TESIS UNA - PUNO

Universidad Nacional del Altiplano

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y SISTEMAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE LABORATORIO PARA EL ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO DE BOMBAS HIDRÁULICAS EN SERIE Y PARALELO."

TESIS

PRESENTADO POR:

Rodrigo Eduardo Aguilar Torres
Harold Yuri Ventura Gómez

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA

PUNO – PERÚ

2017

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

TESIS UNA - PUNO

Universidad Nacional del Altiplano

Universidad Nacional del Altiplano

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y SISTEMAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE LABORATORIO PARA EL ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO DE BOMBAS HIDRÁULICAS EN SERIE Y PARALELO."

TESIS PRESENTADA POR:

HAROLD YURI VENTURA GÓMEZ

RODRIGO EDUARDO AGUILAR TORRES

FECHA DE SUSTENTACION: 02 DE FEBRERO 2017

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE: INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA.

APROBADA POR EL JURADO REVISOŔ CONFORMADO POR:

PRESIDENTE : M.Sc. WALTER OSWALDO PAREDES PAREJA

PRIMER. MIEMBRO : M.Sc. JOSE ANTONIO VARGAS MARON

SEGUNDO MIEMBRO : M.Sc. MARCOS JOSE VILLANUEVA CORNEJO

DIRECTOR : M.Sc. JOSE MANUEL RAMOS CUTIPA

PUNO – PERU
2017

Área: Ingeniería Mecánica.
Tema: Bombas Centrifugas En Serie Y Paralelo.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

TESIS UNA - PUNO

Universidad Nacional del Altiplano

DEDICATORIA

A Dios por ser el creador del universo y darme la oportunidad de realizar mis sueños que me tracé desde mi infancia.

Dedicado Con infinito amor y gratitud a mi familia mi Padre Eduardo Aguilar, mi Madre Justina torres y mi hermana Janeth Aguilar. Quienes fueron la fuente de inspiración, apoyo, comprensión y amor. Sus principios, valores y ejemplo, me han enseñado a luchar por lo que quiero. Les dedico este y todos los triunfos que me quedan por conseguir.

A mi novia que con su Amor incondicional siempre estuvo a mi lado, por sus consejos. Apoyo y por hacer de mi vida momentos agradables e inolvidables.

…….. Muchas gracias

Rodrigo Eduardo

A Dios por ser el creador del universo y darme la oportunidad de realizar mis sueños que me tracé desde mi infancia.

Con infinito amor y gratitud a mis padres. Quienes son, la razón de mi existencia y fuente de inspiración, apoyo, comprensión y amor. Sus principios, valores y ejemplo, me han enseñado a luchar por lo que quiero. Les dedico este y todos los triunfos que me quedan por conseguir.

A mi novia que con su Amor incondicional siempre estuvo a mi lado, por sus consejos. Apoyo y por hacer de mi vida momentos agradables e inolvidables.

…….. Muchas gracias

HAROLD YURI

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

TESIS UNA - PUNO

Universidad Nacional del Altiplano

AGRADECIMIENTO

Ante todo, agradecemos a Dios por permitirnos llegar a este punto de nuestras vidas, por darnos fuerzas, paciencia y tranquilidad necesaria para superar los muchos obstáculos que se presentaron en el desarrollo de esta tesis.

A Nuestra Alma Mater Universidad Nacional del Altiplano de Puno y a La Escuela Profesional de ingeniería mecánica eléctrica: Por ser el espacio académico que nos brindaron la base de nuestros conocimientos científicos sociales.

Un sincero reconocimiento y agradecimiento a todo los docentes de la Escuela ingeniería mecánica eléctrica: porque cada uno de ellos con sus palabras, conocimientos, motivaciones y concejos que nos guiaron nuestra formación a la excelencia ser un profesional integral.

Finalmente, nuestro agradecimiento a todas las personas que de una u otra forma han hecho posible la realización de nuestro proyecto de investigación.

¡Gracias a todos ustedes!

RODRIGO E. y HAROLD Y.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

TESIS UNA - PUNO

Universidad Nacional del Altiplano

ÍNDICE

RESUMEN 9

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.0. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN 12

1.1. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA 14

1.1.1.Justificación Académica 14

1.1.2.Justificación Económica 15

1.1.3.Justificación Social 16

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 17

1.2.1.Objetivo General 17

1.2.2.Objetivos Específicos 17

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.0. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN 19

2.1. SUSTENTO TEÓRICO 21

2.2. GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS 45

2.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN 48

2.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES 49

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN

3.0. TIPO DE INVESTIGACIÓN 51

3.1. UBICACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN 51

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN 51

3.3. INGENIERÍA DE DISEÑO DEL MÓDULO DE LABORATORIO 52

3.3.1.Diseño del Sistema Hidráulico de las Bombas 53

3.3.2.Selección de las Bombas Hidráulicas 55

3.3.3.Cálculo de la altura manómetro o efectiva de la bomba (Hm) 55

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

TESIS UNA - PUNO

Universidad Nacional del Altiplano

3.3.3.1. Altura manométrica para bombas en serie.....56

3.3.3.2. Cálculo de las pérdidas primarias para bomba en serie 57

3.3.3.3. Cálculo de las pérdidas secundarias para bombas en serie 63

3.3.3.4. Cálculo de las pérdidas totales para bombas en serie.....66

3.3.4.Cálculo de la potencia de la bomba en serie 66

3.3.4.1. Cálculo de la altura geodésica para bombas en paralelo 70

3.3.4.2. Cálculo de las pérdidas primarias para bombas en paralelo.....70

3.3.4.3. Cálculo de las pérdidas secundarias para bombas en paralelo.....75

3.3.4.4. Cálculo de las pérdidas totales para bombas en paralelo 77

3.3.4.5 Cálculo de la potencia de la bomba en paralelo.....77

3.3.5.Diseño y Selección de los Instrumentos de medición de los parámetros experimentales 77

3.3.5.1 Selección del medidor de caudales 79

3.3.5.2. Selección de los medidores de presión 80

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.0. Resultados del Proyecto de Investigación 80

4.1. Análisis del resultado del proyecto de investigación 82

4.2. Guías de Laboratorio de los ensayos a realizar en el módulo de laboratorio83

4.2.1.ENSAYO Nº 1. BOMBAS EN SERIE..... 84

4.2.2.ENSAYO Nº 2. BOMBAS EN PARALELO 91

4.2.3.ENSAYO Nº 3. BOMBAS EN SERIE..... 98

4.2.4.ENSAYO Nº 4. BOMBAS EN PARALELO 103

4.2.5.ENSAYO Nº 5. BOMBAS EN SERIE..... 109

4.2.6.ENSAYO Nº 6. BOMBAS EN PARALELO 112

CONCLUCIONES..... 115

RECOMENDACIONES 116

BIBLIOGRAFÍA 117

ANEXOS 120

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

TESIS UNA - PUNO

Universidad Nacional del Altiplano

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Cálculo de la sumatoria del Coeficiente de pérdidas secundarias 64

Tabla 3.2: Cálculo de la sumatoria del coeficiente de pérdidas secundarias 74

Tabla 4. 1 Tabla Datos Recolectados Bombas en Serie 86

Tabla 4. 2 Tabla Datos Recolectados Bombas en Paralelo 93

Tabla 4. 3 Tabla Datos Recolectados Bombas en Serie 100

Tabla 4. 4 Tabla Datos Calculados Bombas en Serie 101

Tabla 4. 5 Tabla Datos Recolectados Bombas en Paralelo 106

Tabla 4. 6 Tabla Datos Calculados Bombas en Paralelo 106

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

TESIS UNA - PUNO

Universidad Nacional del Altiplano

ÍNDICE DE FIGURAS - GRAFICOS

Figura 1: Instalación de una bomba 24

Figura 2: Altura de carga de posición 25

Figura 3: Altura de velocidad 26

Figura 4: Curva característica H-Q 30

Figura 5: Curva característica del sistema de tuberías 31

Figura 6: Instalación de dos bombas en serie. 32

Figura 7: Instalación de dos bombas en paralelo. 33

Figura 8: Diagrama de Moody. 36

Figura 9: Rotámetro 39

Figura 10: Manómetro lleno de glicerina 41

Figura 11: Vacuómetro con glicerina 42

Figura 12: Válvulas de globo 43

Figura 13: Válvula de compuerta en acero inoxidable 44

Figura 14: Circuito hidráulico para bombas en serie 53

Figura 15: Determinación de la altura geodésica. 57

Figura 16: Circuito hidráulico para bombas en serie 59

Figura 17: Diagrama de Moody 62

Figura 18: Determinación de la altura geodésica. 69

Figura 19: Circuito hidráulico para bombas en paralelo. 70

Figura 20: Diagrama de Moody. 72

Figura 21: Circuito Hidráulico del Módulo 81

Figura 22; Bombas acopladas en serie 85

Figura 23: Bombas acopladas en paralelo 92

Figura 24: Curva del Sistema de Bombas acopladas en serie. 99

Figura 25: Circuito hidráulico (líneas rojas) de bombas acopladas en serie. 99

Figura 26: Curva del Sistema de Bombas acopladas en paralelo. 104

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Figura 27: Circuito hidráulico (líneas rojas) de bombas acopladas en paralelo. 104

Figura 28: Punto óptimo de funcionamiento de bombas acopladas en serie. 110

Figura 29: Circuito hidráulico (líneas rojas) de bombas acopladas en serie 110

Figura 30: Punto óptimo de funcionamiento de bombas acopladas en paralelo 113

Figura 31: Circuito hidráulico (líneas rojas) de bombas acopladas en paralelo. 113

Grafico 1 Curva H-Q Bomba 1 87

Grafico 2 Curva H-Q Bomba 2 87

Grafico 3 Curva H-Q Bomba 1 y 2 Serie 89

Grafico 4 Comparativo Bombas Individuales y Bombas Serie 90

Grafico 5 Curva H-Q Bomba 1 95

Grafico 6 Curva H-Q Bomba 2 95

Grafico 7 Curva H-Q Bomba 1 y 2 en Paralelo..... 96

Grafico 8 Comparativo de Bombas Individuales y en Paralelo..... 97

Grafico 9 Curva del Sistema Bombas Serie 102

Grafico 10 Curva del Sistema Bombas Paralelo 108

Grafico 11 Punto de Operación Bombas en Serie..... 111

Grafico 12 Punto de Operación Bombas en Paralelo..... 114

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

TESIS UNA - PUNO

Universidad Nacional del Altiplano

RESUMEN

El proyecto de investigación tiene como finalidad desarrollar el “Diseño y Construcción de un Módulo de Laboratorio para el estudio experimental del comportamiento de bombas hidráulicas en serie y paralelo” para el Laboratorio de Ingeniería Mecánica I, II, III.

El tipo de investigación aplicado al proyecto de tesis es experimental y aplicativa, las recolecciones de datos empleados al diseño mecánico abarcaron los siguientes aspectos: Identificación de la necesidad, definición del problema, síntesis, análisis y optimización, evaluación y construcción del prototipo del módulo de ensayo.

Los resultados que se obtuvieron en el desarrollo de la construcción del módulo de laboratorio del proyecto de tesis, fue de utilidad para la experimentación e investigación mediante la aplicación de las guías de laboratorio elaboradas para los ensayos experimentales para los cursos de laboratorio de Ingeniería Mecánica I, II y III, relacionados a las curvas características H-Q, curvas del sistema, punto óptimo de funcionamiento en serie y paralelo.

Las conclusiones del proyecto de investigación fueron óptimas porque se diseñó y construyó el módulo de laboratorio y se desarrollaron las guías para los ensayos del estudio experimental del comportamiento de bombas hidráulicas en serie, paralelo y serie paralelo.

Palabras clave: Bomba, diseño, ensayo experimental, altura geodésica, módulo laboratorio.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

ABSTRACT

The research project aims to develop the "Design and Construction of a Laboratory Module for the experimental study of the behavior of hydraulic pumps in series and parallel" for the Laboratory of Mechanical Engineering I, II, III.

The type of research applied to the thesis project is experimental and applicable. The functional data collections to the mechanical design covered the following aspects: Identification of the need, definition of the problem, synthesis, analysis and optimization, evaluation and construction of the prototype module Test

The results that were obtained in the development of the construction of the laboratory module of the thesis project, the usefulness for experimentation and research through the application of laboratory tests developed for the experimental tests for the courses of Mechanical Engineering I, II and III, related to the characteristic curves HQ, curves of the system, optical point of operation in series and parallel.

The conclusions of the research project were designed and constructed the laboratory module and developed the guides for the tests of the experimental study of the behavior of hydraulic pumps in series, parallel and parallel series.

Key Words: Bomb, design, experimental test, geodesic height, module laboratory.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

CAPÍTULO I

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.0. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

La formación académica de un ingeniero mecánico eléctrico necesariamente debe tener dos aspectos fundamentales: la formación teórica y la formación experimental o práctica.

La formación teórica la realizamos a través de los diferentes cursos de las diferentes áreas de nuestra currícula, como el área de formación general, área de física, área de matemáticas, área de energética, área de diseño mecánico, área de turbomáquinas, etc.; cursos que los desarrollamos eficientemente porque se cuenta con una biblioteca especializada de la Escuela Profesional óptima relativamente, la biblioteca virtual de la Universidad y el Internet que complementan la información bibliográfica y teórica necesaria para nuestra formación teórica en la ingeniería mecánica eléctrica.

Pero, en nuestra formación experimental o práctica que es fundamental para que nuestra formación como ingenieros sea integral, existe un déficit académico, por la carencia de laboratorios convenientes equipados para que se pueda corroborar los conocimientos teóricos con la práctica experimental de los mismos, aspecto fundamental en la formación integral de un ingeniero y es más, esto contribuirá con la iniciación en la investigación científica de nuestros estudios, aspecto que es la razón fundamental de la Universidad.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

La Universidad Nacional del Altiplano de Puno, no es ajeno al problema de la Universidad Peruana, que es la falta de recursos económicos necesarios para la implementación de laboratorios para la experimentación e investigación de las diferentes áreas académicas de las diferentes Escuelas Profesionales de nuestra Universidad, aspecto importante para elevar el nivel académico de nuestros profesionales. Este último año con el proceso de acreditación se están dando los primeros pasos para solucionar este problema, pero aun así los presupuestos otorgados a las diferentes Escuelas, son insuficientes para la compra de módulos de laboratorio; pues solo con ellos se dará una educación de calidad en nuestra Universidad, que ayudará a nuestro país en su desarrollo industrial, tecnológico y económico.

En este contexto, nuestra Escuela Profesional y como política de la misma, desde años anteriores estamos contribuyendo a la solución del problema de carencia de módulos de laboratorio, a través del desarrollo de proyectos de tesis con el objetivo de diseñar y construir módulos de laboratorios para las diferentes áreas de la Escuela Profesional, con el asesoramiento de los docentes de los cursos de las diferentes áreas que abarca la Ingeniería Mecánica Eléctrica. Esta política de nuestra Escuela nos permitió capacitarnos académicamente en la experimentación e investigación en el desarrollo de la Tesis: “Diseño y construcción de un módulo de laboratorio para el estudio experimental del comportamiento de bombas hidráulicas en serie y paralelo”; capacitación que lo aplicaremos en nuestro futuro desarrollo profesional.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

El tema de la tesis desarrollada corresponde al área de turbomáquinas, en la que se estudia las máquinas hidráulicas: bombas y ventiladores; específicamente el módulo diseñado y construido servirá para el estudio del comportamiento de bombas acopladas en serie y paralelo, cuando una sola bomba es capaz de proporcionar el gasto o caudal requerido, pero no la altura de elevación, se puede acoplar dos bombas en serie que no necesariamente deben ser iguales. Cuando una sola bomba es capaz de dar la altura de elevación requerida, pero no es capaz de dar el gasto o caudal necesario, se puede acoplar dos bombas en paralelo. Estas bombas no forzosamente deben ser iguales.

El diseño y construcción de máquinas es una especialidad de la ingeniería mecánica difícil, porque se necesita dominar los cursos de física, matemática e ingeniería; por lo que nuestro tema de tesis es relevante y se aplicaran los conocimientos adquiridos con el asesoramiento importante del Ingeniero Julio Argandoña Condori docente del Laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Escuela Profesional.

1.1. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. Justificación Académica

La ejecución del proyecto de tesis se justifica desde el punto de vista académico porque el módulo que se diseñó y construyó óptimamente, servirá para reforzar la formación académica experimental que conllevará a la iniciación en la investigación de los estudiantes, a través del estudio del comportamiento de dos bombas conectadas en serie y paralelo.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Además, otro aspecto importante es nuestra capacitación en diseño y construcción de máquinas que nos permitió aplicar los conocimientos teóricos a la solución de problemas de ingeniería.

El módulo servirá para el estudio experimental de los siguientes ensayos técnicos:

1. Graficar la curva característica H-Q de las bombas en serie.
2. Graficar la curva característica H-Q de las bombas en paralelo.
3. Graficar la curva del sistema de las bombas en serie.
4. Graficar la curva del sistema de las bombas en paralelo.
5. Determinar el punto óptimo de funcionamiento de las bombas en serie.
6. Determinar el punto óptimo de funcionamiento de las bombas en paralelo.

También en el módulo se podrá investigar otros aspectos relacionados con los parámetros de funcionamiento de las bombas, como por ejemplo su altura geodésica, que se podrá visualizar y medir prácticamente, puesto que la arquitectura del módulo tiene un esquema similar a los esquemas académicos teóricos de los libros sobre bombas.

1.1.2. Justificación Económica

En el mercado nacional de módulos de laboratorio para la enseñanza universitaria, como la de la empresa alemana GUNT, cuyos representantes en el Perú los exportan, la venta de estos módulos está en dólares; nuestro módulo que es académica más didáctica por su diseño esquemático nos costó aproximadamente 15000 soles y, un módulo de la marca GUNT con

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

las características similares al construido cuesta aproximadamente 20000 dólares, es decir más de cuatro veces el precio de nuestro módulo.

Por consiguiente, el ahorro económico es significativo para nuestra universidad, y quizá exista la perspectiva futura de fabricar este tipo de módulos para otras instituciones educativas, lo cual implica una ganancia significativa.

1.1.3. Justificación Social

Siendo uno de los objetivos principales de la Universidad la proyección social a la sociedad, para solucionar problemas en todos los campos de la sociedad, el desarrollo del proyecto de investigación se justifica ampliamente, considerando que se está contribuyendo a la solución de un problema crítico de la Universidad, la implementación de laboratorios, lo cual contribuirá a que nuestros compañeros al egresar de la universidad con una formación integral, contribuirán profesionalmente como ingenieros a la solución de problemas de la sociedad con mayor criterio y capacidad investigativa y práctica.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Objetivo General

Diseñar y construir un módulo para el laboratorio de Ingeniería Mecánica para el estudio experimental del comportamiento de bombas en serie y paralelo.

1.2.2. Objetivos Específicos

a) Diseñar un módulo de laboratorio para el estudio experimental del comportamiento de bombas en serie y paralelo.

b) Construir un módulo de laboratorio para el estudio experimental del comportamiento de bombas en serie y paralelo.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

CAPÍTULO II

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

MARCO TEÓRICO

2.0. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

a. Chura, R. & Neira, O. (2013) Diseño e implementación de un sistema de bombeo con control de flujo, para la evaluación de rendimiento del módulo compuesto por bombas hidráulicas para uso de laboratorio de la EPIME-UNA-Puno. Tesis de la Universidad en la que se desarrolla los siguientes objetivos:

Diseñar e implementar un sistema de bombeo para evaluar el rendimiento de las bombas hidráulicas para uso de laboratorio que permitan validar los parámetros físicos de funcionamiento.

Diseñar un sistema hidráulico que permita realizar pruebas de flujo a diferentes trayectorias.

Evaluar los parámetros físicos y realizar el análisis de los resultados teóricos versus prácticas a diferentes trayectorias para determinar el rendimiento de las bombas hidráulicas. Información que se utilizó como referencia para el diseño del módulo, en cuanto a coeficientes de pérdida de dispositivos montados en el sistema de bombeo. Los objetivos de esta tesis son diferentes a los objetivos que se desarrollaron en nuestro proyecto de investigación.

b. Castro, J. & Paredes, I. (2004) Implementación de un módulo de bombas radiales. Tesis – CPIME. Universidad Nacional del Altiplano de Puno. En esta tesis los objetivos que se desarrollan son:

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Implementar un módulo de bombas radiales para la determinación de los parámetros de funcionamiento de la bomba radial.

Determinar las características del diseño, construcción e implementación del módulo de la bomba radial.

Determinar los parámetros de funcionamiento de la bomba instalada, para calcular su eficiencia y adaptar la bomba instalada para poder observar el fenómeno de cavitación. Información técnica que se tuvo presente en el diseño del módulo, en cuanto a las características técnicas de los manómetros y vacuómetros. El medidor de caudal empleado en este módulo, se cambió por un rotámetro medidor de lectura directa más preciso. Las referencias bibliográficas de esta tesis, sirvieron como marco referencial para el trabajo desarrollado.

c. Universidad Nacional de Ingeniería. Laboratorio de Ingeniería Mecánica (2010). Guía de laboratorio de Ingeniería Mecánica II, donde se esquematizan módulos para ensayos referentes a turbina Pelton, turbina Francis y bombas radiales, en este último módulo se puede realizar ensayos de bombas en serie y paralelo, pero el diseño del módulo es compacto y solo tiene un depósito para el agua, lo cual pedagógicamente no es conveniente porque no se puede apreciar las alturas de carga de las bombas. La información de esta guía fue un aporte importante en el desarrollo de la tesis.

d. Gunt Hamburg (2011). Equipos para la educación en Ingeniería Mecánica de fluidos e hidrología. Catálogo de módulos de ensayo fabricados por la empresa alemana Gunt Hamburg que tiene un equipo denominado Banco

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

de Ensayos de bombas en serie y paralelo, cuya información solo es esquemática y fotográfica, no tiene aspectos relacionados al diseño, pero, se tomó en cuenta las características técnicas de los instrumentos, de las bombas y de los circuitos hidráulicos como referencia importante para el diseño de módulo.

2.1. SUSTENTO TEÓRICO

a. Bomba

Una bomba es una turbomáquina generada para líquidos. La bomba absorbe energía mecánica y restituye al líquido que la atraviesa, energía hidráulica. Las bombas se emplean para bombear toda clase de líquidos (agua, aceites de lubricación, combustibles, ácidos, líquidos alimenticios: cerveza, leche, etc.). También para bombear líquidos espesos con sólidos en suspensión, como pastas de papel, cemento, melazas, desperdicios, etc. (Mataix, C. (2011) Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas (pp. 369) México: Editorial Harla, S.A))

Las bombas rotodinámicas, siempre son rotativas y su funcionamiento se basa en la ecuación de Euler; y su órgano transmisor de energía se llama rodete, se llaman rotodinámicos porque su movimiento es rotativo y el rodete comunica energía al fluido en forma de energía cinética.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Sus elementos constitutivos son:

- Rodete, que gira solidario con el eje de la máquina y consta de un cierto número de alabes que imparte energía al fluido en forma de energía cinética y energía de presión.
- Corona directriz o corona de álabes fijos que recogen el líquido del rodete y transforman la energía cinética comunicada por el rodete en energía de presión.
- Caja espiral, transforma la energía dinámica en energía de presión.

b. Cebado de la bomba

Las bombas rotodinámicas no son autocebantes, porque el principio de funcionamiento es la ecuación de Euler.

La bomba proporciona una altura H máxima, que generalmente coincide con el punto para el cual Q=0. Esta altura, según Euler, no depende de la densidad del fluido. Así, por ejemplo, una bomba de agua que da una altura máxima de 100 m dará esa misma altura si está llena de aire o llena de agua; pero

- Si la bomba está llena de aire el incremento de presión creada por la bomba será:

$$\Delta p = \gamma_{aire};\ H = 1{,}2 \times 100 = 120\ Kg/m^2 = 120\ mm.c.a.$$

que no sería suficiente para que subiera el agua por la tubería de aspiración.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

- Si la bomba está llena de agua (bomba cebada) el incremento de presiones creado por la bomba será:

$$\Delta p = \gamma_{agua};\ H = 100000\ Kg/m^2 = 100\ mm.c.a.$$

y la bomba ya podrá aspirar.

