreglo en serie.

Bombas con Arreglo en Serie										
N°	Q ₁ (L/min) Rotámetro 1	Q ₂ (L/min) Rotámetro 2	Q _{Total} (L/min) Rotámetro 3	Temperatura (°C)	Instrumentos de control					
					Presión de manómetros (Bar)		Intensidad Eléctrica (A)		Voltaje (V)	
					Bomba 1	Bomba 2	Bomba 1	Bomba 2	Bomba 1	Bomba 2
1	21.3	21.3	21.3	29	1.9	2.3	1.3	1.3	232	234
2	20	20	20	29	1.8	2	1.3	1.2	232	235
3	18.33	18.33	18.33	29	1.5	1.9	1	1.3	233	233
4	16.67	16.67	16.67	29	1.4	1.6	1.3	1.3	232	232

Anexo 5. Tabla de registro de datos de la batería de bombeo con arreglo en paralelo.

Bombas con Arreglo en Paralelo										
N°	Q ₁ (L/min) Rotámetro 1	Q ₂ (L/min) Rotámetro 2	Q _{Total} (L/min) Rotámetro 3	Temperatura (°C)	Instrumentos de control					
					Presión de manómetros (Bar)		Intensidad Eléctrica (A)		Voltaje (V)	
					Bomba 1	Bomba 2	Bomba 1	Bomba 2	Bomba 1	Bomba 2
1	21.3	21.3	42.6	29	1.9	1.9	1.3	1.3	232	234
2	20	20	40	29	1.8	1.85	1.3	1.4	232	235
3	18.33	18.33	36.66	29	1.5	1.51	1.3	1.3	232	232
4	16.6	16.6	33.2	29	1.4	1.4	1.3	1.3	232	232

Anexo 6. Curva característica de Bomba Periférica utilizada en la batería de bombeo.



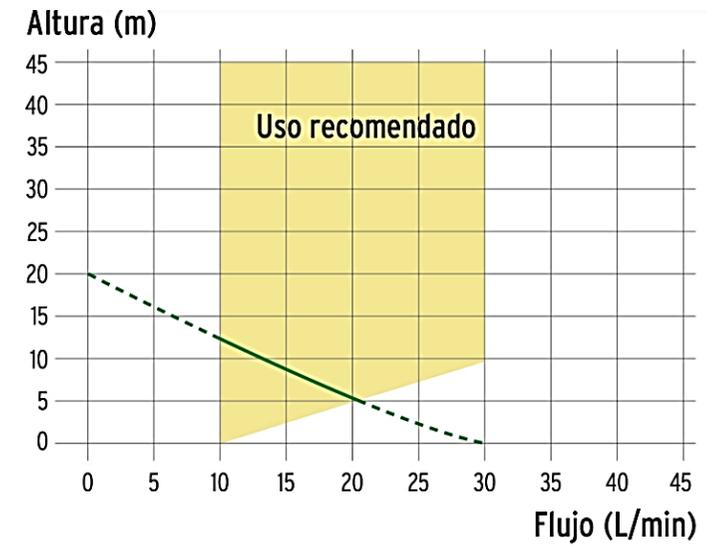
Para una bomba: $H = 0.006Q^2 - 0.8514Q + 20.079$

Arreglo en Serie: $H = n (0.006Q^2 - 0.8514Q + 20.079)$

Arreglo en Paralelo: $H = 0.006\frac{Q^2}{n^2} - 0.8514\frac{Q}{n} + 20.079$

Donde:

n: Número de máquinas iguales acoplada en el sistema en serie o paralelo.



Anexo 7. Ficha técnica de bombas periféricas utilizadas.



PRETUL®

CÓDIGO: 27019 CLAVE: BOAP-1/2P3

Bomba periférica 1/2 HP, Pretul

- Genera mayor presión y sube el agua a una mayor altura
- Altura máxima: **20 m**
- Flujo máximo: **30 L/min**
- Profundidad máxima de succión: **8 m**
- Se utiliza cuando se requiere subir el agua a lugares altos (arriba de 15 m aproximadamente). Puede ser usada con sistemas hidroneumáticos para incrementar la presión

USO AGRÍCOLA*
Sin I.V.A.



Capacitor para mayor potencia al arranque



Impulsor de latón



Balero metálico

Certificaciones y garantías

- Cumple con la norma NOM-003-SCFI



Especificaciones

Potencia	1/2 HP
Altura máxima	20 m
Flujo máximo	30 L/min
Profundidad máxima de succión	8 m
Diámetro de Entrada / Salida	1" NPT
Velocidad	3,450 rpm
Material del embobinado de motor	Aluminio
Ciclo de trabajo	20 minutos de trabajo por 15 minutos de descanso. Máximo diario 6 horas
Tensión /Frecuencia	220 V / 60 Hz
Consumo	3 A
Dimensiones (Base x Altura x Fondo)	12 x 15 x 24 cm
Peso	3.4 kg
Empaque individual	Caja

Refacciones y/o accesorios disponibles en catálogo (no incluidas)

Código	Clave	Descripción
28255	CJ-BOAP-1/2P3	Caja de empaque de repuesto para BOAP-1/2P3, Pretul

Imágenes complementarias

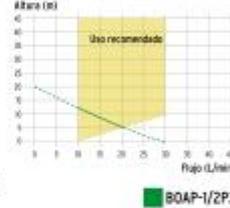


Funcionamiento



Curva de rendimiento

Para una mejor selección de acuerdo a sus necesidades compare el rendimiento entre altura y flujo que brinda cada uno de los modelos.



Recomendaciones

- Instalar las bombas en lugares cubiertos.
- Secos y bien ventilados.
- En ambientes cuya temperatura no sobrepase los 40° C.
- Llenar por completo la bomba con agua limpia antes de encender por primera vez.
- Colocar las bombas en posición horizontal en lugares planos y sujetarlas con tornillos.



Imágenes complementarias



Anexo 8. Vista de la batería de bombeo



Anexo 9. Pérdidas de carga primarias y secundarias en arreglos en serie y paralelo.

-Pérdidas de carga en configuración en serie:

Datos del Fluido		m ³ /seg			
Q= 21.3 l/min	=	0.000355	D.pulgada	D. metros	Área
g= 9.81 m/s ²			1"	0.0254	0.000506707
μ = 0.000894 kg/m.s			1 1/4 "	0.03175	0.00079173
ρ = 997 kg/m ³			Longitud total en arreglo en serie : 540.5cm		
ε plástico = 0.0000015 m					

N° de componente	Componente	Área(m ²)	V(m/s)	D(m)	L(m)	Re	ε/D	f	Pérdida de carga (m)	$h_L = f \frac{L v^2}{D 2g}$
1	Longitud de 5.405 m de 1"	0.000506707	0.700601606	0.0254	5.405	19845.52009	5.906E-05	2.601E-02	0.138476304	

N° de componente	Componente	Área(m ²)	V(m/s)	D(m)	Leq/D _{eq}	Re	ε/D	f	Pérdida de carga (m)	$h_L = f \frac{L v^2}{D 2g}$
9	Codo de 90° de 1"	0.000506707	0.700601606	0.0254	30	19845.52009	5.906E-05	2.601E-02	0.175702219	
2	Codo de 45° de 1"	0.000506707	0.700601606	0.0254	16	19845.52009	5.906E-05	2.601E-02	0.020823967	
5	Valvula globo de 1"(abierto 100%)	0.000506707	0.700601606	0.0254	340	19845.52009	5.906E-05	2.601E-02	1.106273231	
2	T de 1" por lateral	0.000506707	0.700601606	0.0254	60	19845.52009	5.906E-05	2.601E-02	0.078089875	
1	T de 1" por principal	0.000506707	0.700601606	0.0254	20	19845.52009	5.906E-05	2.601E-02	0.013014979	
10	Union universal de 1"	0.000506707	0.700601606	0.0254	2	19845.52009	5.906E-05	2.601E-02	0.013014979	

N° de componente	Componente	Área(m ²)	V(m/s)	D(m)	K	Re	ε/D	f	Pérdida de carga (m)	$h_L = k \frac{v^2}{2g}$
3	Ampliación de 1" a 1 1/4"	0.700601606			0.1296				0.009726789	
3	Reducción de 1 1/4" a 1"	0.700601606			0.1296				0.009726789	
3	Rotámetro	0.700601606			2.5				0.187630967	
1	Entrada de succión de tanque	0.700601606			1				0.025017462	
Σh_L=									1.78	

Datos del Fluido		m ³ /seg			
Q= 20 L/min	=	0.000333333	D.pulgada	D. metros	Área(m ²)
g= 9.81 m/s ²			1"	0.0254	0.0005067
μ = 0.000894 kg/m.s			1 1/4 "	0.03175	0.0007917
ρ = 997 kg/m ³			Longitud total en arreglo en serie : 540.5cm		
ε plástico = 0.0000015 m					

N° de componente	Componente	Área(m ²)	V(m/s)	D(m)	L(m)	Re	ε/D	f	Pérdida de carga (m)	$h_L = f \frac{L v^2}{D 2g}$
1	Longitud de 5.405 m de 1"	0.000506707	0.6578412	0.0254	5.405	18634.273	5.906E-05	2.642E-02	0.124011942	