En la figura 1 puede verse la tubería de cebado que tomando agua de la ciudad llena el tubo de aspiración y el cuerpo de la bomba.

c. Instalación de una bomba

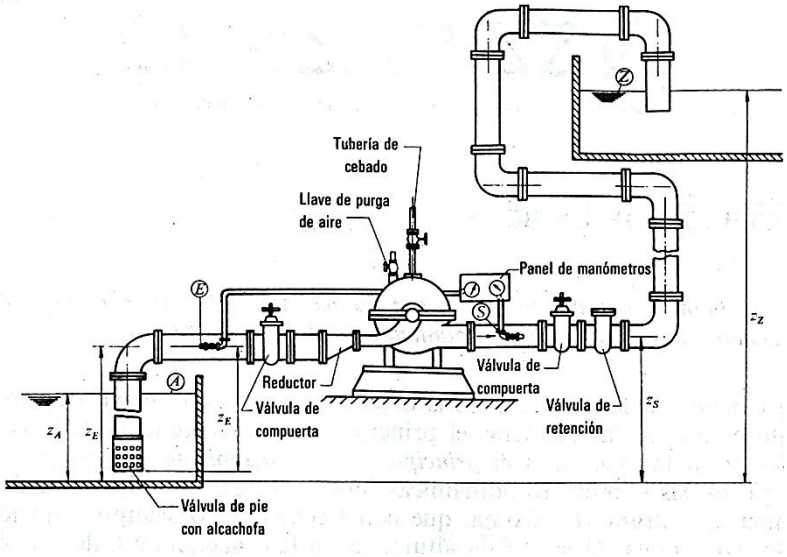
La Figura 1 representa una instalación de bombeo destinada a llevar agua desde un pozo de aspiración hasta un depósito elevado. En esta instalación pude verse:

- La alcachofa y válvula de pie: la primera evita la entrada de suciedades (ramas, hierbas, papeles, etc.) que pueden obstruir la bomba, y la segunda hace posible, reteniendo el líquido, el cebado de la bomba.
- Las dos válvulas de compuerta en la aspiración y en la impulsión: a veces no se instala la primera; pero de la segunda no se prescinde porque sirve para la regulación del caudal de la bomba.
- La válvula de retención en la impulsión: impide el retroceso del fluido, cuando la bomba se para.
- El reductor en la aspiración: para mejorar la aspiración de la bomba y evitar la cavitación se aumenta a veces el diámetro de la tubería de aspiración.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Figura 1: Instalación de una bomba



Fuente: http://menymeny23.blogspot.pe/2009/03/normal-0-21-false-false-false-es-trad-x.html

Una instalación consta de una serie de metros de tubería y de accesorios (codos, contracciones, etc.): en los tramos rectos hay pérdidas primarias y en los accesorios pérdidas secundarias. El conjunto de estas pérdidas constituye las pérdidas exteriores a la bomba, H_{ext}. Además, se originan pérdidas de superficie y de forma en el interior de la bomba, H_{int}.

d. Caudal

Es el volumen de líquido desplazado por la bomba en la unidad de tiempo, se expresa generalmente en litros/segundo, metros cúbicos/hora, etc. (Mendoza, E. (2012). Bombas hidráulicas (pp. 2-8). Perú: Editorial Universidad Nacional Técnica del Callao)

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

e. Altura de carga

Es la columna de fluido que ejerce sobre su base una presión tal como “P”:

$$H = \frac{P}{\gamma} \quad \text{.....(Ec. 1)}$$

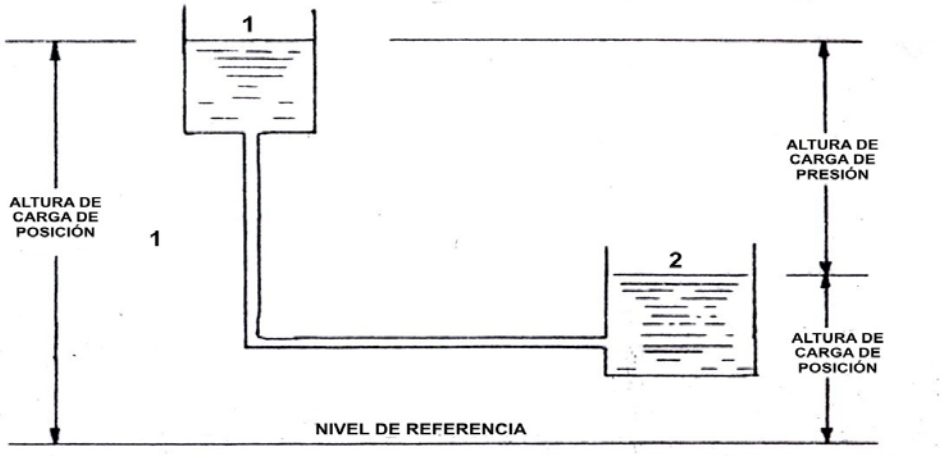
P = presión

γ = peso específico del fluido

f. Altura de carga de posición (geodésica)

Es la altura de un punto dado respecto a un nivel de referencia.

Figura 2: Altura de carga de posición



Fuente:http://www.sapiensman.com/tecnoficio/mecanica/principios_de_hidraulica1.php.

g. Altura de velocidad

Es la energía asociada a la velocidad expresada en términos de altura.

$$h = \frac{v^2}{2g} \quad \text{.....(Ec. 2)}$$

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Donde: v = Velocidad

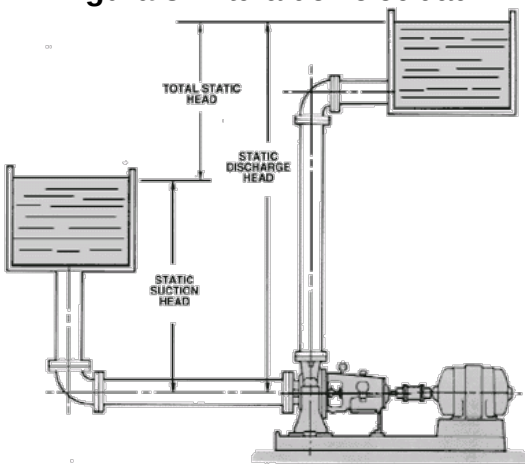
h = altura de velocidad

g = aceleración de gravedad

h. Altura de carga estática

En el gráfico se ilustra este término:

Figura 3: Altura de velocidad



Fuente: https://agushalul.wordpress.com/category/oil-knowledge/

i. Ecuación de Euler de las bombas

La altura teórica que da la bomba es la expresada por la ecuación de Euler:

$$H_t = \frac{v_2 C_{2u} - v_1 C_{1u}}{g} \quad \text{.....(Ec. 3)}$$

Donde: H_t = altura teórica de Euler

v_2; v_1 = velocidad absoluta del fluido a la salida y entrada.

C_{2u}; C_{1u} = Componente circunferencial de la velocidad absoluta del fluido a la salida y entrada.

g = aceleración de la gravedad.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Si no hubiera pérdidas en el interior de la bomba, H_t sería también el aumento de altura que experimentaría el fluido entre la entrada y salida de la bomba (secciones e y s). Sin embargo, en el interior de la bomba (entre las secciones e y s), por tanto se producen, como ya hemos dicho, pérdidas hidráulicas H_{int}. (Mataix, C. (2011) Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas (pp. 386) México: Editorial Harla, S.A.).

j. Altura manométrica

Altura manométrica, H_m es la altura útil que da la bomba o sea la altura teórica, H_t menos las pérdidas en el interior de la bomba, H_{int}:

$$H_m = H_t - H_{int} \quad \text{.....(Ec. 4)}$$

k. Primera expresión de la altura manométrica

Escribamos la ecuación de Bernoulli entre las secciones e y s (Figura 1):

$$\frac{P_e}{\gamma} + Z_e + \frac{v_e^2}{2g} + H_m = \frac{P_s}{\gamma} + Z_s + \frac{v_s^2}{2g} \quad \text{.....(Ec. 5)}$$

Despejando H_m tendremos:

$$H_m = \frac{P_s - P_e}{\gamma} + Z_s - Z_e + \frac{v_s^2 - v_e^2}{2g} \quad \text{.....(Ec. 6)}$$

Donde: P_s; P_e = presiones a la salida y entrada de la bomba

Z_s; Z_e = alturas geodésicas a la salida y entrada de la bomba

v_s; v_e = velocidad a la salida y entrada de la bomba

γ = peso específico del agua

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

g = aceleración de la gravedad

Altura manométrica es la diferencia de energía entre la salida y la entrada de la bomba, igual al incremento de presión que experimenta el fluido en la bomba + el incremento de altura geodésica + el incremento de altura dinámica. (Mataix, C. (2011) Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas (pp. 386) México: Editorial Harla, S.A.)

El término $Z_s - Z_e$ suele ser o muy pequeño, o igual a cero.

El término $\frac{v_s^2 - v_e^2}{2g}$ suele ser también muy pequeño o igual a cero; muy pequeño si el diámetro de la tubería de aspiración se hace mayor que el de la tubería de impulsión, para evitar la cavitación; igual a cero si $D_s = D_e$.

Luego exactamente en algunos casos y muy aproximadamente en la mayoría de los mismos:

$$H_m = \frac{P_s - P_e}{\gamma} = M_s + M_e \quad \text{.....(Ec. 7)}$$

($\frac{v_s^2 - v_e^2}{2g} \simeq 0$; $Z_s - Z_e \simeq 0$, bomba en aspiración)

Donde:

M_s = lectura del manómetro a la salida. El signo + indica suma de los valores absolutos de las lecturas.

M_e = lectura del manómetro a la entrada (suele ser negativa: vacuómetro)

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

La altura manométrica para las condiciones normales de servicio de la bomba, suele figurar en la placa de características de la máquina.

La primera expresión de H_m deducida mira a la bomba misma y es útil para calcular H_m en una bomba en funcionamiento, leyendo M_s y M_e, y midiendo el caudal para calcular las velocidades.

I. **Segunda expresión de la altura manométrica:** Mataix, C. (2011) Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas (pp. 389) México: Editorial Harla, S.A.

Escribamos la ecuación de Bernoulli entre las secciones 1 y 2 de la figura 1:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - H_{ext} + H_m = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad \text{.....(Ec. 8)}$$

Donde:

H_{ext} = pérdidas exteriores a la bomba.

$P_1 = P_2$ = presiones atmosféricas iguales a cero.

Si las áreas del pozo de aspiración y del depósito de impulsión son suficientemente grandes para que $\frac{v_1^2}{2g}$ y $\frac{v_2^2}{2g}$ pueden despreciarse, tendremos:

$$H_m = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + Z_2 - Z_1 + H_{ext} \quad \text{.....(Ec. 9)}$$

Donde:

P_2; P_1 = presiones atmosféricas en los depósitos de impulsión y aspiración.

Z_2; Z_1 = alturas geodésicas en los depósitos de impulsión y aspiración.

H_{ext} = Pérdidas primarias y secundarias.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Para aplicar (Ec. 6):

a) Es necesario conocer el caudal, así como las características de la instalación (metros de tubería, material de la misma y accesorios).

b) El pozo de aspiración y el depósito de impulsión están abierto a la atmósfera, entonces $\frac{P_2 - P_1}{\gamma} = 0$.

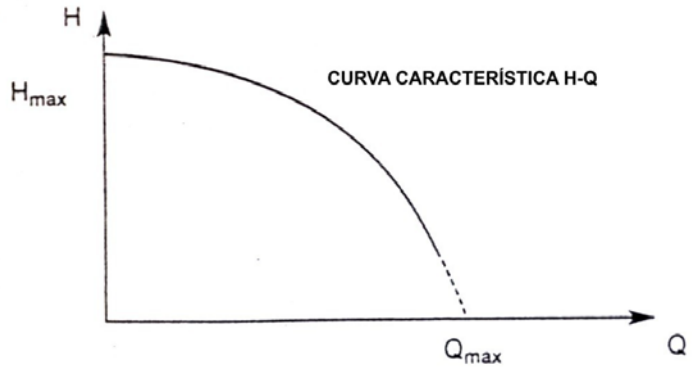
La segunda expresión de la altura manométrica que se dedujo mira a la instalación y es útil para calcular H_m, estudiando el proyecto mismo de instalación, con miras a encargar la bomba más adecuada para la instalación que se proyecta.

m. Curva característica H-Q

La curva característica H-Q de la bomba, es la curva que describe el comportamiento de la bomba, es decir, a través de ella se puede determinar que para un caudal determinado qué altura de presión le corresponde o viceversa.

Para el caso de bombas centrífugas se tendrá:

Figura 4: Curva característica H-Q



Fuente: Mataix, C. (2011) Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas (pp. 389) México: Editorial Harla, S.A.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Donde:

$H_{máx}$ = altura máxima posible

$Q_{máx}$ = Caudal máximo posible.

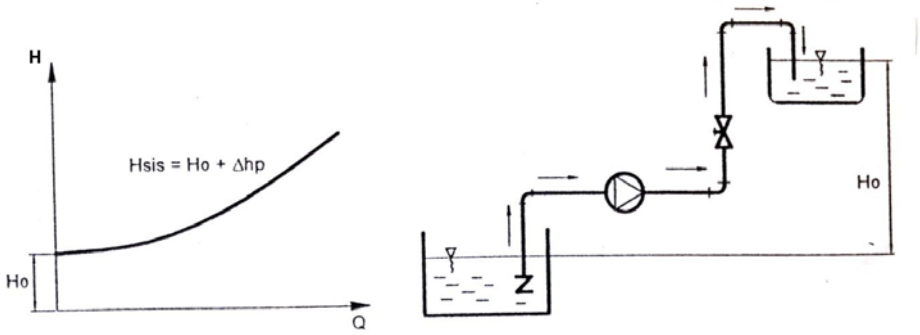
H = Altura o presión de la bomba

Q = Caudal

n. Curva característica del Sistema de Tuberías

El sistema de tuberías tiene una curva H-Q, con altura física o geodésica H_0, correspondiente a los niveles inferior, superior de aguas y una altura de pérdidas por tubería y accesorios Δhp o KQ^2. (Goñi, J. (2009). Máquinas hidráulicas y térmicas (pp. 52-55). Perú: Fondo editorial Universidad de Lima.)

Figura 5: Curva característica del sistema de tuberías



Fuente: Mataix, C. (2011) Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas (pp. 389) México: Editorial Harla, S.A.

Se trata de una parábola ascendente.

$H_{sis} = H_0 + \Delta hp$

o $H_{sis} = H_0 + KQ^2$

Donde: H_{sis} = altura del sistema

H_o = altura geodésica

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

$\Delta hp = KQ^2$ = Pérdidas por tubería y accesorios

K = Constante de pérdidas

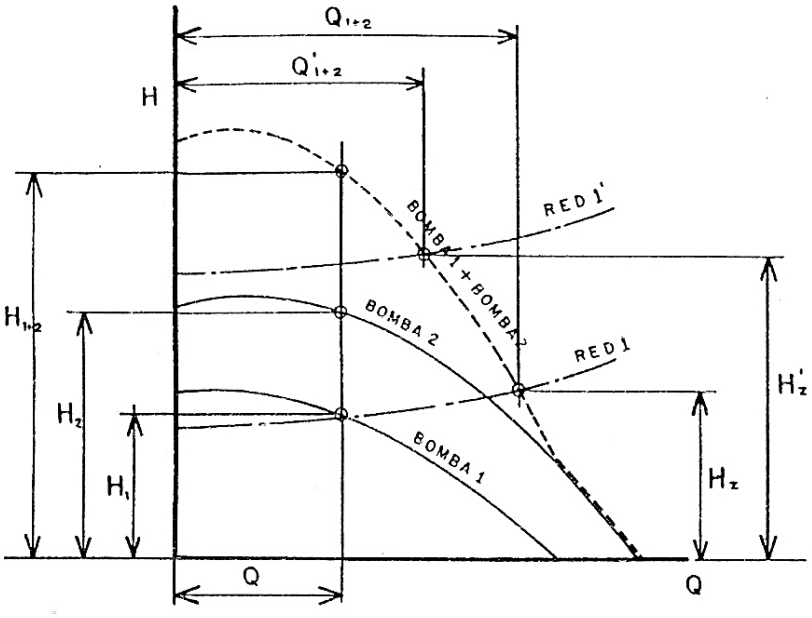
Q = caudal

o. Bombas en serie

Cuando una sola bomba es capaz de proporcionar el caudal requerido, pero no la altura de elevación, se pueden instalar dos bombas en serie que no necesariamente deben ser iguales. (Luszczewski, A. (2009). Bombas para agua, ventiladores y compresores (pp. 211). España: Reverte Ediciones, S.A).

La curva característica de las bombas se obtiene sumando las ordenadas de las curvas características de cada una de ellas para cada caudal, pues éste es el mismo para ambas bombas.

Figura 6: Instalación de dos bombas en serie.



Fuente: (Luszczewski, A. (2009). Bombas para agua, ventiladores y compresores (pp. 211). España: Reverte Ediciones, S.A).

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

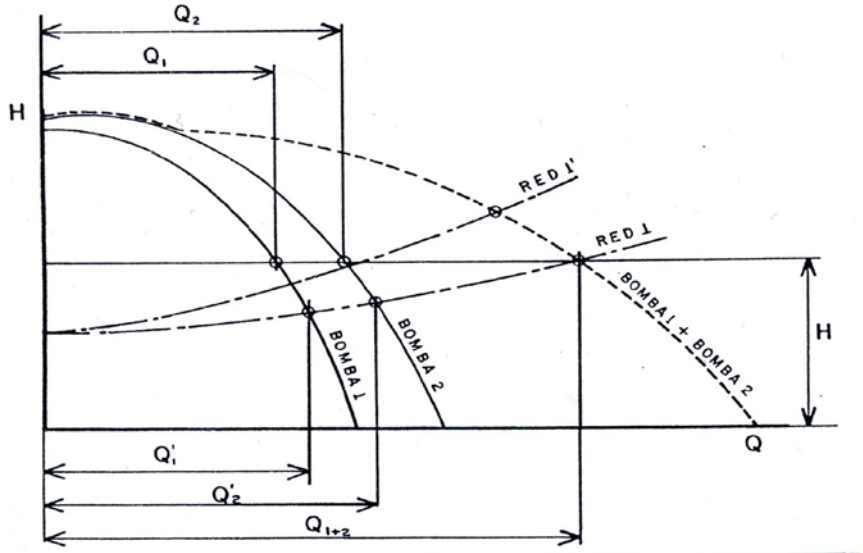
Sobre la misma gráfica puede trazarse la curva característica del sistema y en el cruzamiento de esta curva con la curva resultante de las dos bandas, se obtiene el caudal y altura de elevación en el punto de operación de la instalación.

Si se cambia la altura de operación, la curva característica del conducto o red, arrancara en esta nueva altura, desplazándose paralelamente a sí misma, y se obtiene un nuevo punto de operación.

p. Bombas en Paralelo

Cuando una sola bomba es capaz de dar la altura de elevación requerida, pero no es capaz de dar el caudal necesario, se pueden acoplar dos bombas en paralelo. Estas bombas no necesariamente deben ser iguales. En estas condiciones de funcionamiento la altura de descarga en ambas bombas es la misma y el caudal resultante de la combinación, es la suma de los caudales de cada una de las bombas.

Figura 7: Instalación de dos bombas en paralelo.



Fuente :(Mott, R. (2013) Mecánica de fluidos aplicada (p.p. 237-238). México: Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana S.A.)

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

q. Pérdidas primarias en tuberías

Son las pérdidas de energía debido a los conductos, tuberías o algún otro dispositivo, ocurren pérdidas de energía debido a la fricción interna en el fluido. Las pérdidas de energía traen como resultado una disminución de la presión entre dos puntos del sistema de flujo. (Mott, R. (2013) Mecánica de fluidos aplicada (p.p. 237-238). México: Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana S.A.)

Es muy importante ser capaces de calcular la magnitud de dichas pérdidas de energía.

Las pérdidas primarias se calculan empleando la ecuación de Darcy, una componente de la pérdida de energía se debe a la fricción en el fluido en movimiento. La fricción es proporcional a la cabeza de velocidad del fluido y al cociente de la longitud entre el diámetro de la corriente de flujo, para el caso de flujo en conductos y tuberías. Lo anterior se expresa de manera matemática en la ecuación de Darcy:

$$h_p = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad \text{.....(Ec. 10)}$$

Donde: h_p = pérdidas primarias de energía debido a la fricción.

L = longitud de la corriente de flujo

D = diámetro de la tubería

v = velocidad de flujo promedio

λ = factor de fricción, sin dimensiones.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

La ecuación de Darcy se puede utilizar para calcular la pérdida de energía en secciones largas y rectas de conductos redondos, tanto para flujo laminar como turbulento. La diferencia entre los dos está en la evaluación del factor de fricción λ, que carece de dimensiones.

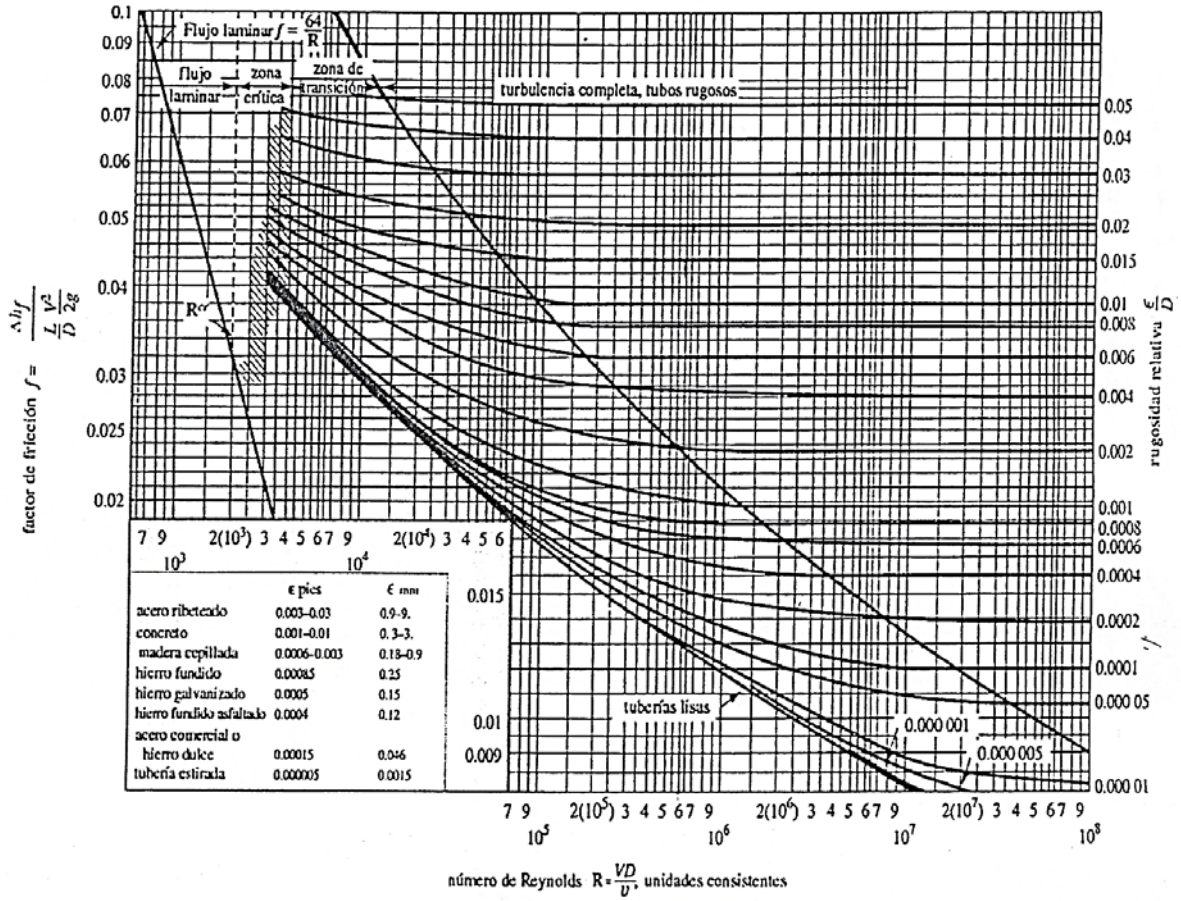
r. Diagrama de Moody

Uno de los métodos más extensamente empleados para evaluar el factor de fricción λ, hace uso del diagrama de Moody que se presenta en el diagrama muestra el factor de fricción, λ, graficado contra el número de Reynolds, N_R con una serie de curvas paramétricas relacionadas con la rugosidad relativa, $D/\in$. Estas curvas fueron generadas a partir de datos experimentales por L.F. Moody. El diagrama de Moody se utiliza como una ayuda para determinar el valor del factor de fricción λ, para flujo turbulento. Debe conocerse los valores del número de Reynolds y de la rugosidad relativa. Por consiguiente, los datos básicos requeridos son el diámetro interior del conducto, el material con que el conducto está hecho, la velocidad de flujo y el tipo de fluido y su temperatura, con los cuales se puede encontrar la viscosidad cinemática (Mott, R. (2013) Mecánica de fluidos aplicada (p.p. 267-268). México: Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana S.A.).

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Figura 8: Diagrama de Moody.



Fuente:https://www.google.com.pe/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=0ahUKEwie-bO4ntrUAhVB5yYKHWSbCoEQjBwIBA&url= http%3A%2F%2Fs3.amazonaws.com%2Fmagoo%2FABAAAASJIAF-0.jpg&psig=AFQjCNECNyN7TgTP87HwppTCJW808oyr4A&ust=1498522744668263

s. Pérdidas secundarias en tuberías

En la mayor parte de los sistemas de flujo, la pérdida de energía primaria se debe a la fricción de conducto, los demás tipos de pérdidas generalmente son pequeñas en comparación, y por consiguiente se hace referencia a ellos como pérdidas menores. Las pérdidas menores ocurren cuando hay un cambio en la sección cruzada de la trayectoria de flujo o en la dirección de flujo, o cuando la trayectoria de flujo se encuentra obstruida, como sucede con una válvula. La

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

energía se pierde bajo estas condiciones debido a fenómenos físicos bastante complejos. La predicción teórica de la magnitud de etas pérdidas también es compleja, y por tanto, normalmente se usan los datos experimentales (Mott, R. (2013) Mecánica de fluidos aplicada (p.p. 267-268). México: Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana S.A.).

Las pérdidas de energía son proporcionales a la cabeza de velocidad del fluido al fluir este alrededor de un codo, a través de una dilatación o contracción de la sección de flujo, o a través de una válvula. Los valores experimentales de pérdidas de energía generalmente se reportan en términos de un coeficiente de resistencia K, de la siguiente forma:

$$h_s = K \cdot \frac{v^2}{2g} \quad \text{.....(Ec. 11)}$$

Donde: h_s = pérdida secundaria o menor.