N° de componente	Componente	Área(m ²)	V(m/s)	D(m)	Leq/D _{eq}	Re	ε/D	f	Pérdida de carga (m)	$h_L = f \frac{L v^2}{D 2g}$
9	Codo de 90° de 1"	0.000506707	0.6578412	0.0254	30	18634.273	5.906E-05	2.642E-02	0.157349472	
2	Codo de 45° de 1"	0.000506707	0.6578412	0.0254	16	18634.273	5.906E-05	2.642E-02	0.018648826	
2	Valvula globo de 1"(abierto 75%)	0.000506707	0.6578412	0.0254	350	18634.273	5.906E-05	2.642E-02	0.407943076	
3	Valvula globo de 1"(abierto 100%)	0.000506707	0.6578412	0.0254	340	18634.273	5.906E-05	2.642E-02	0.594431339	
2	T de 1" por lateral	0.000506707	0.6578412	0.0254	60	18634.273	5.906E-05	2.642E-02	0.069933099	
1	T de 1" por principal	0.000506707	0.6578412	0.0254	20	18634.273	5.906E-05	2.642E-02	0.011655516	
10	Union universal de 1"	0.000506707	0.6578412	0.0254	2	18634.273	5.906E-05	2.642E-02	0.011655516	

N° de componente	Componente	Área(m ²)	V(m/s)	D(m)	K	Re	ε/D	f	Pérdida de carga (m)	$h_L = k \frac{v^2}{2g}$
3	Ampliación de 1" a 1 1/4"	0.6578412			0.1296				0.008575697	
3	Reducción de 1 1/4" a 1"	0.6578412			0.1296				0.008575697	
3	Rotámetro	0.6578412			2.5				0.165426253	
1	Entrada de succión de tanque	0.6578412			1				0.02	
Σh_L=									1.60	

Datos del Fluido		m ³ /seg			
Q= 18.33 L/min	=	0.0003055	D.pulgada	D. metros	Área
g= 9.81 m/s ²			1"	0.0254	0.00050671
μ = 0.000894 kg/m.s			1 1/4 "	0.03175	0.00079173
ρ = 997 kg/m ³			Longitud total en arreglo en serie : 540.5cm		
ε plástico = 0.0000015 m					

N° de componente	Componente	Área(m ²)	V(m/s)	D(m)	L(m)	Re	ε/D	f	Pérdida de carga (m)	$h_L = f \frac{L v^2}{D 2g}$
1	Longitud de 5.405 m de 1"	0.00050671	0.60291209	0.0254	5.405	17078.3279	5.906E-05	2.701E-02	0.106470266	

N° de componente	Componente	Área(m ²)	V(m/s)	D(m)	Leq/D _{eq}	Re	ε/D	f	Pérdida de carga (m)	$h_L = f \frac{L v^2}{D 2g}$
9	Codo de 90° de 1"	0.00050671	0.60291209	0.0254	30	17078.3279	5.906E-05	2.701E-02	0.135092153	
2	Codo de 45° de 1"	0.00050671	0.60291209	0.0254	16	17078.3279	5.906E-05	2.701E-02	0.016010922	
2	Valvula globo de 1"(abierto 50%)	0.00050671	0.60291209	0.0254	475	17078.3279	5.906E-05	2.701E-02	0.47532424	
3	Valvula globo de 1"(abierto 100%)	0.00050671	0.60291209	0.0254	340	17078.3279	5.906E-05	2.701E-02	0.510348132	
2	T de 1" por lateral	0.00050671	0.60291209	0.0254	60	17078.3279	5.906E-05	2.701E-02	0.060040957	
1	T de 1" por principal	0.00050671	0.60291209	0.0254	20	17078.3279	5.906E-05	2.701E-02	0.010006826	
10	Union universal de 1"	0.00050671	0.60291209	0.0254	2	17078.3279	5.9055E-05	2.701E-02	0.010006826	

N° de componente	Componente	Área(m ²)	V(m/s)	D(m)	K	Re	ε/D	f	Pérdida de carga (m)	$h_L = k \frac{v^2}{2g}$
3	Ampliación de 1" a 1 1/4"	0.60291209			0.1296				0.007203362	
3	Reducción de 1 1/4" a 1"	0.60291209			0.1296				0.007203362	
3	Rotámetro	0.60291209			2.5				0.13895374	
1	Entrada de succión de tanque	0.60291209			1				0.02	
Σh_L=									1.50	

Datos del Fluido		m³/seg		
Q= 16.6 L/min	0.00027667	D.pulgada	D. metros	Área
g= 9.81 m/s²		1"	0.0254	0.00050671
μ = 0.000894 kg/m.s		1 1/4 "	0.03175	0.00079173
ρ = 997 kg/m³		Longitud total en arreglo en serie : 540.5cm=		
ε plástico = 0.000015 m				

Nº de componente	Componente	Área(m²)	V(m/s)	D(m)	L(m)	Re	ε/D	f	Pérdida de carga (m)	$h_L = f \frac{L v^2}{D 2g}$
1	Longitud de 5.405 m de 1"	0.00050671	0.54600883	0.0254	5.405	15466.4635	5.906E-05	2.770E-02	0.089549644	
Nº de componente	Componente	Área(m²)	V(m/s)	D(m)	Leq/D _{eq} o K	Re	ε/D	f	Pérdida de carga (m)	$h_L = f \frac{L v^2}{D 2g}$
9	Codo de 90° de 1"	0.00050671	0.54600883	0.0254	30	15466.4635	5.906E-05	2.770E-02	0.113622842	
2	Codo de 45° de 1"	0.00050671	0.54600883	0.0254	16	15466.4635	5.906E-05	2.770E-02	0.013466411	
2	Valvula globo de 1" (abierto 25%)	0.00050671	0.54600883	0.0254	815	15466.4635	5.906E-05	2.770E-02	0.685945306	
3	Valvula globo de 1" (abierto 100%)	0.00050671	0.54600883	0.0254	340	15466.4635	5.906E-05	2.770E-02	0.429241848	
2	T de 1" por lateral	0.00050671	0.54600883	0.0254	60	15466.4635	5.906E-05	2.770E-02	0.050499041	
1	T de 1" por principal	0.00050671	0.54600883	0.0254	20	15466.4635	5.906E-05	2.770E-02	0.008416507	
10	Union universal de 1"	0.00050671	0.54600883	0.0254	2	15466.4635	5.9055E-05	2.770E-02	0.008416507	
Nº de componente	Componente	Área(m²)	V(m/s)	D(m)	K	Re	ε/D	f	Pérdida de carga (m)	$h_L = k(v^2/2g)$
3	Ampliación de 1" a 1 1/4"		0.54600883		0.1296				0.005907811	
3	Reducción de 1 1/4" a 1"		0.54600883		0.1296				0.005907811	
3	Rotámetro		0.54600883		2.5				0.113962401	
1	Entrada de succión de tanque		0.54600883		1				0.02	
									ΣhL=	1.54

-Pérdidas de carga en configuración en Paralelo:

Datos del Fluido		m³/seg		
Q1=Q2= 21.3 L/min	0.000355	D.pulgada	D. metros	Área
Qtotal= 42.6 L/min	0.00071	1"	0.0254	0.0005067
g= 9.81 m/s²		1 1/4 "	0.03175	0.0007917
μ = 0.000894 kg/m.s		Longitud total en arreglo en paralelo : 619.5 cm		
ρ = 997 kg/m³				
ε plástico = 0.000015 m				

Nº de componente	Componente	Área(m²)	V(m/s)	D(m)	L(m)	Re	ε/D	f	Pérdida de carga (m)	$h_L = f \frac{L v^2}{D 2g}$
1	Longitud de 4.275 m de 1"	0.0005067	0.7006016	0.0254	6.195	19845.52	5.906E-05	2.601E-02	0.158716134	
1	Longitud de 1.92 m de 1"	0.0007917	1.4012032	0.03175	7.195	49613.8	4.724E-05	2.099E-02	0.475989902	
Nº de componente	Componente	Área(m²)	V(m/s)	D(m)	Leq/D _{eq} o K	Re	ε/D	f	Pérdida de carga (m)	$h_L = f \frac{L v^2}{D 2g}$
8	Codo de 90° de 1"	0.0005067	0.7006016	0.0254	30	19845.52	5.906E-05	2.601E-02	1.952E-02	
4	Codo de 90° de 1"	0.0005067	1.4012032	0.0254	30	39691.04	5.906E-05	2.210E-02	6.634E-02	
7	Valvula globo de 1" (abierto al 100%)	0.0005067	0.7006016	0.0254	340	19845.52	5.906E-05	2.601E-02	2.213E-01	
7	Union universal de 1"	0.0005067	0.7006016	0.0254	2	19845.52	5.906E-05	2.601E-02	0.009110485	
1	T de 1" por lateral	0.0005067	1.4012032	0.0254	60	39691.04	5.906E-05	2.210E-02	1.327E-01	
4	Union universal de 1"	0.0005067	1.4012032	0.0254	2	39691.04	5.906E-05	2.210E-02	0.017688988	
Nº de componente	Componente	Área(m²)	V(m/s)	D(m)	K	Re	ε/D	f	Pérdida de carga (m)	$h_L = k(v^2/2g)$
2	Ampliación de 1" a 1 1/4"		0.7006016		0.1296				0.006484526	
2	Reducción de 1 1/4" a 1"		0.7006016		0.1296				0.006484526	
2	Rotámetro		0.7006016		2.5				0.125087312	
1	Ampliación de 1" a 1 1/4"		1.4012032		0.1296				0.012969052	
1	Reducción de 1 1/4" a 1"		1.4012032		0.1296				0.012969052	
1	Rotámetro		1.4012032		2.5				0.250174623	
2	Entrada de succión de tanque		0.7006016		1				0.050034925	
									ΣhL=	1.57