K = coeficiente de resistencia

v = velocidad de flujo promedio

t. Número de Reynolds

El comportamiento de un fluido, particularmente con respecto a las pérdidas de energía, depende bastante de si el flujo es laminar o turbulento, por esta razón deseamos tener medios para predecir el tipo de flujo sin tener necesidad de observarlo. En efecto, la observación directa es imposible para fluidos que se encuentran en conductos opacos. Se puede mostrar experimentalmente y verificar analíticamente que el carácter del flujo en un conducto redondo depende de cuatro variables: la densidad del fluido, ρ, la

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

viscosidad del fluido, μ, el diámetro del conducto, D, y la velocidad promedio de flujo, v. Osborne Reynolds fue el primero en demostrar que un flujo laminar o turbulento puede ser predico si se conoce la magnitud de un número adimensional, conocido ahora como número de Reynolds (N_R). la ecuación siguiente muestra la definición básica del número de Reynolds (Mott, R. (2013) Mecánica de fluidos aplicada (p.p. 221-222). México: Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana S.A.).

$$N_R = \frac{v \cdot D}{\upsilon} \quad \text{.....(Ec.12)}$$

Donde: N_R = número de Reynolds

v = velocidad de flujo promedio

D_i = diámetro del conducto

υ = viscosidad cinemática.

El número de Reynolds es uno de varios números sin dimensiones que son útiles en el estudio de la mecánica de fluidos y en la transferencia de calor. Para aplicaciones prácticas en flujo de conductos, tenemos que, si N_R es menor que 2000, el flujo será laminar. Tenemos también que, si N_R es mayor que 4000, se puede suponer que el flujo es turbulento. En el intervalo de números de Reynolds comprendido entre 2000 y 4000 es imposible predecir qué tipo de flujo existe; por consiguiente, este intervalo se conoce como región crítica.

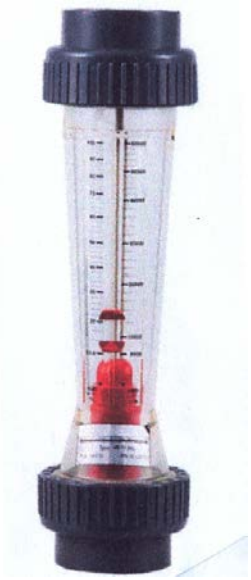
Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

u. Rotámetro

El rotámetro es un instrumento para determinar el caudal de fluidos, es decir, líquidos o gases en tuberías. El rotámetro trabaja según el principio del cuerpo en suspensión. En un tubo de medición de plástico cónico del rotámetro se encuentra un cuerpo en suspensión que es levantado por la inercia del propio fluido. La altura que alcanza el cuerpo en suspensión del rotámetro depende del caudal. Si aumenta el caudal aumenta la resistencia del flujo. El cuerpo en suspensión del rotámetro sube y aumenta la superficie entre el cuerpo en suspensión y el tubo de vidrio. Con ello desciende la resistencia de flujo hasta que es idéntica con la suma de la fuerza del peso del cuerpo en suspensión y la fuerza ascensional. El nivel como medida para el caudal se puede leer en una escala en el rotámetro. (http://www.pce.iberica.es/medidor.rotámetro).

Figura 9: Rotámetro



Fuente: http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/images/rotametro-pce-vs.jpg

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

v. Manómetro

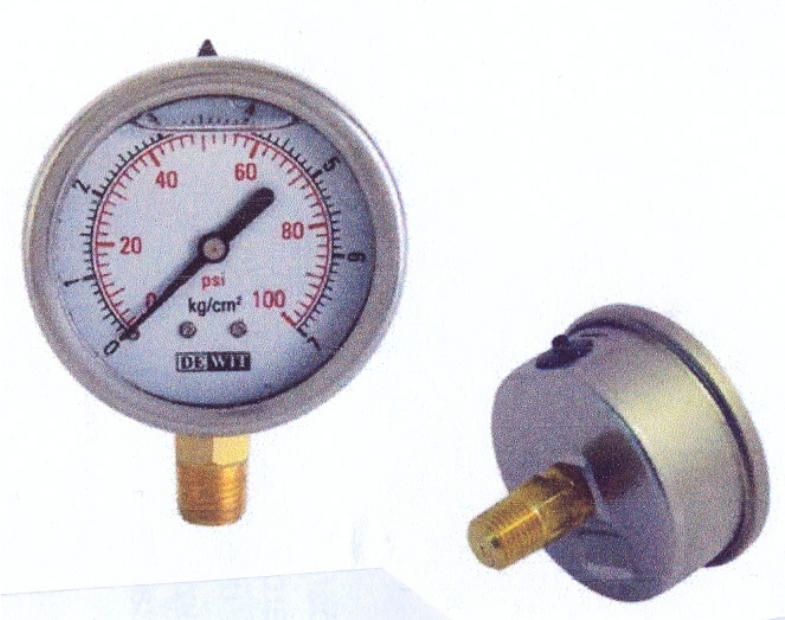
El manómetro tipo Bourdon es un tubo de metal curvo con sección transversal elíptica que se deforma de manera mecánica bajo presión. Se usa como sensor primario en una amplia variedad de medidores de presión. En la práctica, un extremo del tubo se mantiene fijo y en su interior se aplica la presión de entrada. Una diferencia de presión entre el exterior y el interior del tubo provocan su deformación y una deflexión en el extremo libre. Esta acción del tubo bajo presión puede compararse con la acción de un balón desinflado que se infla ligeramente. La magnitud de la deflexión es proporcional a la magnitud de la diferencia de presión. Existen diferentes formas: forma C, espiral y el tubo con torsión. El exterior del tubo está expuesto a la atmósfera (de agua, el origen del término presión manométrica, al referirse a la presión con respecto a la presión atmosférica), pero en algunas variaciones, el tubo puede colocarse dentro de una caja sellada y el exterior se expone a otra presión de referencia (http://www.wika.com.mx/213_53_es_es.wika).

El manómetro lleno de glicerina con caja de acero inoxidable diseñada para ser instalado en ambiente donde existan agentes corrosivos, gran cantidad de polvo, vibración excesiva o presión de la línea tenga severa pulsación o golpes de ariete causados por cambios bruscos de presión en fluidos corrosivos que no ataquen al bronce, como bombas, prensas, etc. El manómetro lleno de glicerina se muestra en la figura 10.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Figura 10: Manómetro lleno de glicerina



Fuente: (http://www.wika.com.mx/213_53_es_es.wika).

w. Vacuómetro

El vacuómetro es un instrumento para medir presiones inferiores a la presión atmosférica, como por ejemplo en la tubería de aspiración de las bombas. En estos manómetros tipo Bourdon la escala está graduada desde una presión negativa hasta una presión de cero. Dependiendo de su diseño puede cubrir la medida de presiones negativas o de vacío desde 10^{-3} a 100 mbar o desde 10^{-6} hasta 10^{-9} mbar (www.titvalv.cl fitvalv@fitbalv.cl).

Se utiliza tanto en la industria como en el campo de la investigación científica y técnica.

En la Fig. 11 se muestra un vacuómetro con glicerina.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Figura 11: Vacuómetro con glicerina

Fuente: http://img.directindustry.es/images_di/photo-m2/33192-2297505.jpg

x. Válvula de globo

Las válvulas tipo globo a diferencia de las válvulas de compuerta, permiten aplicarlas en regulación de fluidos y realizan un cierre hermético cuando cuentan con un asiento flexible (http://www.valvulasymedidores.com/valvulas_globo.html).

En esta clase de válvulas el fluido no corre de manera directa y en una sola dirección como lo hacen las válvulas de compuerta, sino que el fluido entra y sube dentro del cuerpo de la válvula, es estrangulado por el émbolo según qué tan abierta o cerrada se encuentre la válvula, y después baja el fluido hacia la salida de la válvula. En las válvulas globo, el fluido hace un movimiento de columpio dentro donde choca con el émbolo que regula cuánto fluido debe pasar por la válvula.

Las válvulas globo tienen la ventaja de regular, pero tienen la desventaja de que al detener cierta parte del fluido para regularlo, generan una caída de presión dentro de la línea lo que debe ser considerado en los cálculos técnicos

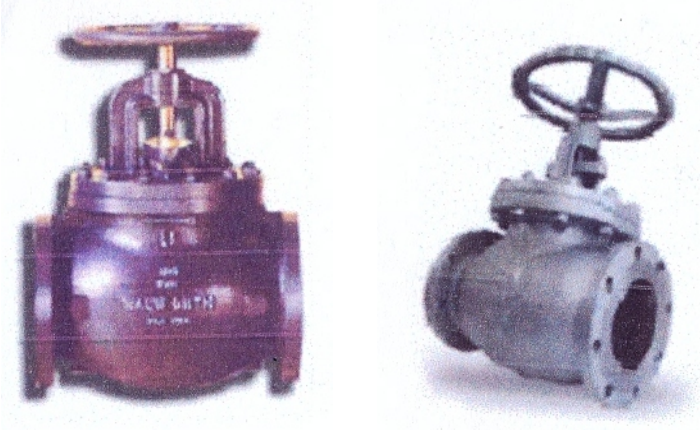
Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

para que esta clase de válvulas y otras circunstancias que hay dentro de la línea no impidan que el fluido deba de llegar hasta donde se requiere.

Las válvulas de globo son más costosas que las de compuerta. Pueden ser fabricados en casi cualquier material como en acero al carbono, acero inoxidable, PVC, bronce y con extremos roscados, bridados, etc. En la Fig. 12. se muestran válvulas de globo.

Figura 12: Válvulas de globo



Fuente: http://www.valvulasymedidores.com/images/valvulas_de_globo.jpg

y. Válvulas de compuerta

Las válvulas de compuerta son válvulas que se encargan de abrir o levantar una compuerta o cuchilla para permitir el libre paso de fluidos(https://es.wikipedia.org/wiki/valvula_de_copuerta/file:valve.jpg).

Las válvulas de compuerta se diferencian por tener un sello, el cual se logra mediante el asiento del disco en dos áreas distribuidas.

La compuerta o cuchilla puede ser redonda o rectangular. Las caras del disco pueden ser paralelas o en forma de cuña. Las válvulas de compuerta se

Repositorio Institucional UNA-PUNO

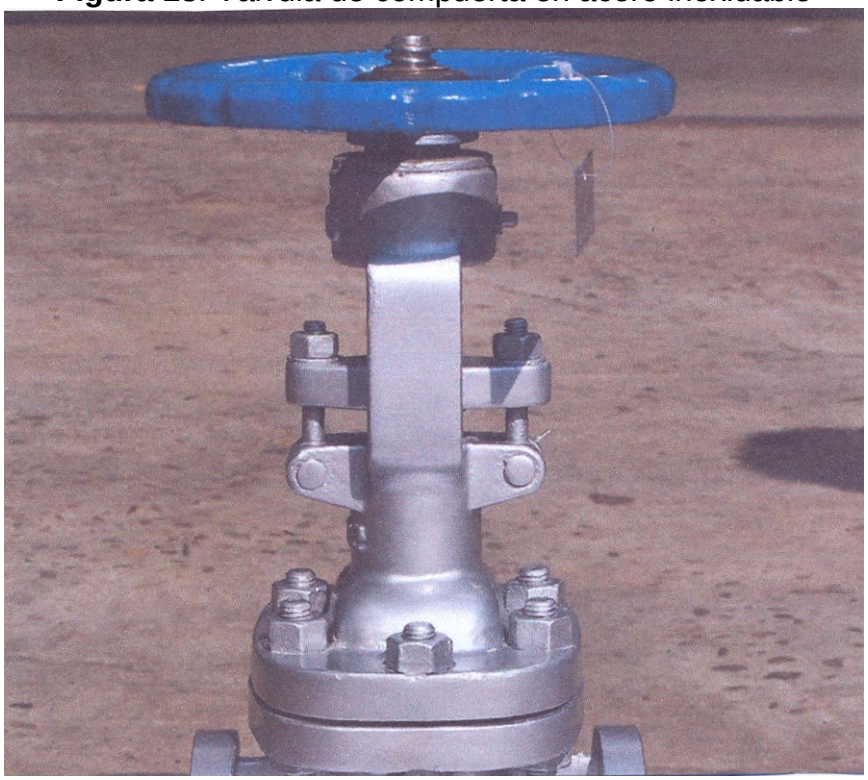
No olvide citar esta tesis

utilizan cuando sea necesario un caudal de fluido rectilíneo, así como una restricción mínima al paso del mismo, las válvulas de compuerta deben su nombre a la pieza que bloquea o permite el paso de flujo, es una compuerta.

La compuerta generalmente es una cuña, cuando la válvula está abierta de par en par la compuerta se ubica completamente en el sobrante de la válvula, esto deja una abertura en la válvula para el paso del fluido del mismo tamaño de la tubería en la cual está instalada (existen válvulas de compuerta de paso completo y paso restringido), por lo tanto hay poca caída de presión o restricciones a través de la válvula.

En la figura 13 se muestra una válvula de compuerta en acero inoxidable.

Figura 13: Válvula de compuerta en acero inoxidable



Fuente:https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/1d/Valve.jpg/130px-Valve. jpg

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

2.2. GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS

a. Bomba

Es una máquina que absorbe energía mecánica y restituye al líquido que la atraviesa energía hidráulica. Se emplean para impulsar toda clase de líquidos y también líquidos espesos con sólidos en suspensión.

b. Cebado de la bomba

Las bombas rotodinámicas no son autocebantes. Las bombas de émbolo y en general todas las de desplazamiento positivo, sí. Si la bomba está llena de agua, se dice que está cebada.

c. Altura de Euler

La altura de Euler es la altura teórica H_e que da la bomba, la altura que el rodete imparte al fluido sin pérdidas

d. Altura manométrica o altura útil

. Altura manométrica, útil o efectiva H que da la bomba es la altura que imparte el rodete o la altura teórica, H_e, menos las pérdidas en el interior de la bomba, H_{ri}.

e. Caudal

El caudal es la cantidad de flujo que fluye en un sistema por unidad de tiempo, que es igual al área de la sección por la velocidad promedio del flujo en el sistema internacional se mida en m^2/S.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

f. Número de Reynolds

Es un número adimensional que se utiliza para determinar si un flujo es laminar o turbulento.

g. Manómetro

El manómetro es un instrumento para medir presiones superiores a la atmosférica, como la presión que existe en la tubería de impulsión de una bomba.

h. Vacuómetro

Instrumento para medir presiones inferiores a la presión atmosférica, es decir presiones de vacío, como la presión que existe en la tubería de aspiración de una bomba.

i. Rotámetro

Los rotámetros o flujómetros son instrumentos utilizados para medir caudales, tanto de líquidos como de gases que trabajan con un salto de presión constante. Consta de un tubo de vidrio de baja conocida, donde un “flotador” bajo la acción de corriente se desplaza verticalmente, e indica sobre una escala graduada directamente el caudal.

j. Curva característica: H-Q

La curva característica H-Q de una bomba es un gráfico que nos describe el comportamiento de una bomba.

k. Altura geodésica

Es la altura de carga estática total de la instalación hidráulica de la bomba y que es igual a la altura existente entre las dos superficies del agua de los

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

recipientes de aspiración e impulsión de la bomba.

l. Ecuación de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli aplicada a la dinámica del fluido que circula en una bomba, es la ecuación de la conservación de la energía que tiene el agua al circular por el sistema hidráulico.

m. Diseño

El diseño mecánico es el diseño de objetos y sistemas de naturaleza mecánica: máquinas, aparatos, dispositivos e instrumentos. En su mayor parte, el diseño mecánico hace uso de las matemáticas, la ciencia de los materiales y la ciencia mecánica aplicada.

n. Bomba en serie

En las instalaciones de bombeo se encuentra el acoplamiento en serie de las bombas cuando el objetivo es elevar la presión, la tubería de impulsión se acopla a la tubería de aspiración de la siguiente bomba y, de esta manera, sucede la suma de las alturas de presión desarrollados.

o. Bombas en paralelo

En las instalaciones de bombeo se encuentra el acomplamiento en paralelo de las bombas cuando el objetivo es aumentar el caudal, al funcionar las dos bombas, sucede la suma de los caudales desarrollados por las bombas.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

2.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

Evaluar que en el proyecto de investigación de la tesis se logre diseñar y construir el módulo de tesis para el laboratorio de Ingeniería Mecánica, como también analizar el estudio experimental del comportamiento de bombas en serie y paralelo.

a) Evaluar el diseño para el módulo de laboratorio que permitirá desarrollar los ensayos experimentales para los cursos de Laboratorio de Ingeniería Mecánica I, II y III. Y así afianzar los conocimientos obtenidos durante la formación universitaria.

b) Evaluar la construcción del módulo de tesis y la elaboración de las seis guías de laboratorio, que nos permitirá analizar el comportamiento de las bombas hidráulicas relacionadas a las curvas características H-Q de bombas en serie y paralelo, curvas del sistema de bombas en serie y paralelo , finalmente la determinación del punto óptimo del funcionamiento de bombas en serie y paralelo, los cuales se desarrollaran.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

2.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLES	TIPO DE VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
Caudal	Dependiente	Metros cúbicos por segundo	m^3/S
Tiempo	Independiente	Segundo	S
Volumen	Dependiente	Metros cúbicos	m^3
Masa	Independiente	Kilogramos	Kg
Diámetro	Independiente	Metros	m
Velocidad	Dependiente	Metros por segundo	m/s
Altura manométrica	Dependiente	Metros	m
Altura geodésica	Dependiente	Metros	m
Altura de velocidad	Dependiente	Metros	m
Altura de carga estática	Dependiente	Metros	m
Área	Dependiente	Metros cuadrados	m^2
Peso específico	Dependiente	Newton por metros cúbicos	N/m^3
Pérdidas primarias	Dependiente	Metros	m
Pérdidas secundarias	Dependiente	Metros	m
Temperatura	Dependiente	Grados Celsius	ºC
Presión de succión	Dependiente	Pascales	Pa
Presión de impulsión	Dependiente	Pascales	Pa
Potencia	Dependiente	Watt	W

Elaboración: propia.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

CAPÍTULO III

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN

3.0. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La tesis desarrollada es un proyecto de investigación que tiene alcance explicativo referente al comportamiento de bombas, por lo tanto el tipo de nuestra investigación es aplicada y experimental.

Por la naturaleza experimental, en nuestro proyecto de investigación no es necesario considerar la población ni la determinación de una muestra representativa de la población.

3.1. UBICACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

La tesis desarrollada cuyo objetivo fue diseñar y construir un módulo de laboratorio, tuvo como ubicación el Laboratorio de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno; en el que precisamente se realizó el montaje del módulo.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Una vez que se precisó el planteamiento del problema, se definió el alcance de la investigación, es decir el diseño y construcción del módulo de laboratorio, visualizamos la manera práctica y concreta de cumplir el objetivo, trazando el diseño que se refiere el plan o estrategia para cumplir el objetivo de la tesis.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

El diseño de investigación en ingeniería mecánica incluye el diseño mecánico, que es un estudio de mayor amplitud que abarca todas las disciplinas de la ingeniería mecánica, incluso las ciencias térmicas y de los fluidos.

Nuestro diseño de la investigación abarcó dos aspectos:

- La ingeniería de diseño y construcción del módulo de laboratorio, que abarcó todas las fases del diseño mecánico.

La validación experimental del módulo de laboratorio (prototipo) a través de los ensayos que se realizó en el módulo de laboratorio y los resultados experimentales óptimos que se obtuvo.

3.3. INGENIERÍA DE DISEÑO DEL MÓDULO DE LABORATORIO

Para el diseño del módulo de laboratorio para el estudio experimental de bombas en serie y paralelo, en principio nos basamos en la formulación del planteamiento del problema, en la que detectamos que los módulos de las mismas características técnicas que ofrece el mercado, no son adecuados desde el punto de vista de la didáctica y pedagogía, porque son compactos y solo con un depósito de agua, lo cual no permite ver claramente los parámetros referidos a la altura de carga geodésica, altura de velocidad, altura de carga estática. Por lo que en nuestro diseño nuestro módulo se diseñó considerando este aspecto negativo y en el diseño del sistema hidráulico de las bombas, este tiene el esquema que se presenta en la bibliográfica de bombas y que su visualización permite un mejor aprendizaje sobre el comportamiento de las bombas.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

3.3.1. Diseño del Sistema Hidráulico de las Bombas

Considerando los aspectos de espacio e infraestructura que se tiene en el laboratorio de Ingeniería Mecánica y el aspecto académico respecto a la instalación hidráulica que debe tener el módulo, para una enseñanza adecuada del docente y un aprendizaje eficiente de los estudiantes, la instalación hidráulica del módulo tiene la siguiente disposición:

El módulo tendrá las siguientes características técnicas:

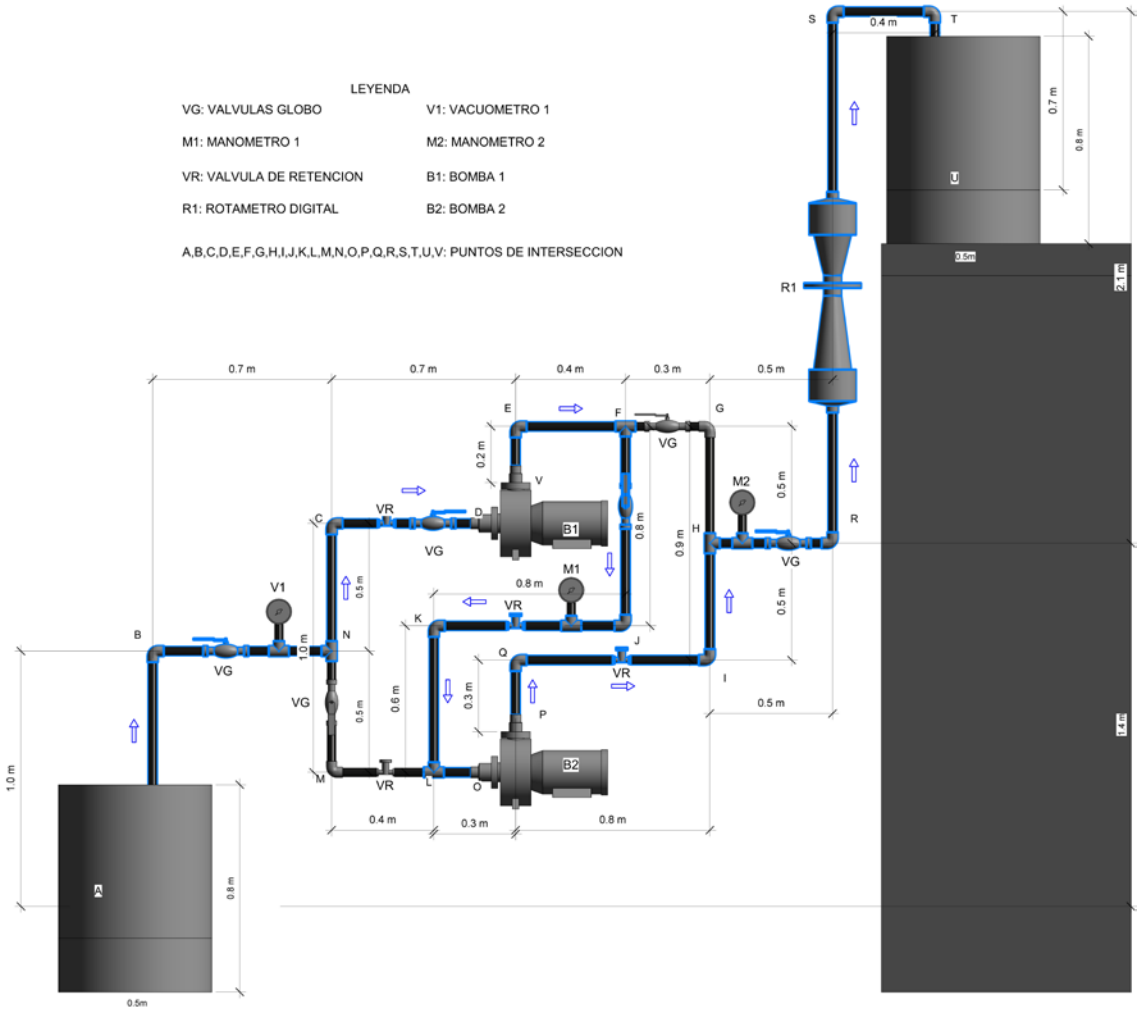
- Dos depósitos de agua: Las dimensiones de cada uno de los depósitos de vidrio transparente son: el área de la base es de 0,50 m $\times$ 0,50 m con una altura de 0,80 m, con una capacidad de 0,20 m^3 = 200 L. Uno estará ubicado en el piso y el otro a una altura de 2,80 m respecto al piso, como se muestra en la Fig. 13.
- Las tuberías de la instalación hidráulica son de pvc de 1 pulgada de diámetro, las que se montarán de tal manera que el soporte será la pared del laboratorio.
- Dos manómetros: para medir la presión en las tuberías de impulsión, los que se ubicarán a la salida de las bombas, de seleccionarán manómetros bañados en glicerina por ser instrumentos de mayor confiabilidad.
- Un vacuómetro: para medir la presión en las tuberías de succión, las que se ubicarán a la entrada de las bombas, se seleccionarán vacuómetros bañados en glicerina por ser instrumentos de mayor confiabilidad.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

- Un rotámetro: instrumento de lectura directa de caudal que circulará en las tuberías, el que se instalará al final del circuito hidráulico, antes del depósito de agua superior.
- Válvulas de globo: las que se instalarán en el circuito hidráulico, con el objetivo de determinar el circuito de funcionamiento de las bombas en serie y paralelo.
- Válvulas de compuerta: esta válvula sirve para aumentar o disminuir el caudal de agua que circula en el sistema de tuberías.

Figura 14: Circuito hidráulico para bombas en serie



Elaboración: propia

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

3.3.2. Selección de las Bombas Hidráulicas

Para seleccionar las bombas debe estudiarse el esquema de la instalación hidráulica por donde circula el agua, para lo cual calcularemos la potencia necesaria que debe tener cada bomba para garantizar que el agua llegue al depósito para garantizar que el agua llegue al depósito superior y la circulación constante. Para lo cual es necesario determinar la altura manométrica de la instalación hidráulica del módulo y especificar el caudal que garantizará la bomba a seleccionar.

3.3.3. Cálculo de la altura manómetro o efectiva de la bomba (Hm)

Para calcular la altura manométrica o útil de la bomba estudiaremos la instalación hidráulica del módulo, para calcular óptimamente H_m con miras a encargar la bomba más adecuada para la instalación que se proyecta.

Para el estudio de la bomba y de la instalación es importante considerar las secciones siguientes que se han indicado en la Fig. 1:

- Sección 1: nivel superior del agua en depósito de aspiración.
- Sección 2: nivel superior dela gua en el depósito de impulsión.
- Sección e: entrada a la bomba.
- Sección s: salida de la bomba.

Como la instalación consta de metros de tubería y de accesorios (codos, válvulas, contracciones, etc.), consideraremos para el cálculo, las pérdidas primarias en los tramos rectos y en los accesorios pérdidas secundarias; las cuales constituyen las pérdidas exteriores a la bomba.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Aplicando la ecuación de Bernoulli entre las secciones 1 y 2 de la Fig. 1, se obtuvo en el sustento teórico:

$$H_m = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + Z_2 - Z_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + h_p + h_s \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\text{(Ec. 13)}$$

Simplificando, a la siguiente expresión por las características de la instalación del módulo: Como los depósitos de aspiración e impulsión estarán abiertos a la atmósfera, entonces $\frac{P_2 - P_1}{\gamma} = 0$.

También como los diámetros de las tuberías de aspiración e impulsión son iguales, entonces $\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} = 0$.

$$H_m = (Z_2 - Z_1) + h_p + h_s \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\text{(Ec. 14)}$$

Donde: H_m = altura manométrica o efectiva de la bomba.

$(Z_2 - Z_1)$ = altura geodésica de la instalación hidráulica.

h_p = pérdidas primarias.

h_s = pérdidas secundarias.

3.3.3.1. Altura manométrica para bombas en serie

En la ecuación (Ec. 14), la altura geodésica del sistema hidráulico del módulo es igual a la altura comprendida entre los niveles de agua de los depósitos de impulsión y succión. Para lo cual consideramos que los depósitos de agua se llenarán hasta los ¾ de su altura de 0,8 m, es decir la altura del agua en los depósitos será de:

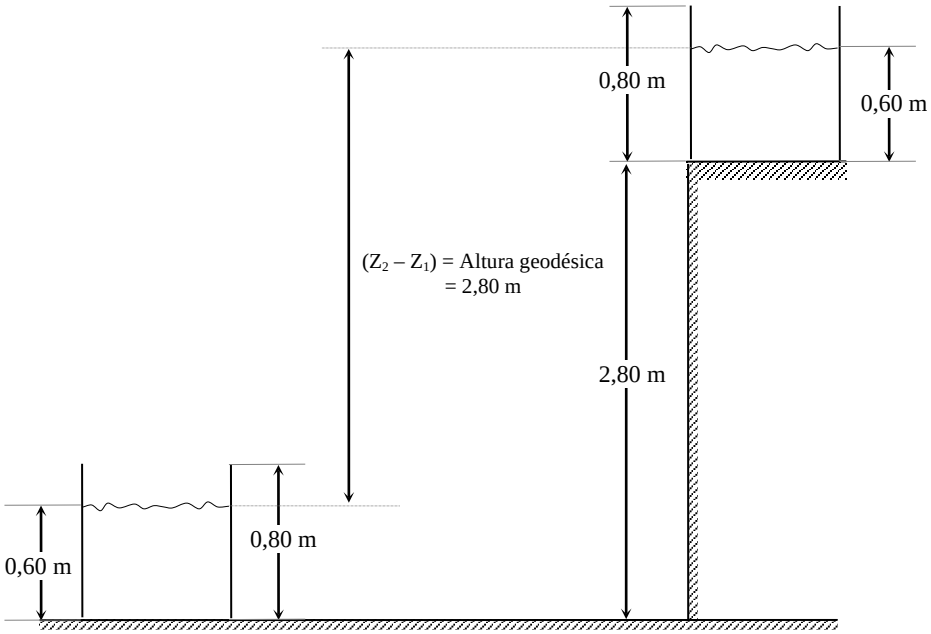
Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

$$\frac{3}{4}(0{,}80\ \text{m}) = 0{,}60\ \text{m}$$

Entonces, la altura geodésica ($Z_2 - Z_1$) se determinará en el siguiente esquema gráfico.

Figura 15: Determinación de la altura geodésica.



Elaboración: propia

3.3.3.2. Cálculo de las pérdidas primarias para bomba en serie

Las pérdidas de carga primarias en las tuberías son las pérdidas de superficie en el contacto del fluido con la tubería, rozamiento de unas capas de fluido con otros o de las partículas de fluido entre sí.

Para el cálculo de las pérdidas emplearemos la ecuación general de las pérdidas primarias conocida como la ecuación de Darcy-Weisbach

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

$$h_p = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad \text{.....(Ec. 15)}$$

Donde: h_p = pérdida de carga primaria

λ = coeficiente de pérdida de carga primaria

L = longitud de la tubería

D = diámetro de la tubería

v = velocidad media del fluido

Esta fórmula es de uso universal en los libros y formularios de hidráulica.

Para la determinación del coeficiente de pérdida de carga primaria (λ) usaremos el ábaco llamado diagrama de Moody, que resuelve todos los problemas de pérdidas de carga primaria en tuberías con cualquier diámetro, cualquier material de tubería y cualquier caudal.

En el siguiente esquema del circuito hidráulico funcionando las bombas en serie (Fig. 16) se determinó la longitud de la tubería de pvc:

L = 1.00 + 0.5 + 0.70 + 0.70 + 0.20 + 0.40 + 0.80 + 0.80 + 0.60 + 0.10 + 0.30 + 0.80 + 0.50 + 0.50 + 2.10 + 0.40 + 0.70

L = 11.1 m

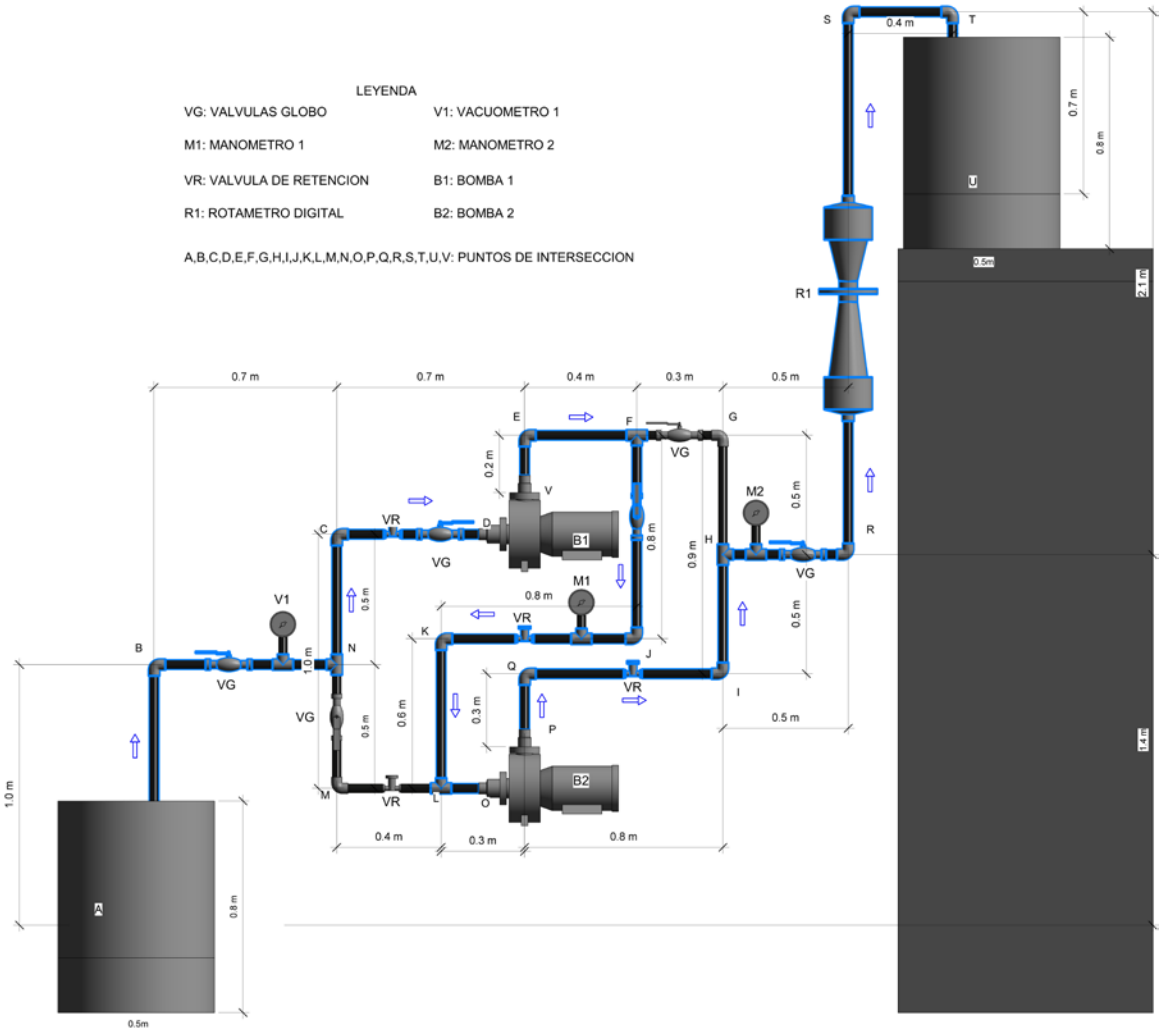
El diámetro de las tuberías se consideró de 1 pulgada:

Di = 1 pulg = 2.62 cm = 0.0262 m

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Figura 16: Circuito hidráulico para bombas en serie



Elaboración: propia

Para el cálculo de la velocidad, por consideraciones de diseño, se debe considerar el caudal máximo que bombean las bombas disponibles en el mercado y; que por la naturaleza y tamaño del sistema hidráulico del módulo de laboratorio la bomba será como máximo de 1 HP o 0,5 HP; por lo que nuestro caudal de diseño será de 35 L/min.

Entonces:

$$Q_{\alpha} = 35\frac{L}{min} = 0{,}035\frac{m^3}{min} = 5{,}38\times10^{-4}\frac{m^3}{S}$$

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Como: $Q_d = A \cdot V$

Entonces: $$V = \frac{Q_d}{A} \quad \text{.....(Ec. 16)}$$

El diámetro de la tubería que se consideró fue de D = 1 pulg.

Para una tubería de diámetro nominal de 1 pulgada, su diámetro interior es igual: (Mott, R. (2012) Mecánica de fluidos aplicada (pp. 549) México: Editorial Prentice - Hall Hispanoamericana, S.A.)

$$D_{ext}\,(1") = 33.4mm$$

$$D_i\,(1") = 1\ pulg = 26.2\ mm$$

Y calculando su área de flujo:

$$A = \frac{\pi}{4}(0.0262m)^2 = 5.39x10^{-4}m^2$$

Reemplazando en la ecuación (Ec. 16):

$$V = \frac{5.38x10^{-4}\frac{m^3}{s}}{5.39x10^{-4}m^2}$$

$$V = 1\ {}^{m}/_{s}$$

La determinación de λ, coeficiente de pérdida de carga primaria, lo hacemos utilizando el diagrama de Moody, para su utilización necesitamos calcular el número de Reynolds:

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

La viscosidad cinemática del agua lo consideramos a una temperatura ambiente de 15ºC, entonces: $\upsilon = 1{,}15 \times 10^{-6} \frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{S}}$.

Reemplazando en (Ec. 12)

$$N_R = \frac{\left(1.00 \frac{m}{s}\right).(0{,}0262\ \mathrm{m})}{1.15x10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$N_R = 2.28x10^4$$

Para el diagrama de Moody, necesitamos también la rugosidad relativa del PVC, utilizando el diagrama de moody de la Fig. 17

$$Rugosidad\ Relativa(PVC) = \frac{\epsilon}{D} = \frac{0.0015\ mm}{26.2\ mm} = 5.7252x10^{-5}$$

$$N_R = 2.28x10^4$$ y

$$\frac{\epsilon}{D} = 5.7252x10^{-5}$$

Fuente E= Rugosidad de tubo PVC: http://www.tuberiadepvc.mx/Tuberia-Hidraulica-de-PVC-Cedula-80.html

Obtenemos: λ=0.025

Calculando las pérdidas primarias en la ecuación (Ec. 15):

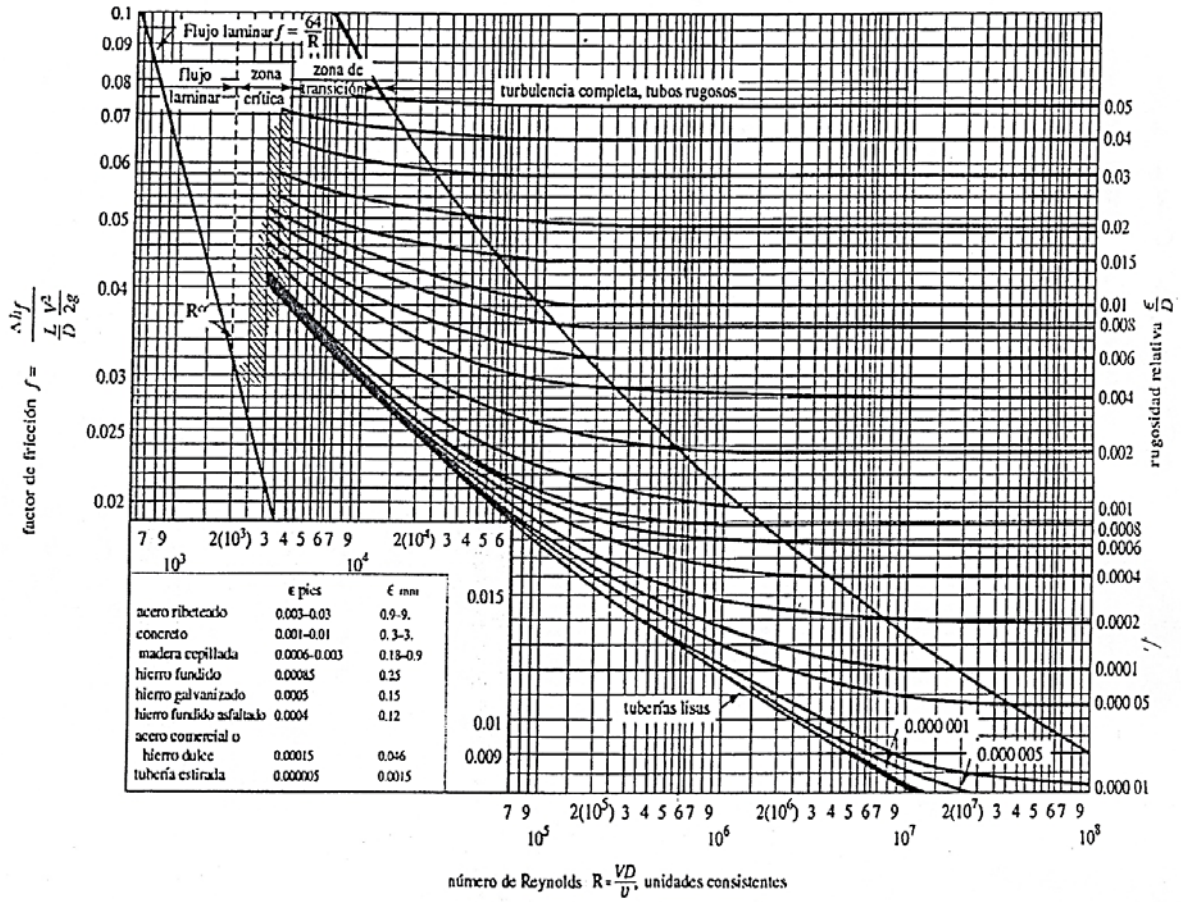
$$h_p = 0.025 \frac{11.1}{0.0262} x \frac{1^2}{2(9.81)}$$

$$h_p = 0.54\ m$$

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Figura 17: Diagrama de Moody



Fuente: Mott, R. (2012). Mecánica de Fluidos Aplicada (pp. 241).

3.3.3.3. Cálculo de las pérdidas secundarias para bombas en serie

Estas pérdidas de forma, que tienen lugar en los cambios de sección y dirección de la corriente, en las contracciones, ensanchamientos, codos, válvulas de diferentes tipos, etc.; en general en todos los accesorios de tuberías. Estos elementos producen una perturbación de la corriente que origina remolinos y desprendimientos, que intensifican las pérdidas.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Para el cálculo de las pérdidas secundarias emplearemos la siguiente ecuación:

$$h_s = K\frac{v^2}{2g} \quad \text{.....(Ec. 17)}$$

Donde:

H_s pérdidas de carga secundaria

K = coeficiente adimensional de pérdida de carga secundaria

v = velocidad media en la tubería

El coeficiente (K) de pérdida de carga secundaria depende del tipo de accesorio, del número de Reynolds, de la rugosidad y hasta de la configuración en la corriente antes del accesorio. El valor de K se calculará con la siguiente fórmula:

$$K = \frac{L_e}{D} f_t \quad \text{.....(Ec. 18)}$$

El valor de Le/D, es considerado como una constante para un tipo de válvula o juntura. El valor Le es denominado longitud equivalente y es la longitud del conducto recto del mismo diámetro nominal como la válvula o junta que tendría la misma resistencia que esta. El termino D es el diámetro interno real del conducto.

El termino f_t es el factor de fricción en el conducto al cual está conectada la válvula o juntura, tomado en la zona de turbulencia completa.

Considerando el circuito hidráulico para bombas en serie de la Fig. 16, se tabulan los accesorios para determinar sus correspondientes coeficientes de pérdida de carga secundaria:

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Punto para la rugosidad relativa: $5.7x10^{-5}$

Punto para el número de Reynolds: $2.28x10^{4}$

Con los puntos anteriores hallamos f_t en zona de turbulencia completa:

$$f_t = 0.0105$$

Tabla 3.1: Cálculo de la sumatoria del Coeficiente de pérdidas secundarias

ACCESORIOS	Formula	f_t	Cantidad	K	
				Unitario	Total
Válvula de pie	$420.f_t$ (1)	0.0105	1	4.41	4.41
Válvula Tipo Bola	$150.f_t$ (2)	0.0105	4	1.575	6.30
Válvula check	$50.f_t$ (1)	0.0105	3	0.525	1.575
Codos 90º	$30.f_t$ (1)	0.0105	10	0.315	3.15
Tees	$60.f_t$ (1)	0.0105	4	0.63	2.52
TOTAL (ΣK)					17.96

Fuente:(1) http://myslide.es/documents/coeficiente-de-resistencia-k-valvulas-y-accesorios.html
(2) Mecánica de Fluidos Aplicada (Robert L. Mott)

Para el cálculo anterior, las válvulas se han considerado completamente abiertas y los empalmes con la tubería son roscadas.

Los valores de K varían de acuerdo al tipo de material empleado, las dimensiones geométricas reales, el tipo de fabricación, etc., pero las tablas (en Anexo) empleadas nos dan valores bastante aproximados, lo que nos permite obtener resultados correctos.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Las pérdidas secundarias las determinaremos empleando la expresión:

$$h_s = \left(\sum K\right)\frac{v^2}{2g} \quad \text{.....(Ec. 19)}$$

Entonces:

$$h_s = \frac{(17.96)(1.00)^2}{2(9.81\ m/s^2)}$$

$$h_s = 0.91\ m$$

Para la pérdida que provoca el medidor de lectura directo (rotámetro) consideramos el catálogo del fabricante en las “curvas de caía de presión”, para un flujo de 0,0006 m^3/S se lee: 9,0 $lb/pulg^2$ = 0,683 Kg/cm^2, presión que en columna de altura de presión de agua es igual a 6,33 m.

Por consiguiente, la altura de pérdidas secundarias será de:

$$h_s = 0.91 + 6{,}33$$

$$h_s = 7.24\ m$$

3.3.3.4. Cálculo de las pérdidas totales para bombas en serie

Las pérdidas totales (h) será igual a la suma de las pérdidas primarias más las pérdidas secundarias:

$$h = 0.54 + 7.24 = 7.78\ m$$

Como la tubería va a tener una duración estimada de 10 años y se requiere mantener el mismo flujo (Q), y como la resistencia (rugosidad) de un tubo

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

aumenta con la edad, dependiendo de las características químicas del agua que fluye y de las propiedades del material que está hecho, donde los depósitos químicos reducen el área del tubo; lo que aumenta la resistencia al flujo (aumentan las pérdidas totales h_T), motivo por el cual se usaremos, un factor de envejecieminto(f_e) que multiplicará a la "h", para considerar el efecto de envejecimiento de la tubería:

$$f_e = 2{,}20$$

Entonces:

$$h_{envje} = f_e \times h \text{.....(Ec. 20)}$$

$$h_{envje} = 2{,}20 \times 7.78$$

$$h_{envje} = 17.12 \text{ m}$$

3.3.4. Cálculo de la potencia de la bomba en serie

En el módulo de laboratorio las bombas serán de la misma potencia, con esta consideración de diseño el cálculo de la potencia de cada bomba que serán idénticas, se realizará utilizando la siguiente fórmula:

$$P_B = \frac{\gamma\, Q\, H_m}{\eta_B} \text{.....(Ec. 21)}$$

Donde: P_B = potencia de la bomba en Watts

Q = Caudal en m^3/S

H_m = altura manométrica de la bomba

η_B = eficiencia de la bomba

γ = peso específico dela gua

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

La cuantificación de los parámetros para el cálculo de la potencia se realizó con los siguientes criterios de diseño:

- Q: En el circuito hidráulico cuando dos bombas están funcionando en serie, el caudal que circula es constante en todo el circuito, por lo que se consideró el caudal de diseño.

- H_m : la altura manométrica, útil o efectiva de cada bomba se determinará utilizando la ecuación (Ec. 14):

$$H_m = (Z_2 - Z_1) + h_P + h_S$$

La altura geodésica ($Z_2 - Z_1$) se calculó en el acápite 3.4.2.1 y que es igual a:

$$Z_2 - Z_1 = 2{,}80 \text{ m}$$

Esta altura geodésica es igual, así en la instalación hidráulica existan dos bombas o una sola.

Las pérdidas totales ($h_P + h_S$) se calcularon en el acápite 3.4.2.4; cuyo resultado considerando por diseño el factor de envejecimiento fue de:

$$h_p + h_s = h_{envje} = 42{,}66 \text{ m}$$

Estas pérdidas del sistema de instalación hidráulica de 42,66 m es una parte de la altura de bombeo que debe ser suministrado al fluido (agua) por las dos bombas, pero como se ha considerado en la ecuación (Ec. 14) la altura de bomba total es igual a:

$$H_m = (Z_2 - Z_1) + h_P + h_S$$

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

$H_m = 2{,}80 + 17.12$

$H_m = 19.92$ m

Por consiguiente, la potencia necesaria de la bomba la calcularemos con la ecuación (Ec. 21).

Donde se considerará el peso específico del agua a 15ºC:

$\gamma = 9{,}81$ KN/m^3

El caudal $Q = 5{,}83 \times 10^{-4}$ m^3/S

La eficiencia de la bomba, considerando un factor de seguridad conservador, la consideraremos como (Mendoza, E. (2012). Bombas hidráulicas (pp. 88-89) Perú: Editorial Universidad Técnica del Collao.):

$\eta_B = 0{,}8$

Entonces:

$$P_B = \frac{9.81x10^3 \frac{N}{m^3} * 5.83x10^{-4} \frac{m^3}{s} * 19.92}{0.8}$$

$$P_B = 142.41\ Watt$$

$$P_B = 0.19\ HP$$

En el mercado comercial de la región, la disponibilidad de bombas con una potencia en HP aproximado al calculado es de 0,5 HP, y que la potencia de las bombas instaladas en el módulo del laboratorio.