Datos del Fluido		m³/seg		
Q1=Q2= 20L/min	0.0003333	D.pulgada	D. metros	Área
Qtotal= 40 L/min	0.0006667	1"	0.0254	0.0005067
g= 9.81 m/s²		1 1/4 "	0.03175	0.0007917
μ = 0.000894 kg/m.s		Longitud total en arreglo en paralelo : 619.5 cm		
ρ = 997 kg/m³				
ε plástico = 0.000015 m				

Nº de componente	Componente	Área(m²)	V(m/s)	D(m)	L(m)	Re	ε/D	f	Pérdida de carga (m)	$h_L = f \frac{L v^2}{D 2g}$
1	Longitud de 4.275 m de 1"	0.0005067	0.6578412	0.0254	6.195	18634.273	5.906E-05	2.642E-02	0.142137646	
1	Longitud de 1.92 m de 1"	0.0007917	1.3156844	0.03175	7.195	46585.751	4.724E-05	2.128E-02	0.425497524	
Nº de componente	Componente	Área(m²)	V(m/s)	D(m)	Leq/D _{eq} o K	Re	ε/D	f	Pérdida de carga (m)	$h_L = f \frac{L v^2}{D 2g}$
8	Codo de 90° de 1"	0.0005067	0.6578412	0.0254	30	18634.273	5.906E-05	2.642E-02	1.748E-02	
4	Codo de 90° de 1"	0.0005067	1.3156844	0.0254	30	37268.601	5.906E-05	2.241E-02	5.932E-02	
2	Valvula globo de 1" (abierto al 75%)	0.0005067	0.6578412	0.0254	350	18634.273	5.906E-05	2.642E-02	2.040E-01	
5	Valvula globo de 1" (abierto al 100%)	0.0005067	0.6578412	0.0254	340	18634.273	5.906E-05	2.642E-02	0.19814378	
7	Union universal de 1"	0.0005067	0.6578412	0.0254	2	18634.273	5.906E-05	2.642E-02	8.159E-03	
1	T de 1" por lateral	0.0005067	1.3156844	0.0254	60	37268.601	5.906E-05	2.241E-02	0.118641795	
4	Union universal de 1"	0.0005067	1.3156844	0.0254	2	37268.601	5.906E-05	2.241E-02	0.015818906	
Nº de componente	Componente	Área(m²)	V(m/s)	D(m)	K	Re	ε/D	f	Pérdida de carga (m)	$h_L = k(v^2/2g)$
2	Ampliación de 1" a 1 1/4"		0.6578412		0.1296				0.005717131	
2	Reducción de 1 1/4" a 1"		0.6578412		0.1296				0.005717131	
2	Rotámetro		0.6578412		2.5				0.110284169	
1	Ampliación de 1" a 1 1/4"		1.3156844		0.1296				0.011434297	
1	Reducción de 1 1/4" a 1"		1.3156844		0.1296				0.011434297	
1	Rotámetro		1.3156844		2.5				0.220569	
2	Entrada de succión de tanque		1.3156844		1				0.18	
									ΣhL=	1.73