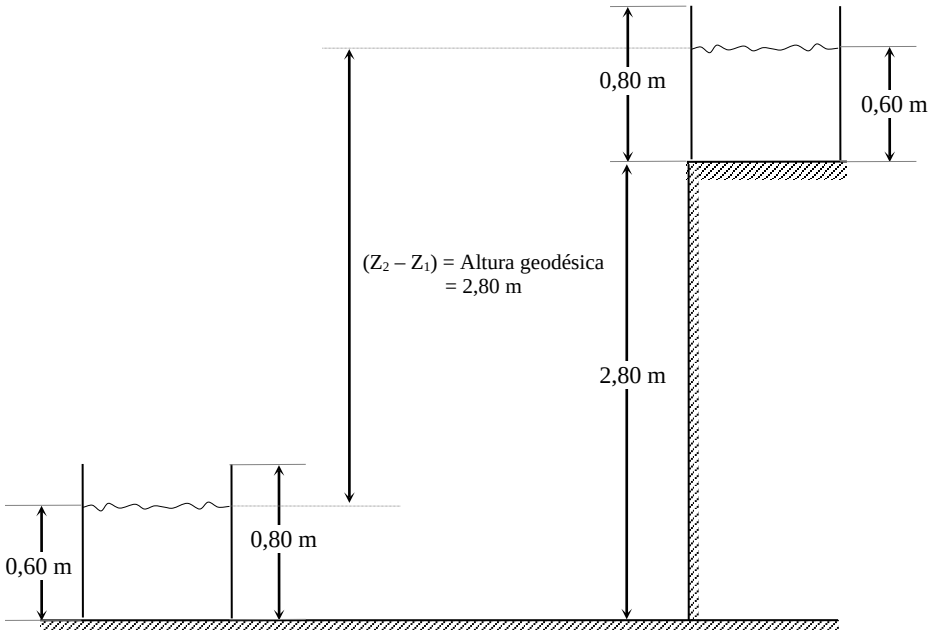
Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

3.3.4.1. Cálculo de la altura geodésica para bombas en paralelo

En la ecuación (Ec. 14), la altura geodésica del sistema hidráulico en paralelo es igual a la altura geodésica del sistema hidráulico en serie. Como se determina gráficamente en la figura 18.

Figura 18: Determinación de la altura geodésica.



Elaboración: propia.

3.3.4.2. Cálculo de las pérdidas primarias para bombas en paralelo

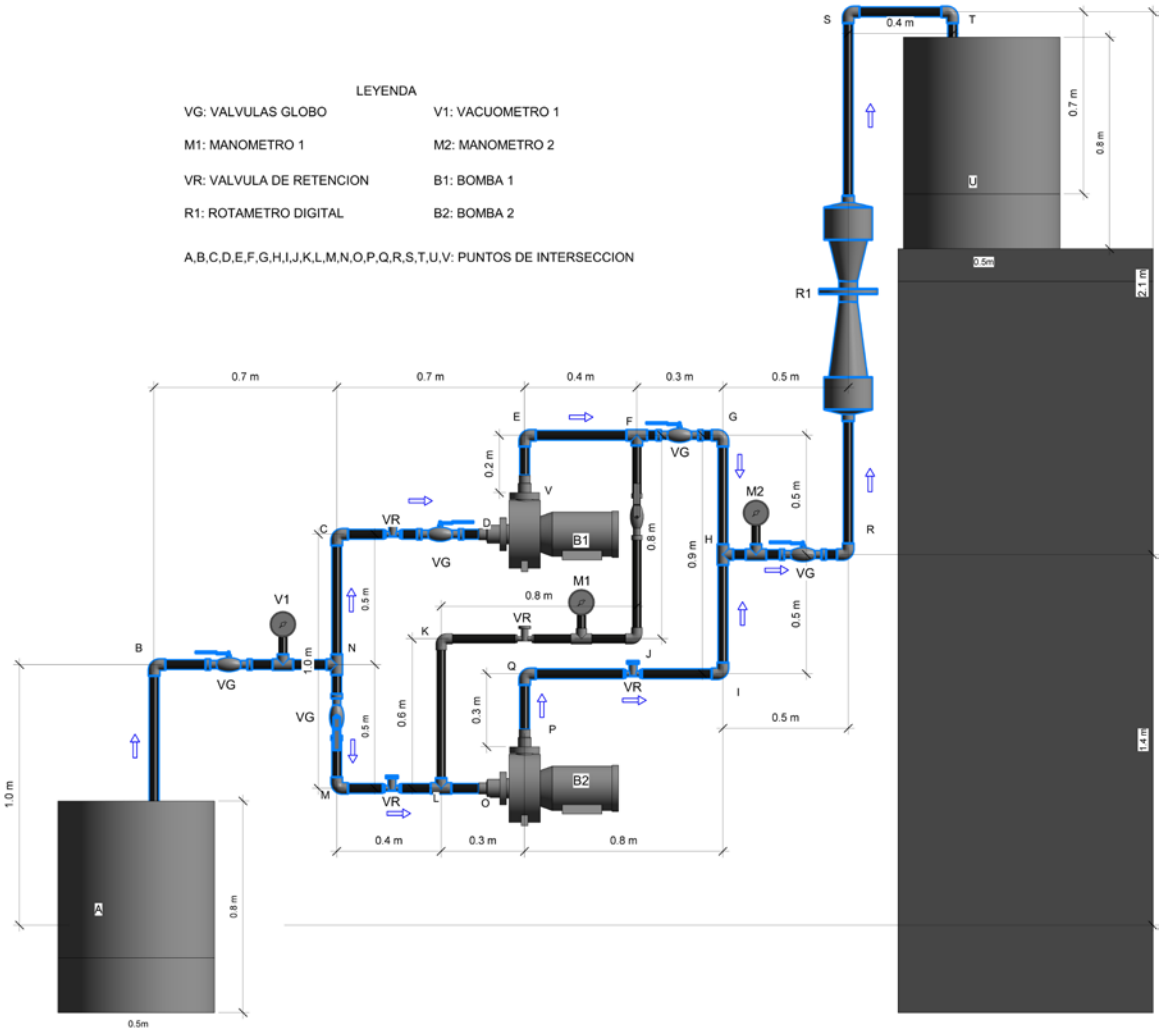
Las pérdidas de cargas primarias en las tuberías para el acoplamiento de bombas en paralelo, se calculó en forma similar para las bombas en serie.

Para el cálculo de las pérdidas emplearemos la ecuación general de las pérdidas primarias conocidas como la ecuación de Darcy – Weisbach; ecuación (Ec. 15). En el esquema del circuito hidráulico funcionando las bombas en paralelo (Fig. 19) se determinó la longitud de la tubería de fierro galvanizado (L) en metros:

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Figura 19: Circuito hidráulico para bombas en paralelo.



Elaboración: propia

L = 1 + 0.7 + 2(0.5) + 1.5(2) + 0.2 + 0.3 + 0.5(2) + 0.5 + 2.1 + 0.4 + 0.7 = 10.9 m

El diámetro (D) interior de la tubería de 1,0 pulg. es igual a:

D_{ext} (1”) = 33.4mm

D_i (1”) = 1 pulg = 26.2 mm

Fuente:http://www.tuberiadepvc.mx/Tuberia-Hidraulica-de-PVC-Cedula-80.html

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

El área es igual a:

$$A = \frac{\pi}{4}(0.0262m)^2 = 5.39x10^{-4}m^2$$

El caudal que circulará en el acoplamiento en paralelo será:

Q = 2(5,83 × 10^{-4} m^3/S) = 11,66 m^3/S

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{11.66x10^{-4}\ m^3/_S}{5.39x10^{-4}\ m^2}$$

$$V = 2.16\ {}^{m}/_{S}$$

Para la determinación de λ, determinamos el número de Reynolds (Ec. 12):

$$N_R = \frac{(2.16\ {}^{m}/_{S})(0.0262\,m)}{1.15x10^{-6}\ {}^{m^2}/_{S}}$$

$$N_R = 4.9x10^4$$

Para el diagrama de Moody, necesitamos la rugosidad relativa del tuvo pvc, utilizando el diagrama de la Fig. 20 diagrama de moody :

$$Rugosidad\ Relativa(PVC) = \frac{\epsilon}{D} = \frac{0.0015\ mm}{26.2\ mm} = 5.7252x10^{-5}$$

Utilizando el diagrama de la Fig. 20, con los parámetros:

N_R = 4,9 × 10^4

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

$$\frac{\epsilon}{D} = 0.00005$$

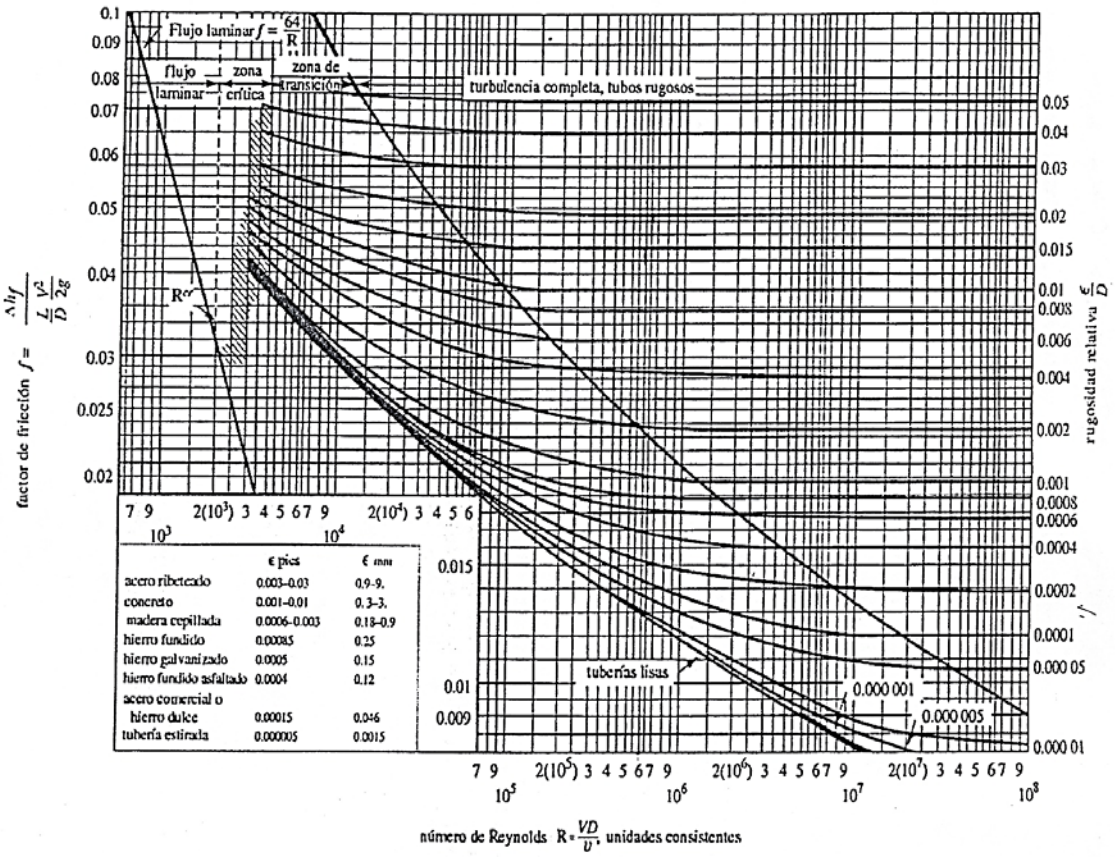
Obtenemos: $\lambda = 0{,}0215$

Calculando las pérdidas primarias con la ecuación (Ec. 15):

$$h_p = \frac{0.0215(10.9)(2.16)^2}{0.0262(2x9.8)}$$

$$h_p = 2.13\ m$$

Figura 20: Diagrama de Moody .



Fuente: Mott, R. (2012). Mecánica de Fluidos Aplicada (pp. 241).

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

3.3.4.3. Cálculo de las pérdidas secundarias para bombas en paralelo

Para el cálculo de las pérdidas secundarias para el acoplamiento de bombas en paralelo, emplearemos la ecuación (Ec. 18) análogamente que en el acoplamiento en serie:

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

Por lo que el valor de K se calculara con la siguiente fórmula:

$$K = \frac{L_e}{D} f_t$$

El valor de Le/D, es considerado como una constante para un tipo de válvula o juntura. El valor Le es denominado longitud equivalente y es la longitud del conducto recto del mismo diámetro nominal como la válvula o junta que tendría la misma resistencia que esta. El termino D es el diámetro interno real del conducto.

El termino f_t es el factor de fricción en el conducto al cual está conectada la válvula o juntura, tomado en la zona de turbulencia completa.

Punto para la rugosidad relativa: $5.7x10^{-5}$

Punto para el número de Reynolds: $4.9x10^{-4}$

Con los puntos anteriores hallamos f_t en zona de turbulencia completa:

$$f_t = 0.0105$$

Considerando el circuito hidráulico par bombas en paralelo en la Fig. 19, se tabulan los accesorios para determinar sus correspondientes coeficientes de pérdida de carga secundaria:

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Tabla 3.2: Cálculo de la sumatoria del coeficiente de pérdidas secundarias

ACCESORIOS	Formula	f_t	Cantidad	K	
				Unitario	Total
Válvula de pie	$420.f_t$ (1)	0.0105	1	4.41	4.41
Válvula Tipo Bola	$150.f_t$ (2)	0.0105	5	1.575	6.30
Válvula check	$50.f_t$ (1)	0.0105	3	0.525	1.575
Codos 90º	$30.f_t$ (1)	0.0105	10	0.315	3.15
Tees	$20.f_t$ (1)	0.0105	4	0.21	0.84
TOTAL (ΣK)					16.28

Fuente:(1) http://myslide.es/documents/coeficiente-de-resistencia-k-valvulas-y accesorios.html
(2) Mecánica de Fluidos Aplicada (Robert L. Mott)

Las pérdidas secundarias las determinamos empleando la ecuación (Ec.19):

Entonces:

$$h_s = \frac{16.28(2.16)^2}{2x9.8}$$

$$h_s = 3.88\ m$$

La pérdida en el rotámetro es de 6,33 m, como en bombas en serie, entonces la pérdida secundaria total será:

$$h_s = 3.88 + 6{,}33$$

$$h_s = 10.21\ m$$

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

3.3.4.4. Cálculo de las pérdidas totales para bombas en paralelo

Las pérdidas totales (h) serán igual a la suma de las pérdidas primarias más las pérdidas secundarias:

$$h = 2.13 + 10.21$$

$$h_s = 12.34 \text{ m}$$

Considerando el factor de envejecimiento de las tuberías por 10 años de vida útil, análogamente a la conexión de bombas en serie:

$$f_e = 2{,}20$$

Entonces, empleando la ecuación (Ec. 20):

$$h_{envje} = 2{,}20\ (12.34)$$

$$h_{envje} = 27.15 \text{ m}$$

3.3.4.5. Cálculo de la potencia de la bomba en paralelo

En el módulo de laboratorio las bombas serán de la misma potencia, con esta consideración de diseño, el cálculo de la potencia de cada bomba, que serán idénticas, se realizará análogamente de conexión de bombas en serie y utilizando la ecuación (Ec. 21).

Donde: $\gamma = 9{,}81 \text{ KN/m}^3$

$$Q = 11{,}66 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{S}$$

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

La altura manométrica o efectiva (H_m) de cada bomba se determinará utilizando la ecuación (3.2):

$$H_m = (Z_2 - Z_1) + h_p + h_s$$

Donde: $h_{envje} = h_p + h_s$

Entonces: $H_m = 2{,}80 + 27.15$ m

$H_m = 32.75$ m

Por consiguiente, reemplazando en la ecuación (3.9):

$$P_B = \frac{9.81x10^3 \frac{N}{m^3} * 11.66x10^{-4} \frac{m^3}{s} * 32.75}{0.8}$$

$$P_B = 468.26\ Watt$$

$$P_B = 0.63\ hp$$

Por consideraciones de diseño de la potencia de la bomba, los parámetros de cálculo se consideraron los máximos, como el caudal, la altura manométrica y la eficiencia de la bomba; durante el funcionamiento de las bombas estos parámetros serán mucho menores, más si el RPM del motor se disminuye a través de un variador de frecuencia. Por consiguiente, como trabajarán dos bombas, cada una será de 0,5 HP para asegurar un funcionamiento óptimo del módulo.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Entonces la potencia de cada bomba que se instaló fue de 0,5 HP, que aseguran un funcionamiento eficiente del módulo, tanto en un acoplamiento de las bombas en serie y paralelo.

3.3.5. Diseño y Selección de los Instrumentos de medición de los parámetros experimentales

Para el estudio del comportamiento de bombas en serie y paralelo, en el módulo se podrán realizar sus ensayos técnicos experimentales, en los cuales los parámetros experimentales a medir son caudales y presiones inferiores y superiores a la atmósfera, los cuales nos permitirán obtener puntos cuyas coordenadas experimentales serán caudales y presiones, los que nos permitirán graficar las curvas características de cada bomba o también conectadas en serie y paralelo.

3.3.5.1. Selección del medidor de caudales

En los diferentes ensayos técnicos experimentales se tiene que hacer variar el caudal que circula por el circuito hidráulico entre 6 a 8 veces en cada ensayo para graficar experimentalmente la curva característica H-Q respectiva. Considerando este aspecto experimental se seleccionó un medidor de caudal de lectura directa, es decir un rotámetro por su precisión en la lectura del caudal.

El rotámetro digital instalado, tiene las siguientes características técnicas:

K 24 Electronic Alluminium turbine meter – pulser

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

3.3.5.2. Selección de los medidores de presión

Para la determinación experimental de las alturas manométricas o efectivas de las bombas en el estudio de sus comportamientos, tanto individualmente como conectados en serie y paralelo, es necesario medir las presiones del agua que circula en las tuberías, a la entrada y a la salida de cada bomba. Para las bombas trabajando individualmente la presión del agua a la entrada de la bomba es menor que la atmosférica por lo que se instaló un vacuómetro, mientras que la presión del agua a la salida de la bomba es mayor que la atmosférica por lo que se instaló un manómetro. Análogamente se seleccionó el instrumento necesario, bombas funcionando en serie y paralelo. Las características técnicas de los instrumentos para la medición de las presiones, considerando que sean lo más sensibles a las presiones a medir, son:

Vacuómetro: Marca Weizz

Rango de medida: -1 a 0 bar

-30 a 0 inHg

Manómetro: Marca: Ast

Rango: 0 a 4 bar

0 a 60 psi

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

CAPÍTULO IV

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Por la naturaleza del proyecto de investigación cuyo objetivo fue el diseño y construcción de un módulo de experimentación para el laboratorio de Ingeniería Mecánica en el que se estudiará a las bombas hidráulicas, tema que está incluido en la temática de este curso, en el cual se estudiará a través de ensayos experimentales el comportamiento de dos bombas conectados en serie y paralelo. El resultado de la ejecución del proyecto de investigación, es decir de la tesis, es el Módulo de laboratorio para implementar el Laboratorio de Ingeniería Mecánica.

4.0. Resultados del Proyecto de Investigación

El módulo de laboratorio diseñado y construido es el resultado de nuestra tesis y servirá para la experimentación e investigación de aspectos relacionados con el funcionamiento de bombas acopladas en serie o paralelo, que será realizado por alumnos y docentes de nuestra Escuela Profesional, lo que conllevará a elevar el nivel académico de nuestra Escuela.

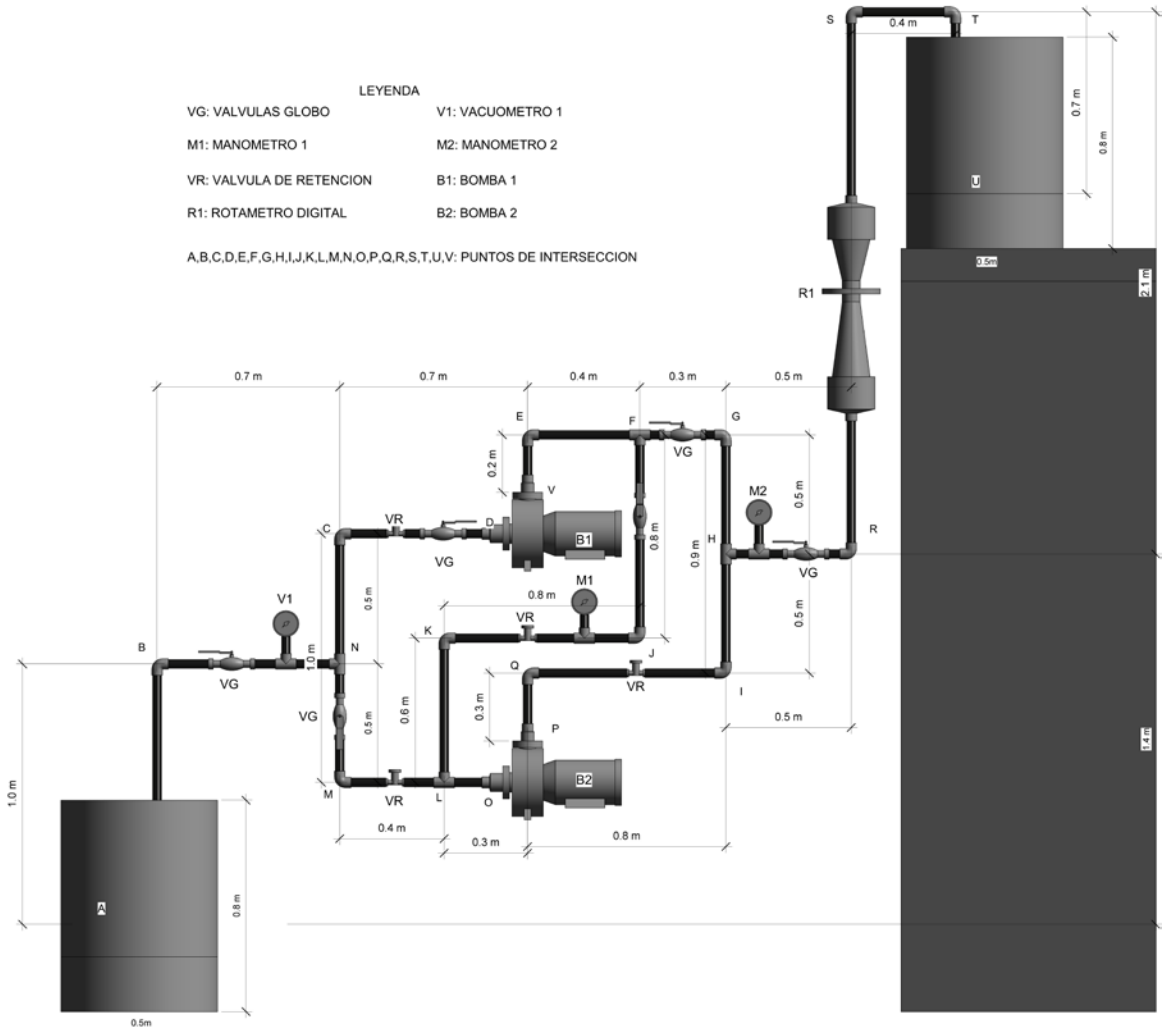
A través de este módulo de laboratorio se pretende caracterizar el funcionamiento de un conjunto de bombas, en nuestro caso dos bombas conectados en serie o en paralelo. En primer lugar, se procederá a la determinación de la curva característica de una bomba aislada, en segundo lugar, se montarán las conexiones de modo que se obtenga un sistema de dos bombas centrífugas iguales en serie, determinando la curva característica H-Q del conjunto. En tercer lugar, se efectuará la conexión de las mismas bombas en paralelo, determinándose igualmente la curva H-Q.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

El módulo diseñado y construido tiene una característica peculiar desde el punto de vista académico y pedagógico, puesto que el diseño del sistema hidráulico es similar a los que se presentan en los libros sobre bombas, lo cual favorece a la enseñanza y aprendizaje. Como se puede apreciar en la Fig. 21.

Figura 21: Circuito Hidráulico del Módulo



Elaboración: propia.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

4.1. Análisis del resultado del proyecto de investigación

En el módulo se puede realizar el ensaño experimental, obteniendo la curva característica de una bomba centrífuga, para lo cual se puede variar el caudal suministrado por ella con el accionamiento de una válvula de compuerta que incrementa las pérdidas de carga de la tubería. Manipulando convenientemente las válvulas de cierre, se puede realizar el ensayo de dos bombas en serie, también se puede realizar el funcionamiento de bombas en paralelo.

En el acoplamiento en serie, la impulsión de una bomba constituye la aspiración de la siguiente unidad, por lo que el caudal bombeado será el mismo en todas las bombas aunque las alturas creadas deberán sumarse. Al acoplar en serie hay que sumar ordenadas (alturas), manteniendo abscisas (caudales), lo que se traduce en que las curvas resultantes tienen una pendiente muy pronunciada.

Analíticamente, el paso de las curvas características de una bomba a “n” bombas iguales en serie es inmediato.

$H=AQ^2+B$: Curva de una bomba

$H=n(AQ^2+B)$: Curva de “n” bombas en serie, todas iguales.

Cuando el acoplamiento es en paralelo, se aspira fluido de un punto común, inyectándose después el caudal en la impulsión general. Por tanto, en este caso lo que se suman son los caudales, conservándose las alturas.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Para obtener la curva característica global de un sistema de bombas acopladas en paralelo se suman los caudales para una misma altura. Por tanto, las curvas H-Q resultan muy planas.

De forma analítica:

$H=AQ^2+B$: Una bomba

$H=A(Q/n)^2+B$: “n” bombas iguales en paralelo

Del análisis del estudio del comportamiento de bombas en serie y paralelo, se pudo establecer diferentes ensayos experimentales que se podrán realizar en el módulo de laboratorio y, que se especifican y detallan en el siguiente acápite.

4.2. Guías de Laboratorio de los ensayos a realizar en el módulo de laboratorio

Como consecuencia del análisis del resultado de la tesis, se pudo establecer las guías de laboratorio que se detallan a continuación.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

4.2.1. ENSAYO Nº 1. BOMBAS EN SERIE

A. OBJETIVO

Graficar la curva característica H-Q de bombas en serie.

B. EQUIPO

Módulo para el estudio del comportamiento de bombas en serie y paralelo:

- Dos Bombas Centrífugas iguales.
- Sistema de tubería y válvulas de control.
- Válvula de globo para regulación del caudal.
- Rotámetro
- Vacuómetro
- Manómetro
- Termómetro

C. TEORÍA

Cuando una sola bomba es capaz de proporcionar el caudal requerido, pero no la altura de elevación, se puede acoplar dos bombas en serie que no necesariamente deben ser iguales.

La curva característica de las bombas se obtiene sumando las ordenadas de las curvas características de cada una de ellas para cada caudal, pues éste es el mismo para ambas bombas.

La carga total o energía específica producida por una bomba o de un sistema de bombas en serie; está dada por la ecuación (Ec.8):

$$\Delta H_t = \frac{\Delta P_t}{\gamma} = \frac{\left(P_d - P_s\right)}{\gamma} + \frac{\left(V_d^2 - V_s^2\right)}{2g}$$

La potencia hidráulica transferida al fluido:

$$W_h = \gamma Q \Delta h_t = Q \Delta P_t$$

Las características teóricas de un sistema de bombas en serie:

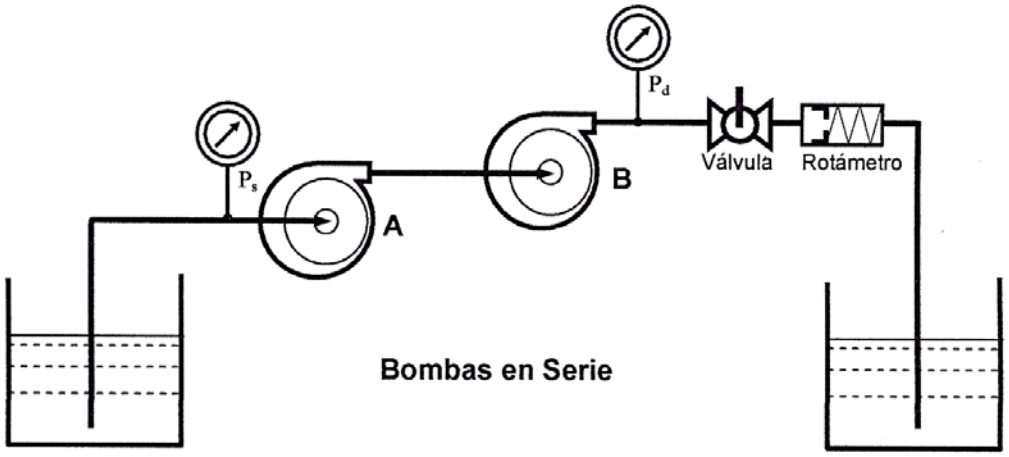
$$\Delta H_{ts} = \sum \Delta H_{ti}$$

$$Q_s = Q_i$$

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Figura 22; Bombas acopladas en serie



Elaboración: propia

D. PROCEDIMIENTO

1. Disponer las válvulas del módulo, para establecer el circuito hidráulico de bombas en serie.
2. Arrancar las bombas.
3. Con la válvula de globo reguladora fijar un caudal.
4. Tomar las lecturas debidamente estabilizadas de:
   - Presiones de succión (P_s) de cada bomba (vacuómetros).
   - Presiones de descarga (P_d) de cada bomba (manómetro).
   - Caudales (rotámetro).
5. Cerrando progresivamente la válvula globo a intervalos aproximadamente regulares, hasta que la válvula esté completamente cerrada, fije otros caudales.
6. Repita los pasos 4 y 5 del procedimiento.
7. Tome la temperatura del agua para evaluar sus propiedades.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

E. DATOS EXPERIMENTALES

Tabla 4. 1 Tabla Datos Recolectados Bombas en Serie

Dato N°	Datos Recolectados				Bomba 1	Bomba 2	Sistema en Serie
	l/min	Bar	Bar	Bar	m	m	m
	Q_Serie	Vacuometro	M1	M2	Bomba_1S	Bomba_2S	H_Serie
1	23.9	0.19	0.6	1.5	8.05	9.17	17.23
2	22.8	0.18	0.7	1.7	8.97	10.19	19.16
3	21.7	0.185	0.8	1.9	10.04	11.21	21.25
4	20.6	0.18	0.9	2	11.01	11.21	22.22
5	19.5	0.175	1	2.25	11.98	12.74	24.72
6	18.4	0.174	1.1	2.4	12.99	13.25	26.24
7	17.3	0.17	1.2	2.7	13.97	15.29	29.26
8	15.2	0.16	1.4	3	15.90	16.31	32.21
9	14.1	0.14	1.6	3.35	17.74	17.84	35.58

Elaboración: propia

Donde:

Q_Serie: Caudal Medido por el rotámetro, según la configuración serie.

Vacuometro: Presión de succión medida por el vacuometro (Bar).

M1: Presión medida por el manómetro 1(Bar).

M2: Presión medida por el manómetro 2(Bar).

Bomba_1S: Altura de Presión de la Bomba 1 (metros)

Bomba_2S: Altura de Presión de la Bomba 2 (metros)

H_Serie: Altura de Presión de las dos bombas funcionando en serie.

El siguiente paso es graficar la Curva H-Q de Bombas en Serie, con los datos obtenidos de los equipos de medida instalados en el módulo, cuyos valores se muestran en la Tabla 1. Para luego hacer el ajuste de la curva a la ecuación:

$$H=n(C+D*Q^2)$$

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

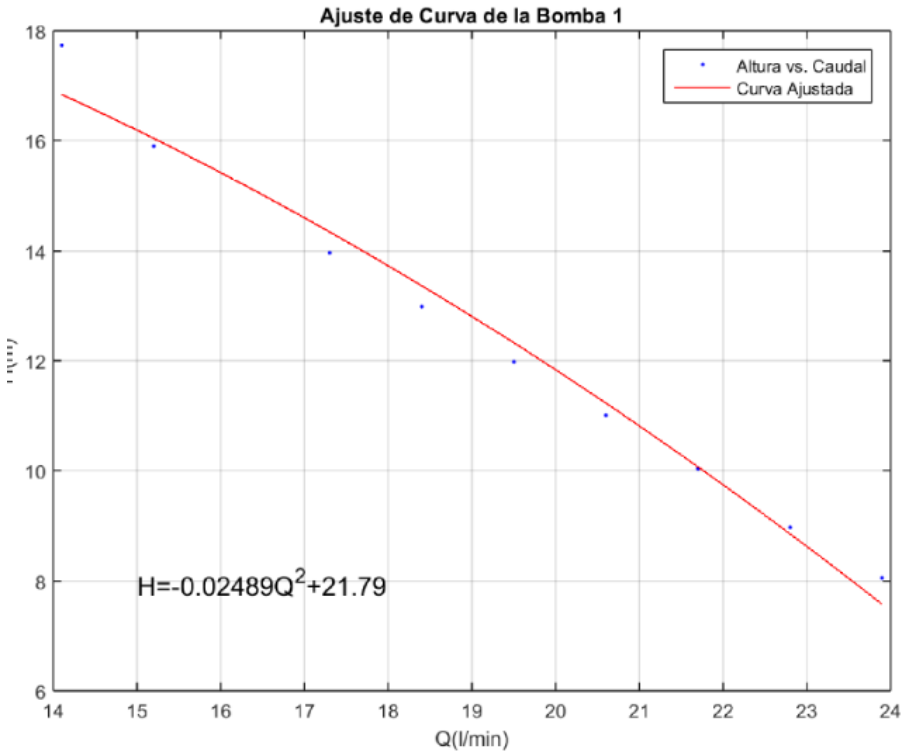
Donde:

n=2 : número de bombas en serie.

El ajuste de curvas se realizará con el MATLAB el cual tiene una variedad de herramientas matemáticas, y TOOLBOXES las cuales la hacen la herramienta ideal para este tipo de situación. Por lo tanto la TOOLBOX a utilizar será CURVE FITTING, la cual nos permite realizar ajustes de curvas de manera precisa.

Las dos primeras curvas motrices corresponden al funcionamiento de las bombas individualmente, esto lo haremos para hacer un comparativo de cuando las bombas funcionaban individualmente y en conjunto según la configuración serie.

Grafico 1 Curva H-Q Bomba 1

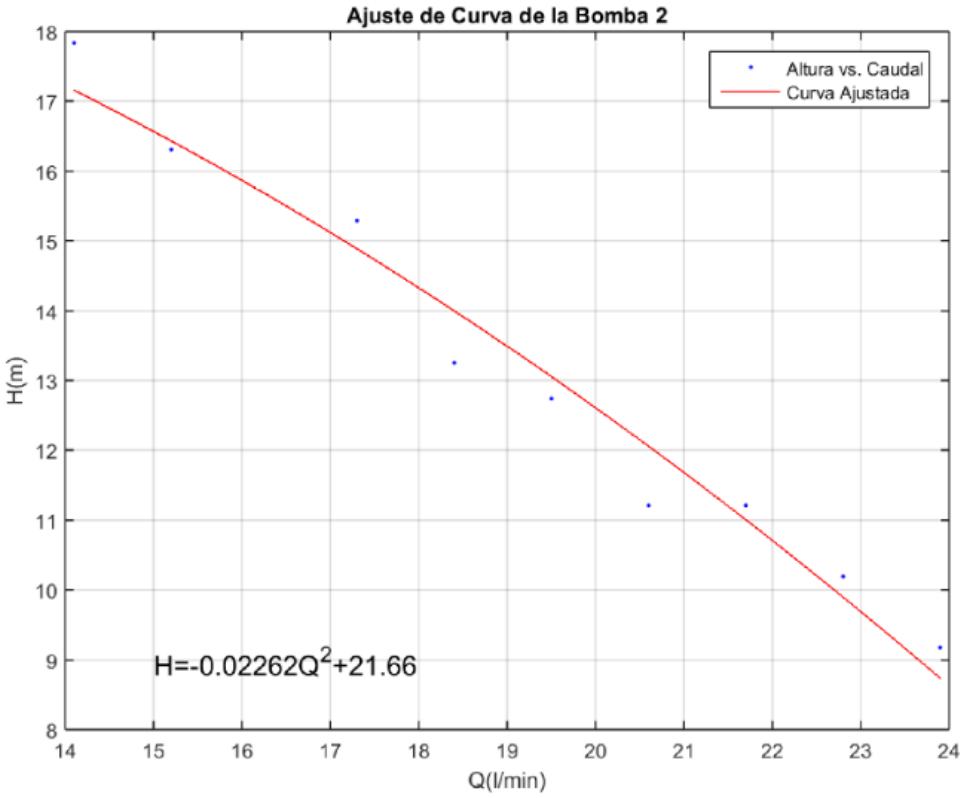


Elaboración: propia

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Grafico 2 Curva H-Q Bomba 2



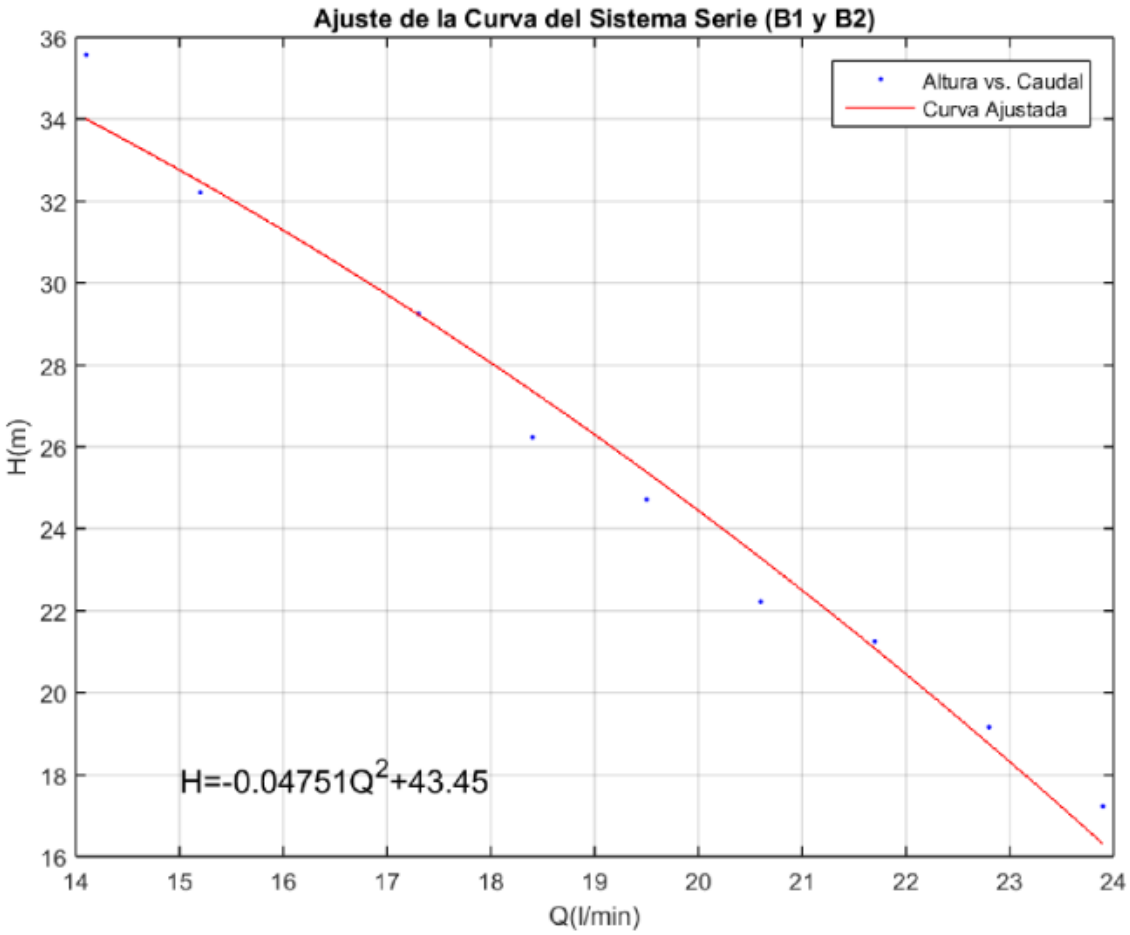
Elaboración: propia

- La siguiente grafica corresponde a las bombas B1 y B2 funcionando según la configuración serie.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Grafico 3 Curva H-Q Bomba 1 y 2 Serie



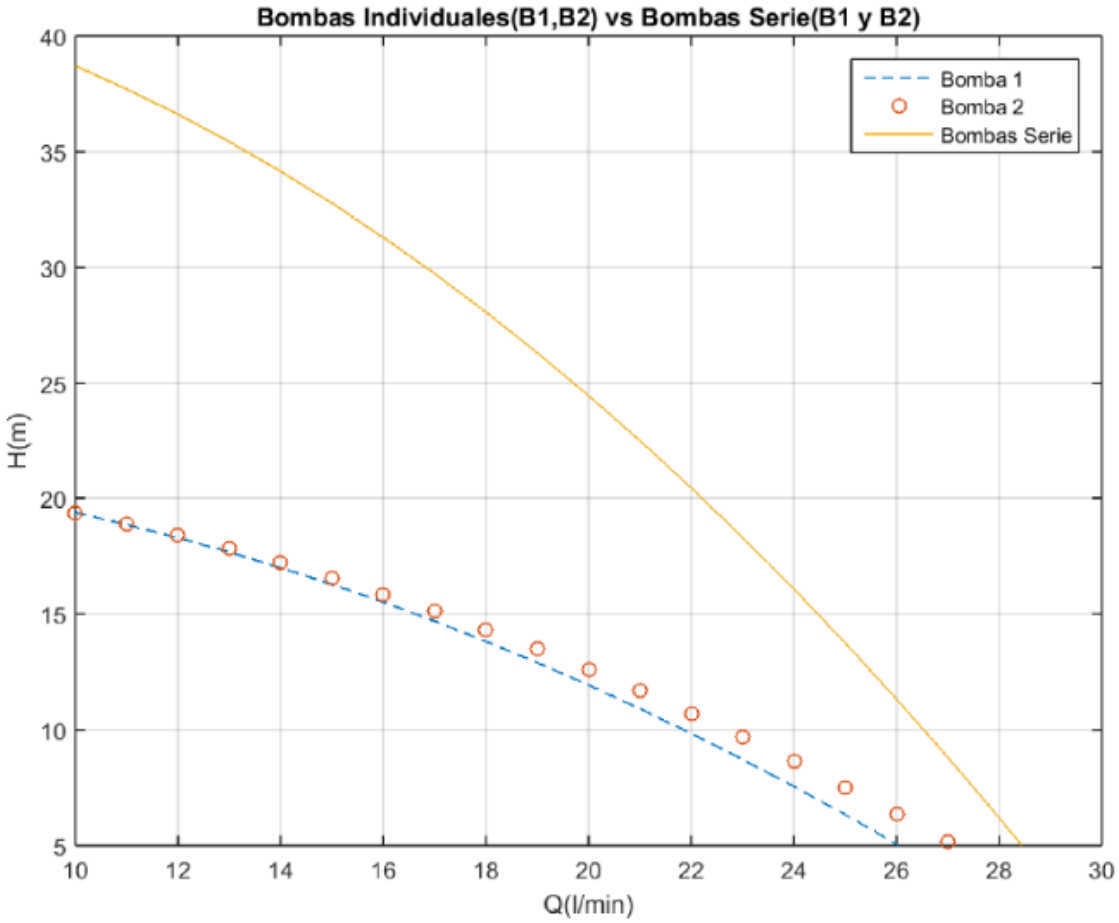
Elaboración: propia

- La siguiente figura nos da una idea clara de la característica de funcionamiento de esta configuración, en esta podemos observar que el caudal es el mismo, sin embargo, las alturas se suman, es decir se produce una suma de ordenadas punto a punto.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Grafico 4 Comparativo Bombas Individuales y Bombas Serie



Elaboración: propia

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

4.2.2. ENSAYO Nº 2. BOMBAS EN PARALELO

A. OBJETIVO

Graficar la curva característica H-Q de bombas en paralelo.

B. EQUIPO

Módulo para el estudio del comportamiento de bombas en serie y paralelo:

- Dos Bombas Centrífugas iguales.
- Sistema de tubería y válvulas de control.
- Válvula de globo para regulación del caudal.
- Rotámetro
- Vacuómetro
- Manómetro
- Termómetro

C. TEORÍA

Cuando una sola bomba es capaz de dar la altura de elevación requerida, pero no es capaz de dar el caudal necesario, se puede acoplar dos bombas en paralelo. Estas bombas no necesariamente deben ser iguales. En estas condiciones de funcionamiento, la altura de descarga en ambas bombas es la misma y el caudal resultante de la combinación, es la suma de los gastos o caudales de cada una de las bombas.

La carga total o energía específica producida por una bomba o de un sistema de bombas en serie; está dado por la ecuación(Ec 8):

$$\Delta H_t = \frac{\Delta P_t}{\gamma} = \frac{\left(P_d - P_s\right)}{\gamma} + \frac{\left(V_d^2 - V_s^2\right)}{2g}$$

La potencia hidráulica transferida al fluido:

$$W_h = \gamma Q \Delta h_t = Q \cdot \Delta P_t$$

Las características teóricas de un sistema de bombas en paralelo:

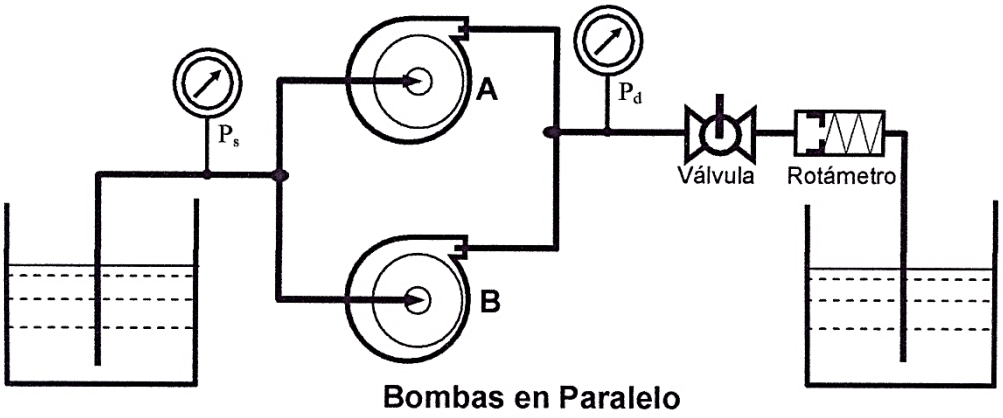
$$\Delta H_{tp} = \sum \Delta H_{ti}$$

$$Q_p = Q_i$$

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Figura 23: Bombas acopladas en paralelo



Elaboración: propia.

D. PROCEDIMIENTO

1. Disponer las válvulas del módulo, para establecer el circuito hidráulico de bombas en paralelo.
2. Arrancar las bombas.
3. Con la válvula de globo reguladora fijar un caudal.
4. Tomar las lecturas debidamente estabilizadas de:
   - Presiones de succión (P_s) de cada bomba (vacuómetros).
   - Presiones de descarga (P_d) de cada bomba (manómetro).
   - Caudales (rotámetro).
5. Cerrando progresivamente la válvula globo a intervalos aproximadamente regulares, hasta que la válvula esté completamente cerrada, fije otros caudales.
6. Repita los pasos 4 y 5 del procedimiento.
7. Tome la temperatura del agua para evaluar sus propiedades.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

E. DATOS EXPERIMENTALES

Tabla 4. 2 Tabla Datos Recolectados Bombas en Paralelo

Dato N°	Datos Recolectados			l/min	l/min	Sistema Paralelo
	l/min	Bar	Bar			m
	Q_Paralelo	Vacuometro	M2	QB1	QB2	H_Paralelo
1	42.24	0.32	0.275	21.12	21.13	6.07
2	41.3	0.3	0.5	20.65	20.67	8.15
3	39.1	0.3	0.7	19.55	19.52	10.19
4	35.8	0.28	1	17.9	17.96	13.05
5	29.3	0.225	1.3	14.65	14.71	15.55
6	25	0.2	1.8	12.5	12.54	20.39
7	20.6	0.18	1.9	10.3	10.31	21.20
8	15.2	0.145	2.2	7.6	7.63	23.90
9	10.8	0.12	2.5	5.4	5.39	26.71
10	6.5	0.12	2.7	3.25	3.23	28.75

Elaboración: propia.

Q_Paralelo: Caudal Medido por el rotámetro, según la configuración paralelo.

Vacuometro: Presión de succión medida por el vacuometro (Bar).

M2: Presión medida por el manómetro 2(Bar).

QB1: Caudal de la Bomba 1 (l/min)

QB2: Caudal de la Bomba 2 (l/min)

H_Paralelo: Altura de Presión de las dos bombas funcionando en serie.

El siguiente paso es graficar la Curva H-Q de Bombas en Paralelo, con los datos obtenidos de los equipos de medida instalados en el módulo, cuyos valores se muestran en la Tabla 2. Para luego hacer el ajuste de la curva a la ecuación:

$$H=C+D*(Q/n)^2$$

El ajuste de curvas se realizará con el MATLAB el cual tiene una variedad de herramientas matemáticas, y TOOLBOXS las cuales la hacen la herramienta ideal para este tipo de situación. Por lo tanto la TOOLBOX a utilizar será CURVE FITTING, la cual nos permite realizar ajustes de curvas de manera precisa.