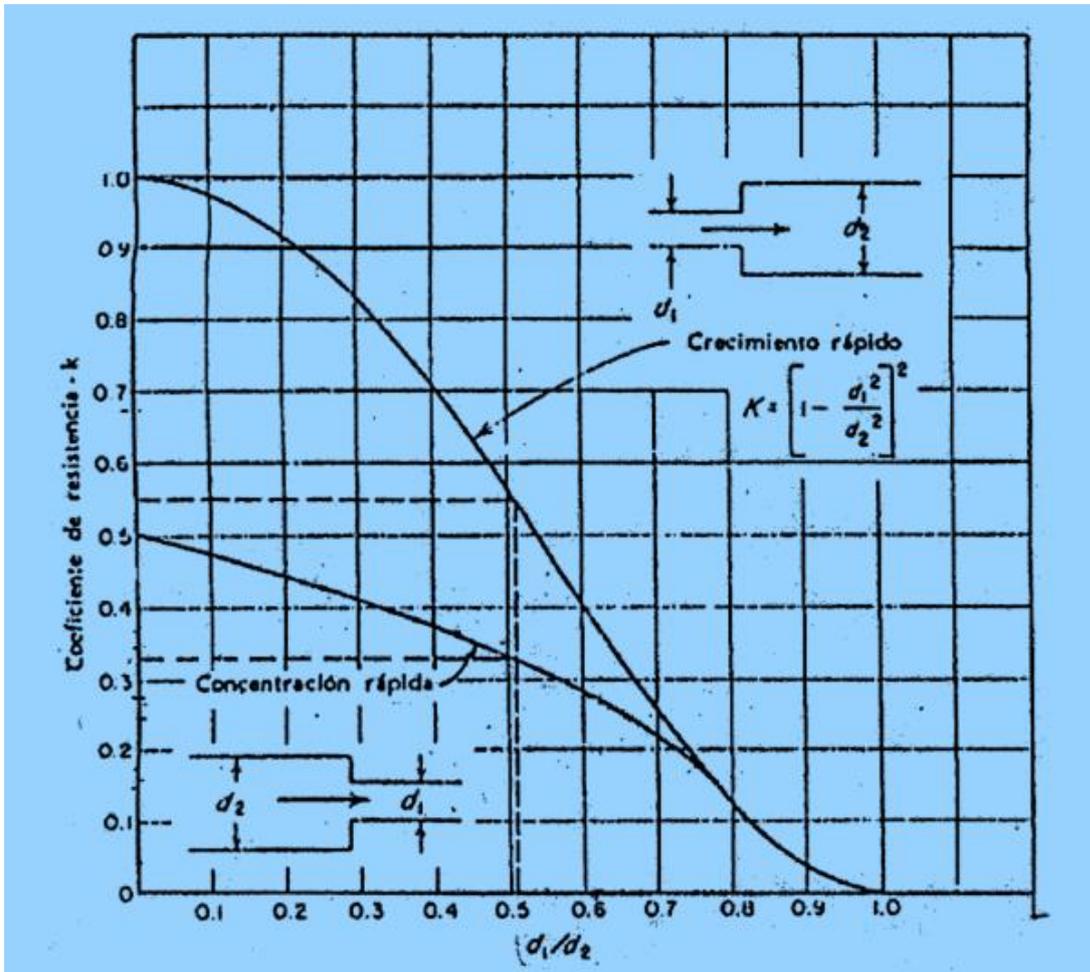
Datos del Fluido		m3/seg	D.pulgada	D. metros	Área
Q1=Q2=	18.33 L/min	0.0003055	1"	0.0254	0.0005067
Qtotale=	36.66 L/min	0.000611	1 1/4 "	0.03175	0.0007917
g=	9.81 m/s2				
μ =	0.000894 kg/m.s				
ρ =	997 kg/m3				
ε plástico =	0.0000015 m				

N° de componente	Componente	Área(m2)	V(m/s)	D(m)	L(m)	Re	ε/D	f	Pérdida de carga (m)
1	Longitud de 4.275 m de 1"	0.0005067	0.6029121	0.0254	6.195	17078.328	5.906E-05	2.701E-02	0.122032063
1	Longitud de 1.92 m de 1"	0.0007917	1.2058242	0.03175	7.195	42695.82	4.724E-05	2.170E-02	0.364380167
N° de componente	Componente	Área(m2)	V(m/s)	D(m)	Leq/Deq0 K	Re	ε/D	f	Pérdida de carga (m)
8	Codo de 90° de 1"	0.0005067	0.6029121	0.0254	30	17078.328	5.906E-05	2.701E-02	1.501E-02
4	Codo de 90° de 1"	0.0005067	1.2058242	0.0254	30	34156.656	5.906E-05	2.286E-02	5.083E-02
2	Valvula globo de 1"(abierto al 50%)	0.0005067	0.6029121	0.0254	475	17078.328	5.906E-05	2.701E-02	2.377E-01
5	Valvula globo de 1"(abierto al 100%)	0.0005067	0.6029121	0.0254	340	17078.328	5.906E-05	2.701E-02	0.170116044
7	Union universal de 1"	0.0005067	0.6029121	0.0254	2	17078.328	5.906E-05	2.701E-02	7.005E-03
1	T de 1" por lateral	0.0005067	1.2058242	0.0254	60	34156.656	5.906E-05	2.286E-02	0.101650636
4	Union universal de 1"	0.0005067	1.2058242	0.0254	2	34156.656	5.906E-05	2.286E-02	0.013553418
N° de componente	Componente	Área(m2)	V(m/s)	D(m)	K	Re	ε/D	f	Pérdida de carga (m)
2	Ampliación de 1" a 1 1/4"		0.6029121		0.1296				0.004802241
2	Reducción de 1 1/4" a 1"		0.6029121		0.1296				0.004802241
2	Rotámetro		0.6029121		2.5				0.092635827
1	Ampliación de 1" a 1 1/4"		1.2058242		0.1296				0.009604483
1	Reducción de 1 1/4" a 1"		1.2058242		0.1296				0.009604483
1	Rotámetro		1.2058242		2.5				0.185271654
2	Entrada de succión de tanque		0.6029121		1				0.04
Σhl=									1.43

Datos del Fluido		m3/seg	D.pulgada	D. metros	Área
Q1=Q2=	16.6 L/min	0.0002767	1"	0.0254	0.0005067
Qtotale=	32.2 L/min	0.0005383	1 1/4 "	0.03175	0.0007917
g=	9.81 m/s2				
μ =	0.000894 kg/m.s				
ρ =	997 kg/m3				
ε plástico =	0.0000015 m				

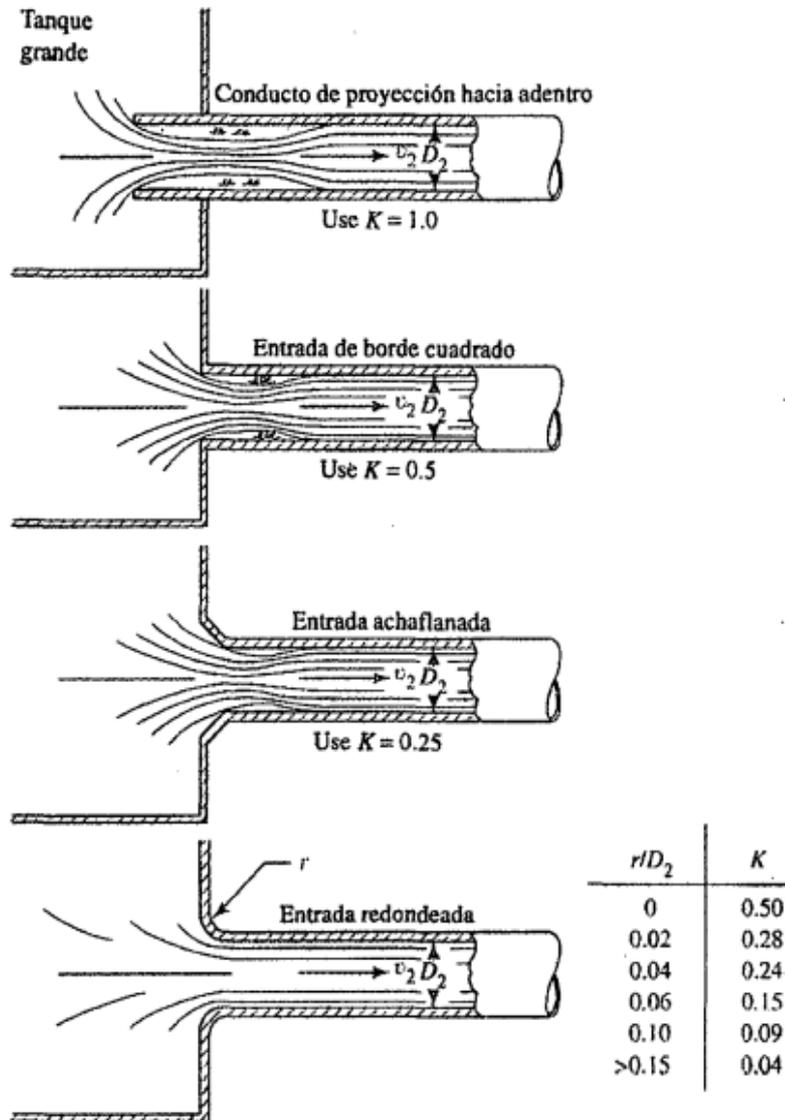
N° de componente	Componente	Área(m2)	V(m/s)	D(m)	L(m)	Re	ε/D	f	érdida de carga (m)
1	Longitud de 4.275 m de 1"	0.0005067	0.5460088	0.0254	6.195	15466.464	5.906E-05	2.770E-02	0.102638307
1	Longitud de 1.92 m de 1"	0.0007917	1.0624146	0.03175	7.195	37617.973	4.724E-05	2.232E-02	0.29103605
N° de componente	Componente	Área(m2)	V(m/s)	D(m)	Leq/Deq0 K	Re	ε/D	f	érdida de carga (m)
8	Codo de 90° de 1"	0.0005067	0.5460088	0.0254	30	15466.464	5.906E-05	2.770E-02	1.262E-02
4	Codo de 90° de 1"	0.0005067	1.0624146	0.0254	30	30094.378	5.906E-05	2.354E-02	4.063E-02
2	Valvula globo de 1"(abierto al 25%)	0.0005067	0.5460088	0.0254	815	15466.464	5.906E-05	2.770E-02	3.430E-01
5	Valvula globo de 1"(abierto al 100%)	0.0005067	0.5460088	0.0254	340	15466.464	5.906E-05	2.770E-02	0.143080616
7	Union universal de 1"	0.0005067	0.5460088	0.0254	2	15466.464	5.906E-05	2.770E-02	5.892E-03
1	T de 1" por lateral	0.0005067	1.0624146	0.0254	60	30094.378	5.906E-05	2.354E-02	0.081250002
4	Union universal de 1"	0.0005067	1.0624146	0.0254	2	30094.378	5.906E-05	2.354E-02	0.010833334
N° de componente	Componente	Área(m2)	V(m/s)	D(m)	K	Re	ε/D	f	érdida de carga (m)
2	Ampliación de 1" a 1 1/4"		0.5460088		0.1296				0.003938541
2	Reducción de 1 1/4" a 1"		0.5460088		0.1296				0.003938541
2	Rotámetro		0.5460088		2.5				0.075974934
1	Ampliación de 1" a 1 1/4"		1.0624146		0.1296				0.007455796
1	Reducción de 1 1/4" a 1"		1.0624146		0.1296				0.007455796
1	Rotámetro		1.0624146		2.5				0.143823233
2	Entrada de succión de tanque		0.5460088		1				0.03
Σhl=									1.30