Donde:

n=2 : número de bombas en paralelo.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

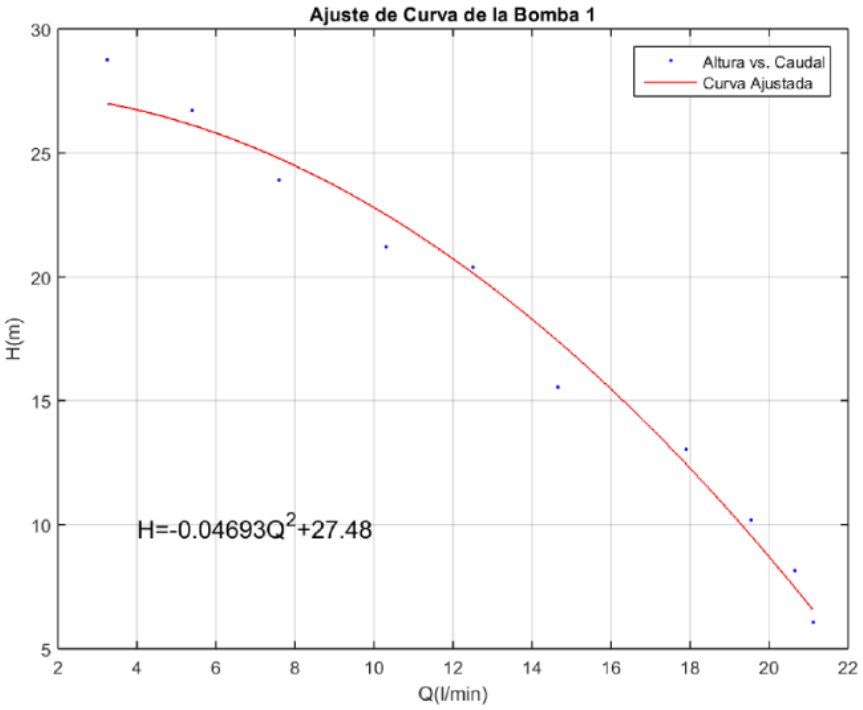
No olvide citar esta tesis

- Esta Curva motriz es válida tanto para la bomba 1 como para la bomba 2, puesto que por lo compacto de la instalación además de la simetría asumimos la distribución de curvas para esta configuración como iguales. Esto es validado por los datos de la tabla 2. Sin embargo, se realizó el ajuste de la curva para la bomba 2.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

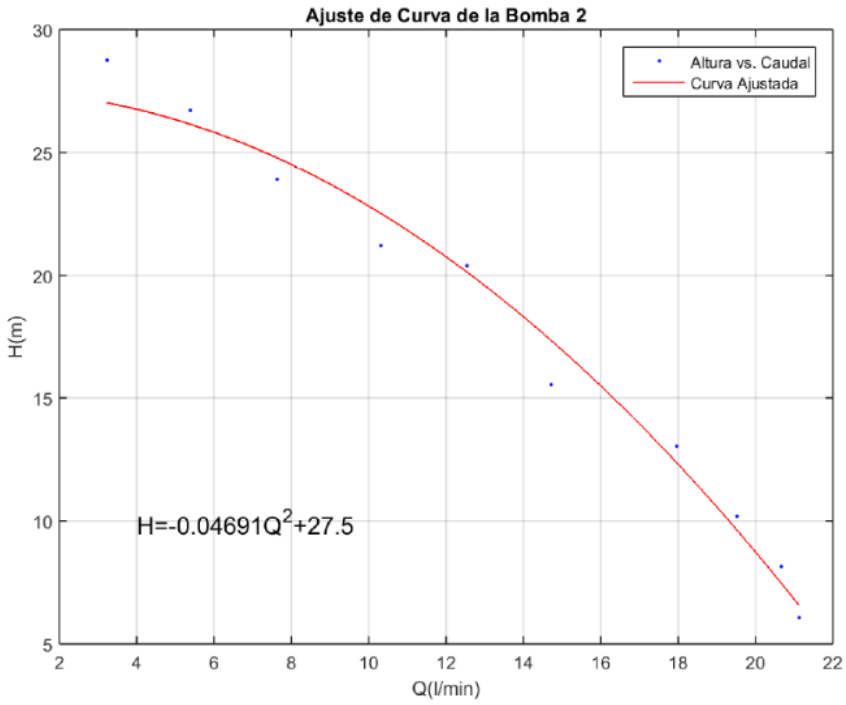
No olvide citar esta tesis

Grafico 5 Curva H-Q Bomba 1



Elaboración: propia.

Grafico 6 Curva H-Q Bomba 2



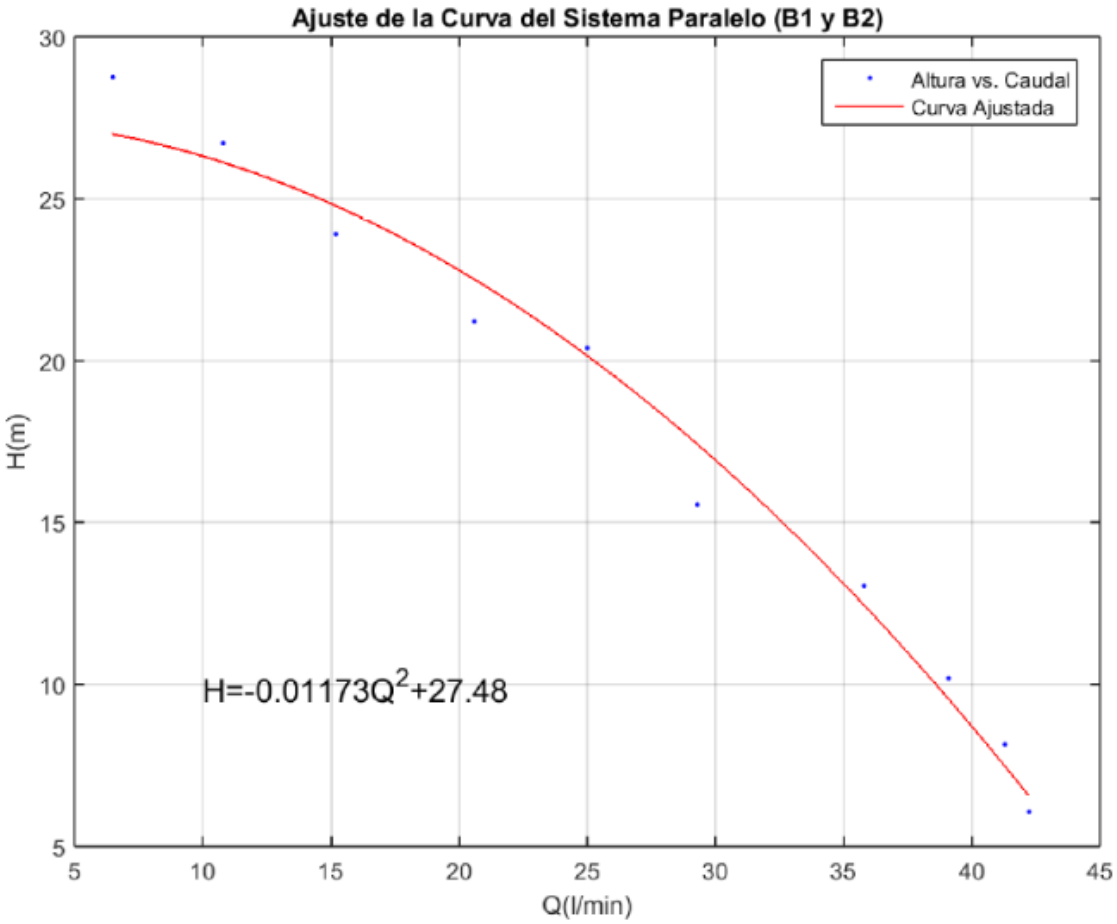
Elaboración: propia.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

- La siguiente grafica corresponde a las bombas B1 y B2 funcionando según la configuración en paralelo.

Grafico 7 Curva H-Q Bomba 1 y 2 en Paralelo



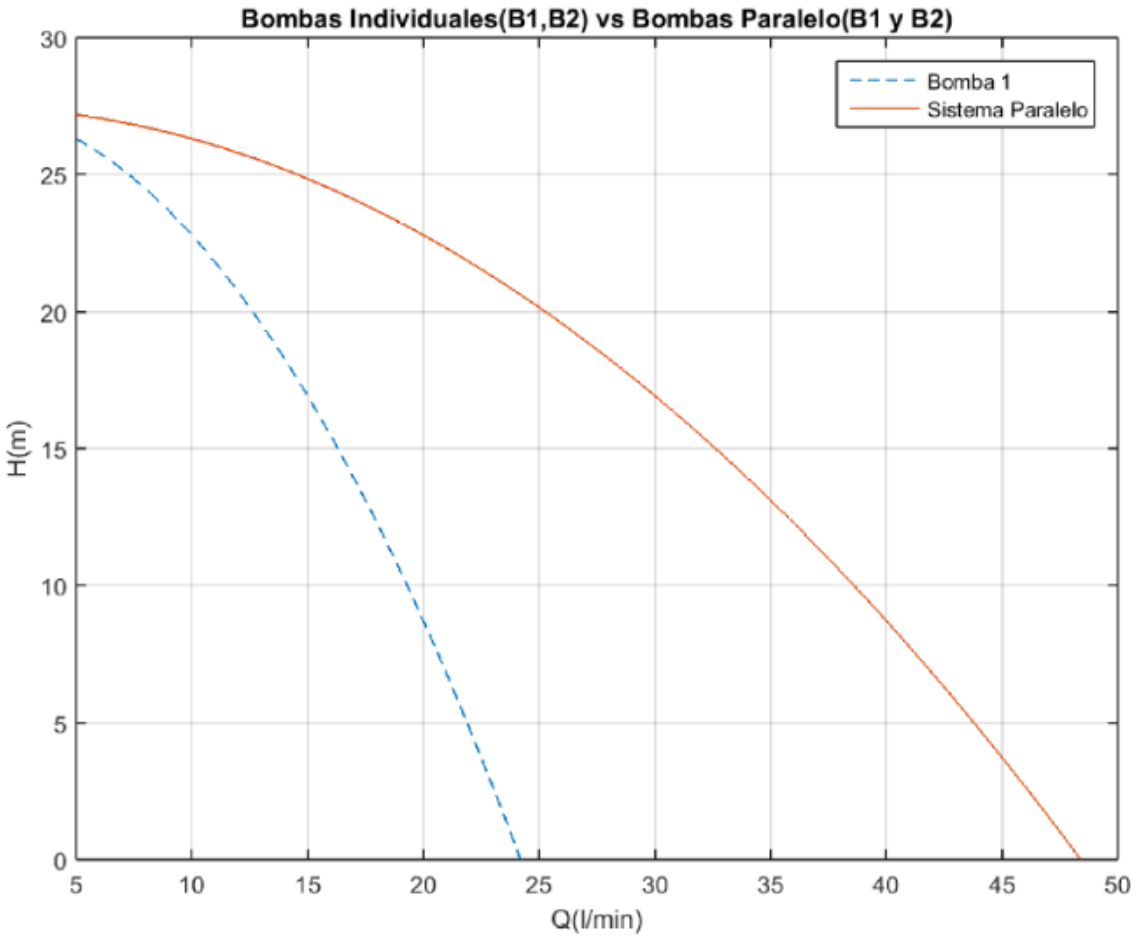
Elaboración: propia.

- La siguiente figura nos da una idea clara de la característica de funcionamiento de esta configuración, en esta podemos observar que la altura es la misma, sin embargo los caudales se suman, es decir se produce una suma de abscisas punto a punto.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Grafico 8 Comparativo de Bombas Individuales y en Paralelo



Elaboración: propia.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

4.2.3. ENSAYO Nº 3. BOMBAS EN SERIE

A. OBJETIVO

Graficar la curva del sistema de bombas en serie.

B. EQUIPO

Módulo para el estudio del comportamiento de bombas en serie y paralelo:

- Dos Bombas Centrífugas iguales.
- Sistema de tubería y válvulas de control.
- Válvula de globo para regulación del caudal.
- Rotámetro
- Vacuómetro
- Manómetro
- Termómetro

C. TEORÍA

A medida que un fluido por una tubería, conducto o algún otro dispositivo, ocurren pérdidas de energía debido a la fricción interna en el fluido en movimiento, que se denominan como pérdidas primarias (h_p). Se determinan empleando las ecuaciones (Ec 16, Ec 12, Ec 10):

$$Q = A \cdot V$$

$$\mathrm{Re} = \frac{V \cdot D}{\upsilon}$$

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

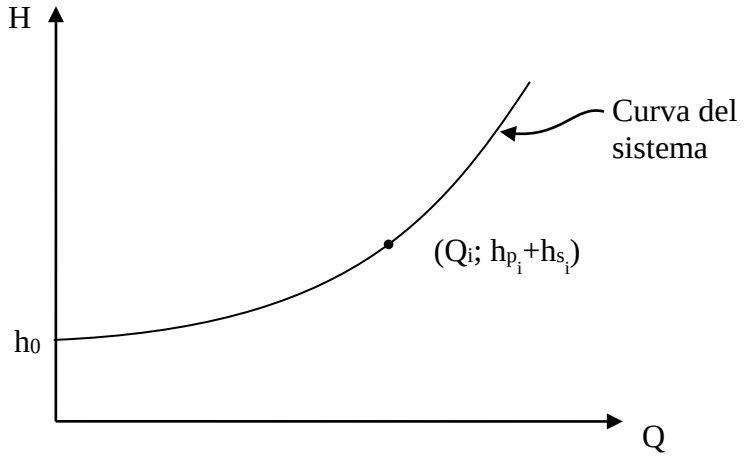
Las pérdidas menores o secundarias ocurren cuando hay un cambio en la sección cruzada de la trayectoria de flujo o en la dirección de flujo, o cuando la trayectoria de flujo se encuentra obstruida, como sucede con una válvula. Las pérdidas secundarias (h_s) se determinan empleando la ecuación(Ec 11):

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

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

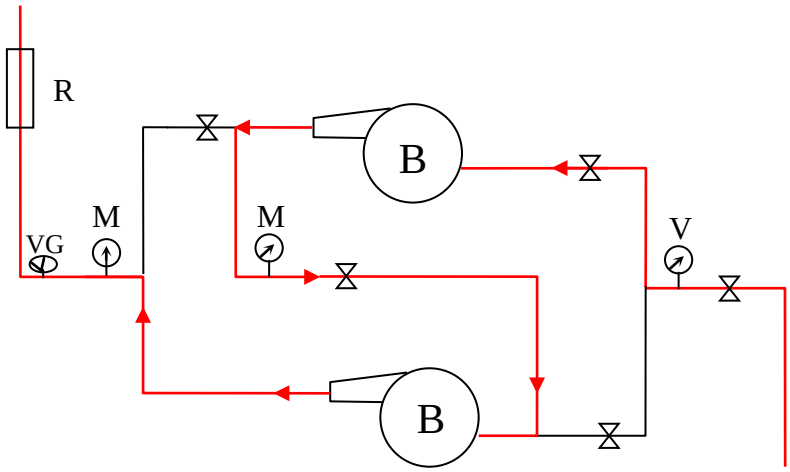
Figura 22: Curva del Sistema de Bombas acopladas en serie.



h_0 = Altura geodésica.

Elaboración: propia

Figura 26: Circuito hidráulico (líneas rojas) de bombas acopladas en serie.



Elaboración: propia.

D. PROCEDIMIENTO

1. Disponer las válvulas del módulo, para establecer el circuito hidráulico de bombas en serie.
2. Arrancar las bombas.
3. Con la válvula de globo reguladora fijar un caudal.
4. Tomar las lecturas debidamente estabilizadas de:
   - Presiones de succión (P_s) de cada bomba (vacuómetros).
   - Presiones de descarga (P_d) de cada bomba (manómetro).

Repositorio Institucional UNA-PUNO
No olvide citar esta tesis

- Caudales (rotámetro).

5. Cerrando progresivamente la válvula globo a intervalos aproximadamente regulares, hasta que la válvula esté completamente cerrada, fije otros caudales.
6. Repita los pasos 4 y 5 del procedimiento.
7. Tome la temperatura del agua para evaluar sus propiedades.

E. DATOS EXPERIMENTALES

Valores considerados como constantes para el laboratorio:

- Peso Específico Agua (15°): 9810 N/m3
- Diámetro de la Tubería: 26.2 mm
- Viscosidad Cinemática (m2/s): 1.15E-06 m2/s
- Rugosidad Absoluta: 0.0015 mm
- Rugosidad Relativa: 0.000057
- Longitud Total Serie: 11.100 m
- Coeficiente de Pérdidas Secundarias: 17.960
- H0: 2.800 m

Tabla 4. 3 Tabla Datos Recolectados Bombas en Serie

Dato N°	Datos Recolectados			
	l/min	Bar	Bar	Bar
	Q_Serie	Vacuometro	M1	M2
1	23.9	0.19	0.6	1.5
2	22.8	0.18	0.7	1.7
3	21.7	0.185	0.8	1.9
4	20.6	0.18	0.9	2
5	19.5	0.175	1	2.25
6	18.4	0.174	1.1	2.4
7	17.3	0.17	1.2	2.7
8	15.2	0.16	1.4	3
9	14.1	0.14	1.6	3.35

Elaboración: propia

Donde

Q_Serie: Caudal de las bombas en serie (l/min)

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Vacuometro: Medida de la presión de succión (Bar)

M1: Medida de la Presión en el manómetro 1 (Bar)

M2: Medida de la Presión en el manómetro 2 (Bar)

Tabla 4. 4 Tabla Datos Calculados Bombas en Serie

Dato N°	Calculo de la Curva del Sistema					
	m/s	---------	Factor Fricción	m	m	m
	V	Re	λ	hp	hs	Hsist=H0+hp+hs
1	0.74	1.7E+04	0.0255	0.3009	0.5002	3.60
2	0.70	1.6E+04	0.0254	0.2728	0.4552	3.53
3	0.67	1.5E+04	0.0265	0.2578	0.4124	3.47
4	0.64	1.5E+04	0.0265	0.2323	0.3716	3.40
5	0.60	1.4E+04	0.026	0.2042	0.3330	3.34
6	0.57	1.3E+04	0.028	0.1958	0.2965	3.29
7	0.53	1.2E+04	0.0285	0.1762	0.2621	3.24
8	0.47	1.1E+04	0.029	0.1384	0.2023	3.14
9	0.44	9.9E+03	0.0295	0.1212	0.1741	3.10

Elaboración: propia

Donde:

V: velocidad del flujo (m/s)

Re: Numero de Reynols (adimensional)

λ: Factor de fricción (adimensional)

hp: perdidas primarias

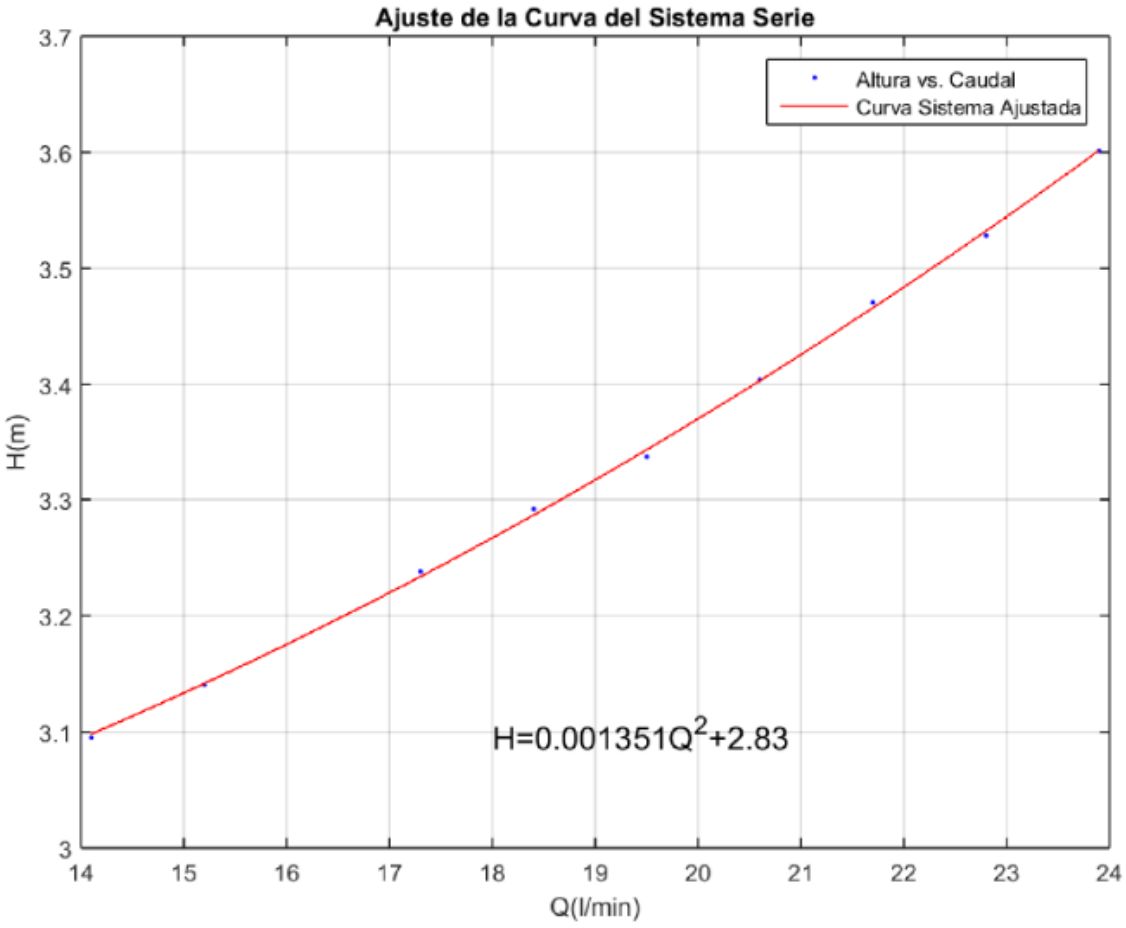
hs: perdidas secundarias

- La siguiente figura nos muestra la curva del sistema obtenida a partir de los datos del módulo de tesis. Un punto tener en cuenta en esta figura es que en el ajuste de la curva podemos observar el termino independiente (2.83) que corresponde al H0, es decir a la altura geodésica del sistema, lo cual es corroborado físicamente en el módulo de tesis.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Grafico 9 Curva del Sistema Bombas Serie



Elaboración: propia

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

4.2.4. ENSAYO Nº 4. BOMBAS EN PARALELO

A. OBJETIVO

Graficar la curva del sistema de bombas en paralelo.

B. EQUIPO

Módulo para el estudio del comportamiento de bombas en serie y paralelo:

- Dos Bombas Centrífugas iguales.
- Sistema de tubería y válvulas de control.
- Válvula de globo para regulación del caudal.
- Rotámetro
- Vacuómetro
- Manómetro
- Termómetro

C. TEORÍA

A medida que un fluido por una tubería, conducto o algún otro dispositivo, ocurren pérdidas de energía debido a la fricción interna en el fluido en movimiento, que se denominan como pérdidas primarias (h_p). Se determinan empleando las ecuaciones(Ec 16, Ec 12, Ec 10):

$$Q = A \cdot V$$

$$\mathrm{Re} = \frac{V \cdot D}{\upsilon}$$

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

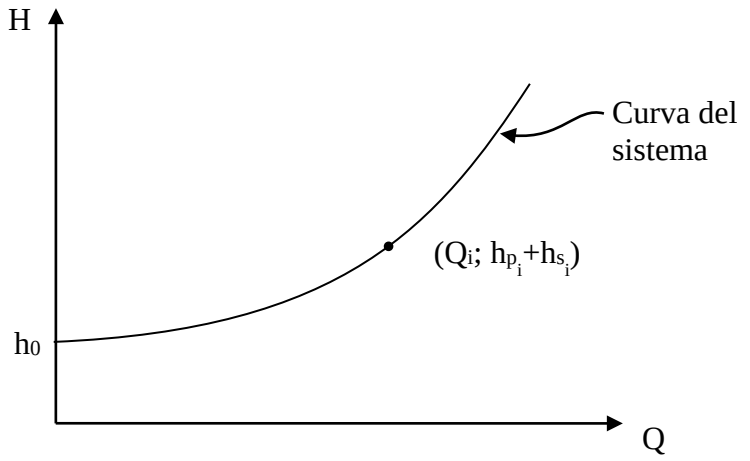
Las pérdidas menores o secundarias ocurren cuando hay un cambio en la sección cruzada de la trayectoria de flujo o en la dirección de flujo, o cuando la trayectoria de flujo se encuentra obstruida, como sucede con una válvula. Las pérdidas secundarias (h_s) se determinan empleando la ecuación(Ec 11):

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

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

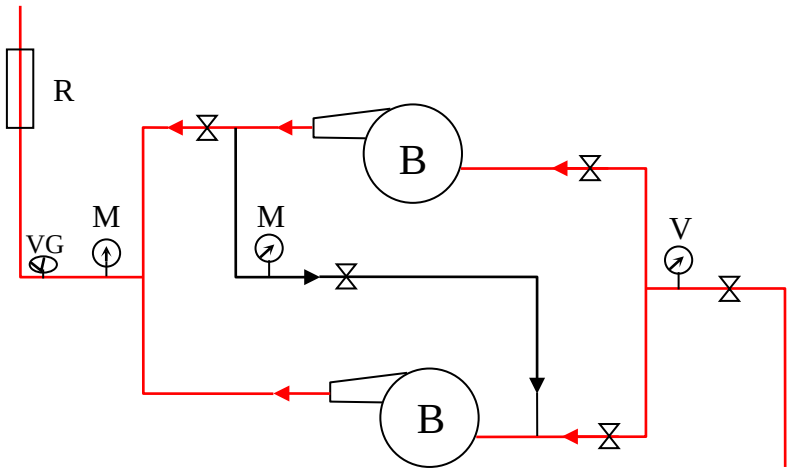
Figura 27: Curva del Sistema de Bombas acopladas en paralelo.



h_0 = Altura geodésica.

Elaboración: propia

Figura 28: Circuito hidráulico (líneas rojas) de bombas acopladas en paralelo.



Elaboración: propia

D. PROCEDIMIENTO

1. Disponer las válvulas del módulo, para establecer el circuito hidráulico de bombas en paralelo.
2. Arrancar las bombas.
3. Con la válvula de globo reguladora fijar un caudal.
4. Tomar las lecturas debidamente estabilizadas de:

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

- Presiones de succión (P_s) de cada bomba (vacuómetros).
- Presiones de descarga (P_d) de cada bomba (manómetro).
- Caudales (rotámetro).

5. Cerrando progresivamente la válvula globo a intervalos aproximadamente regulares, hasta que la válvula esté completamente cerrada, fije otros caudales.
6. Repita los pasos 4 y 5 del procedimiento.
7. Tome la temperatura del agua para evaluar sus propiedades.