ANEXO 10. Coeficiente de contracción y expansión de una sección.



Fuente: Crane, 1987.

ANEXO 11. Valores k de pérdida de entrada.



Fuente: Mott, 1996, p. 221.

ANEXO 12. Valores del coeficiente de resistencia k en pérdidas singulares.

VALORES DEL COEFICIENTE K EN PÉRDIDAS SINGULARES		
Accidente	K	L/D
Válvula esférica (totalmente abierta)	10	350
Válvula en ángulo recto (totalmente abierta)	5	175
Válvula de seguridad (totalmente abierta)	2,5	-
Válvula de retención (totalmente abierta)	2	135
Válvula de compuerta (totalmente abierta)	0,2	13
Válvula de compuerta (abierta 3/4)	1,15	35
Válvula de compuerta (abierta 1/2)	5,6	160
Válvula de compuerta (abierta 1/4)	24	900
Válvula de mariposa (totalmente abierta)	-	40
T por salida lateral	1,80	67
Codo a 90° de radio corto (con bridas)	0,90	32
Codo a 90° de radio normal (con bridas)	0,75	27
Codo a 90° de radio grande (con bridas)	0,60	20
Codo a 45° de radio corto (con bridas)	0,45	-
Codo a 45° de radio normal (con bridas)	0,40	-
Codo a 45° de radio grande (con bridas)	0,35	-

Fuente: Castillo, 2016.

Anexo 13. Guía de operación de la Batería de bombeo

 UNAP	GUÍA DE OPERACIÓN DE LA BATERÍA DE BOMBEO DEL LABORATORIO DE OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS.	
---	---	---

1. Pasos de operación del equipo

Paso 1: Verificar que todas las válvulas estén cerradas y proseguir a llenar el tanque de alimentación del batería de bombeo.

Paso 2: Abrir todas las válvulas (menos la válvula de purga del tanque), y cebar la electrobomba de la batería de bombeo.

Paso 3: Configurar la batería de bombeo como se desea trabajar; configuración en serie o configuración en paralelo.

Paso 4: Encender las electrobombas de $\frac{1}{2}$ hp de la batería de bombeo.

Paso 5: Anotar las lecturas de voltaje e intensidad eléctrica para verificar que las electrobombas estén funcionando correctamente.

Paso 6: Dejar que el flujo se estabilice por 5 minutos.

Paso 7: Registrar los datos de los rotámetros, manómetros y termómetro para realizar los respectivos análisis gráficos.

Paso 8: Apagar la bomba y cerrar las válvulas de sistema.

Paso 9: Abrir la válvula de purga del tanque de alimentación.

2. NORMAS DE SEGURIDAD

1. Antes de entrar al laboratorio de operaciones y procesos unitarios deben leer las normas de seguridad de dicho laboratorio.
2. Antes de comenzar a utilizar la batería de bombeo, debe estar con vestimenta apropiada para la manipulación del equipo (Casco, pantalones largos, zapatos cerrados, mandil, guantes).
3. Al momento de manipular la batería de bombeo siempre se debe estar verificando la temperatura del fluido, ya que las electrobombas trabajan con una temperatura máxima.
Cualquier accidente debe ser notificado de inmediato al docente.
4. Al acabar, dejar limpio y seco el puesto de trabajo.