E. DATOS EXPERIMENTALES

o	Peso Específico Agua (15°):	9810	N/m3
o	Diámetro de la Tubería:	26.2	mm
o	Viscosidad Cinemática (m2/s):	1.15E-06	m2/s
o	Rugosidad Absuta:	0.0015	mm
o	Rugosidad Relativa:	0.000057	
o	Longitud Total Paralelo:	5.400	m
o	Longitud Ramal:	5.400	m
o	Coef. de Perd. Secundarias Total:	9.870	m
o	Coef. de Perd. Secundarias Ramal:	8.610	m
o	H0:	2.800	m

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Tabla 4. 5 Tabla Datos Recolectados Bombas en Paralelo

Dato N°	Datos Recolectados		
	l/min	Bar	Bar
	Q_Paralelo	Vacuometro	M2
1	42.24	0.32	0.275
2	41.3	0.3	0.5
3	39.1	0.3	0.7
4	35.8	0.28	1
5	29.3	0.225	1.3
6	25	0.2	1.8
7	20.6	0.18	1.9
8	15.2	0.145	2.2
9	10.8	0.12	2.5
10	6.5	0.12	2.7

Elaboración: propia

Donde

Q_Paralelo: Caudal de las bombas en paralelo (l/min)

Vacuometro: Medida de la presión de succión (Bar)

M2: Medida de la Presión en el manómetro 2 (Bar)

Tabla 4. 6 Tabla Datos Calculados Bombas en Paralelo

Dato N°	Calculo de la Curva del Sistema										
	m/s	m/s	---------	---------	Factor Fricion	Factor Fricion	m	m	m	m	m
	Vt	Vu	Ret	Reu	λt	λu	hpt	hpu	hst	hsu	Hsist=H0+hp+hs
1	1.31	0.65	2.97E+04	1.49E+04	0.022	0.026	0.394	0.233	0.859	6.705	4.66
2	1.28	0.64	2.91E+04	1.45E+04	0.0225	0.0275	0.386	0.236	0.821	6.688	4.60
3	1.21	0.60	2.75E+04	1.38E+04	0.023	0.028	0.353	0.215	0.736	6.651	4.43
4	1.11	0.55	2.52E+04	1.26E+04	0.024	0.0285	0.309	0.184	0.617	6.599	4.18
5	0.91	0.45	2.06E+04	1.03E+04	0.025	0.029	0.216	0.125	0.413	6.510	3.73
6	0.77	0.39	1.76E+04	8.80E+03	0.0255	0.031	0.160	0.097	0.301	6.461	3.49
7	0.64	0.32	1.45E+04	7.25E+03	0.027	0.032	0.115	0.068	0.204	6.419	3.28
8	0.47	0.23	1.07E+04	5.35E+03	0.029	0.035	0.067	0.041	0.111	6.378	3.07
9	0.33	0.17	7.61E+03	3.80E+03	0.032	0.036	0.038	0.021	0.056	6.354	2.94
10	0.20	0.10	4.58E+03	2.29E+03	0.038	0.004	0.016	0.001	0.020	6.339	2.85

Elaboración: propia

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Donde:

t: subíndice que denota que el parámetro se refiera a ramal principal, es decir desde el recipiente inferior hasta el primer accesorio T y desde la segunda T hasta el recipiente superior.

u: subíndice que denota que el parámetro se refiere a los ramales paralelos, en donde el caudal se divide por igual.

V: velocidad del flujo (m/s)

V: velocidad del flujo en los ramales paralelos (m/s)

Re: Numero de Reynols (adimensional)

λ: Factor de fricción (adimensional)

hp: perdidas primarias

hs: perdidas secundarias

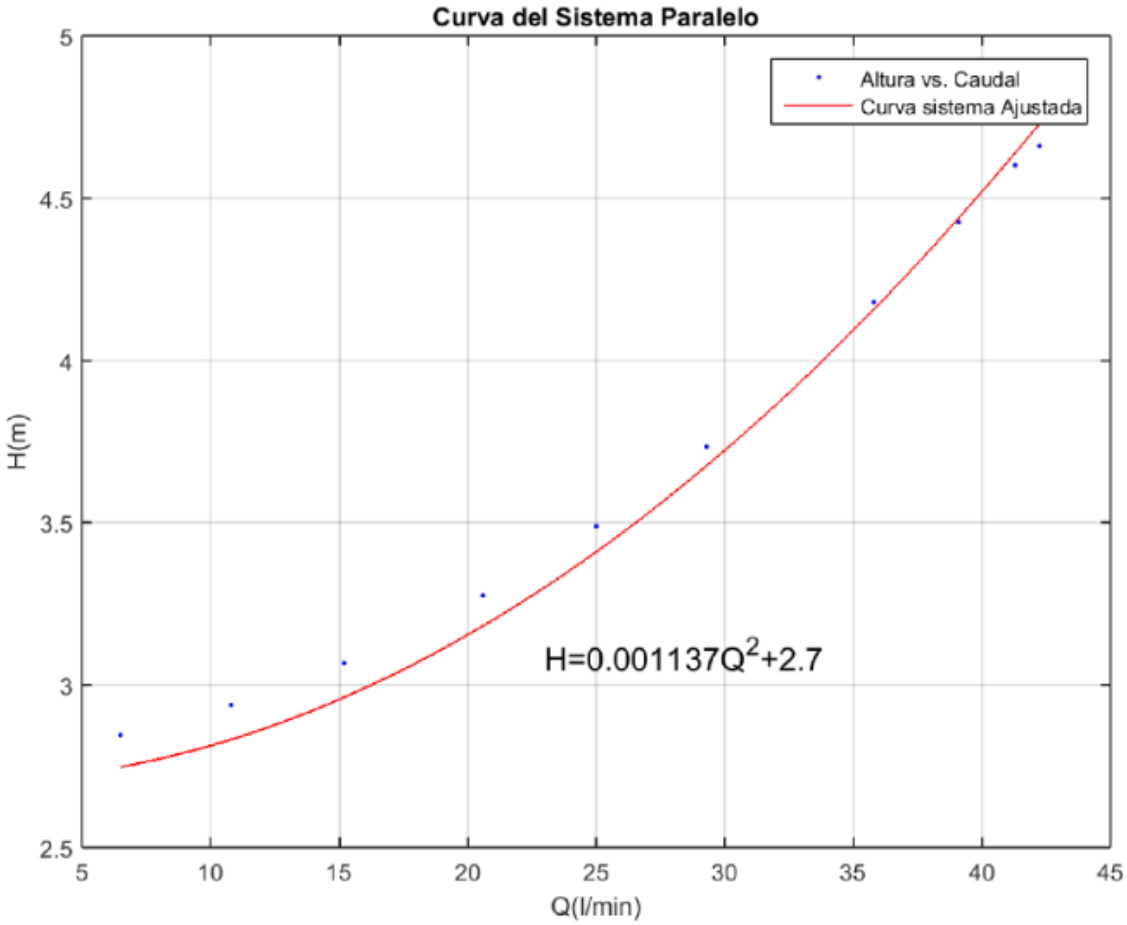
Hsis: pérdidas totales

- La siguiente figura nos muestra la curva del sistema obtenida a partir de los datos del módulo de tesis. Un punto tener en cuenta en esta figura es que en el ajuste de la curva podemos observar el termino independiente (2.7) que corresponde al H0, es decir a la altura geodésica del sistema, lo cual es corroborado físicamente en el módulo de tesis, además también se cumple para bombas en serie.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Grafico 10 Curva del Sistema Bombas Paralelo



Elaboración: propia

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

4.2.5. ENSAYO Nº 5. BOMBAS EN SERIE

A. OBJETIVO

Determinar el punto óptimo de funcionamiento de dos bombas conectadas en serie.

B. EQUIPO

Módulo para el estudio del comportamiento de bombas en serie y paralelo:

- Dos Bombas Centrífugas iguales.
- Sistema de tubería y válvulas de control.
- Válvula de globo para regulación del caudal.
- Rotámetro
- Vacuómetro
- Manómetro
- Termómetro

C. TEORÍA

El punto óptimo de funcionamiento de dos bombas conectadas en serie, es el punto donde el caudal y su altura manométrica respectiva hacen que el sistema de bombeo funcione eficientemente.

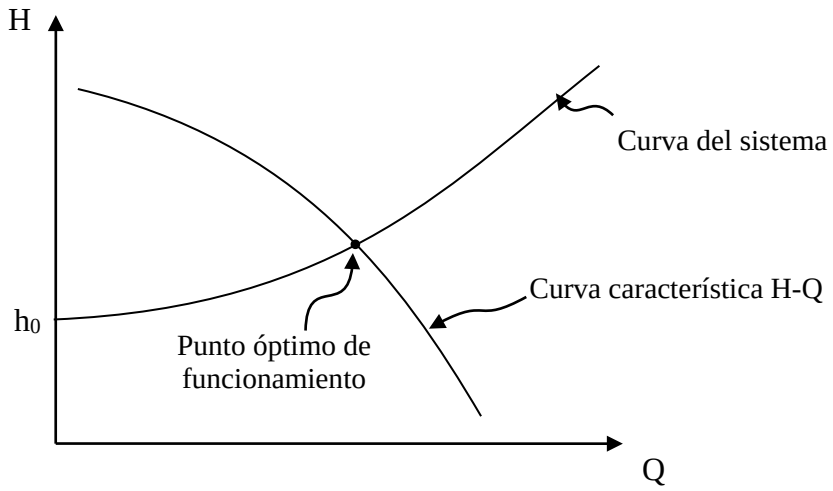
El punto óptimo de funcionamiento del sistema se encontrará en el punto de corte resolviendo el sistema de ecuaciones:

- La curva característica H-Q ajustada de las dos bombas conectadas en serie: $H=a+bQ^2$.
- La curva del sistema ajustada de las dos bombas conectadas en serie: $H_S=c+dQ^2$

Repositorio Institucional UNA-PUNO

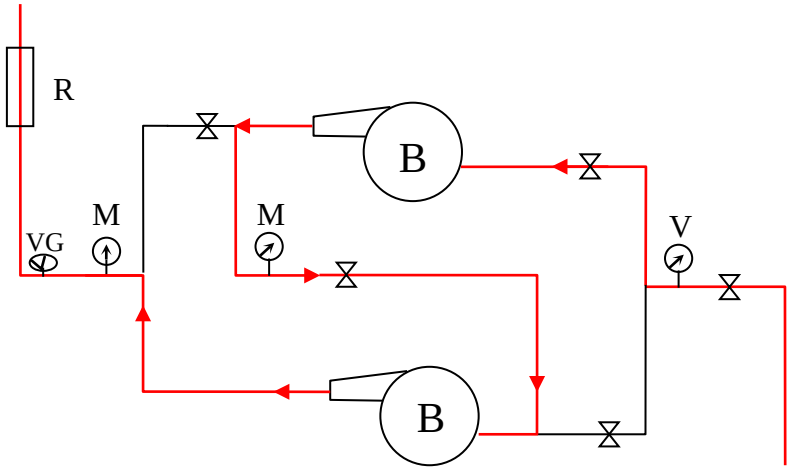
No olvide citar esta tesis

Figura 29: Punto óptimo de funcionamiento de bombas acopladas en serie.



Elaboración: propia

Figura 30: Circuito hidráulico (líneas rojas) de bombas acopladas en serie



Elaboración: propia

D. PROCEDIMIENTO

1. Disponer las válvulas del módulo, para establecer el circuito hidráulico de bombas en serie.
2. Arrancar las bombas.
3. Con la válvula de globo reguladora fijar un caudal.
4. Tomar las lecturas debidamente estabilizadas de:

Repositorio Institucional UNA-PUNO
No olvide citar esta tesis

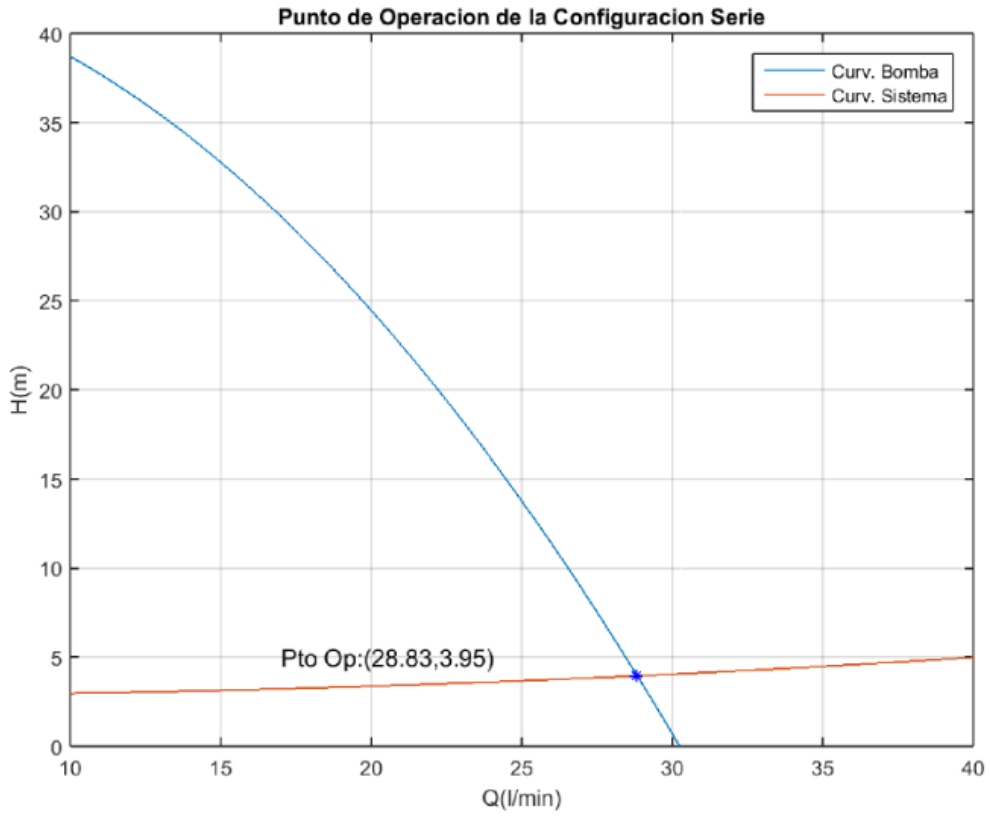
- Presiones de succión (P_s) de cada bomba (vacuómetros).
- Presiones de descarga (P_d) de cada bomba (manómetro).
- Caudales (rotámetro).

5. Cerrando progresivamente la válvula globo a intervalos aproximadamente regulares, hasta que la válvula esté completamente cerrada, fije otros caudales.
6. Repita los pasos 4 y 5 del procedimiento.
7. Tome la temperatura del agua para evaluar sus propiedades.

E. DATOS EXPERIMENTALES

- En la siguiente figura se observa el punto de operación óptimo de las bombas conectadas en serie. La cual es el resultado de la intersección de la curva hallada para el sistema y la curva motriz de las bombas en serie.

Grafico 11 Punto de Operación Bombas en Serie



Elaboración: propia

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

4.2.6. ENSAYO Nº 6. BOMBAS EN PARALELO

A. OBJETIVO

Determinar el punto de funcionamiento de dos bombas conectadas en paralelo.

B. EQUIPO

Módulo para el estudio del comportamiento de bombas en serie y paralelo:

- Dos Bombas Centrífugas iguales.
- Sistema de tubería y válvulas de control.
- Válvula de globo para regulación del caudal.
- Rotámetro
- Vacuómetro
- Manómetro
- Termómetro

C. TEORÍA

El punto óptimo de funcionamiento de dos bombas conectadas en serie, es el punto donde el caudal y su altura manométrica respectiva hacen que el sistema de bombeo funcione eficientemente.

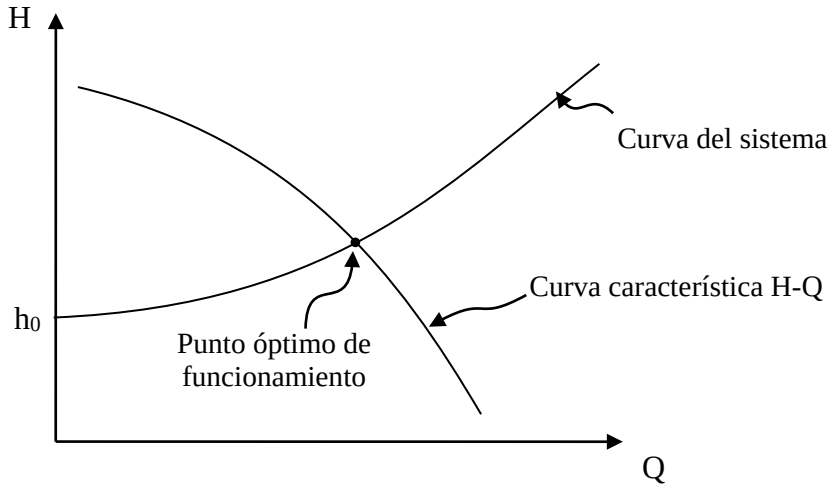
El punto óptimo de funcionamiento del sistema se encontrará en el punto de corte resolviendo el sistema de ecuaciones:

- La curva característica H-Q ajustada de las dos bombas conectadas en serie: $H=a+bQ^2$.
- La curva del sistema ajustada de las dos bombas conectadas en serie: $H_S=c+dQ^2$

Repositorio Institucional UNA-PUNO

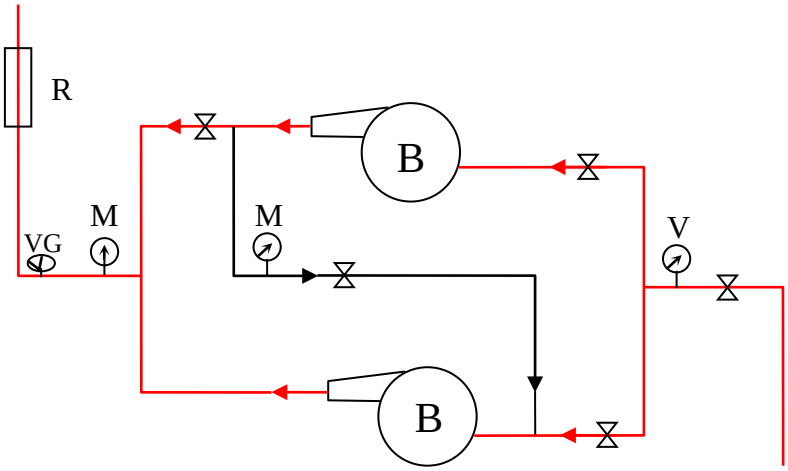
No olvide citar esta tesis

Figura 31: Punto óptimo de funcionamiento de bombas acopladas en paralelo



Elaboración: propia

Figura 32: Circuito hidráulico (líneas rojas) de bombas acopladas en paralelo.



Elaboración: propia

D. PROCEDIMIENTO

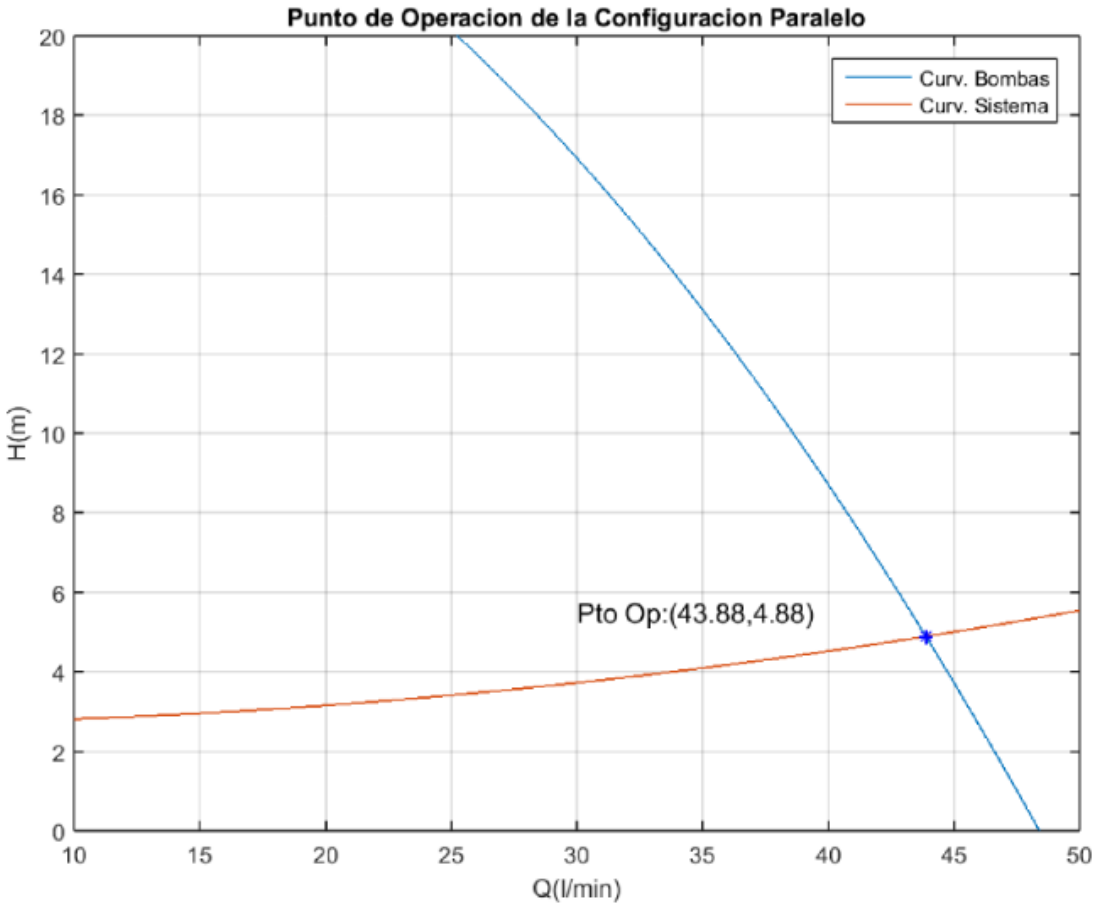
1. Disponer las válvulas del módulo, para establecer el circuito hidráulico de bombas en paralelo.
2. Arrancar las bombas.
3. Con la válvula de globo reguladora fijar un caudal.
4. Tomar las lecturas debidamente estabilizadas de:
   - Presiones de succión (P_s) de cada bomba (vacuómetros).
   - Presiones de descarga (P_d) de cada bomba (manómetro).
   - Caudales (rotámetro).

Repositorio Institucional UNA-PUNO
No olvide citar esta tesis

5. Cerrando progresivamente la válvula globo a intervalos aproximadamente regulares, hasta que la válvula esté completamente cerrada, fije otros caudales.
6. Repita los pasos 4 y 5 del procedimiento.
7. Tome la temperatura del agua para evaluar sus propiedades.

E. DATOS EXPERIMENTALES

Grafico 4. 12 Punto de Operación Bombas en Paralelo



Elaboración: propia

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

CONCLUSIONES

PRIMERO: 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.

SEGUNDO: Se logro diseñar el módulo de laboratorio que permitió desarrollar los seis ensayos experimentales para los cursos de Laboratorio de Ingeniería Mecánica I, II y III. Y así afianzar los conocimientos obtenidos durante la formación universitaria.

TERCERO: Se logro construir el módulo de tesis y la elaboración de las seis guías de laboratorio, que nos permitió analizar el comportamiento de las bombas hidráulicas relacionadas a las curvas características H-Q de bombas en serie y paralelo, curvas del sistema de bombas en serie y paralelo y, finalmente la determinación del punto óptimo del funcionamiento de bombas en serie y paralelo. Los cuales fueron desarrollados, graficados y analizados en el Capítulo 4.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

RECOMENDACIONES

PRIMERO: El módulo de laboratorio para el estudio experimental del comportamiento de bombas hidráulicas en serie y paralelo constituye el resultado de nuestra tesis, por lo tanto, se recomienda que los seis ensayos que se pueden realizar en él sean implementados a corto plazo en los cursos de Laboratorio de Ingeniería Mecánica I, II y III.

SEGUNDO: El proyecto de investigación desarrollado como tesis debe servir como marco referencial para identificar necesidades de carencia de laboratorios en los diferentes cursos de ingeniería de las Universidades y, solucionarlos análogamente como se hizo en nuestra Tesis.

TERCERO: Se recomienda que, para el desarrollo de proyectos de investigación similares al nuestro, las mediciones de parámetros de diseño sean con la tecnología actual de sensores y, se apliquen los conocimientos en los cursos de control para estar de acuerdo a la tecnología de la metrología digital que son utilizados actualmente en los módulos de laboratorio que oferta el mercado comercial.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

BIBLIOGRAFÍA

1. VIEJO, M., ÁLVAREZ, J. (2012). Bombas: Teoría, diseño y aplicaciones. México. 3ra. Edición, Editorial Limusa.

2. PFLEIDERER, C. (2009). Bombas Centrífugas y Turbocompresores, Barcelona, 2da. Edición, Editorial Labor, S.A.

3. CHERKASSKI, V. (2011). Bombas, Ventiladores, Compresores, Barcelona, 3ra. Editorial Marcombo S.A.

4. LUSZCZEWSKI, A. (2012). Bombas para agua, ventiladores y compresores, España, 3ra. Edición, Editorial Reverte ediciones.

5. MOTT, R. (2010). Mecánica de fluidos aplicada, México, 5ta. Edición, Editorial Prentice Hall.

6. MATAIX, C. (2011). Mecánica de fluidos y Máquinas hidráulicas, México, 6ta. Edición, Editorial Harla.

7. GOÑI, J. (2009). Máquinas hidráulicas y térmicas. Lima, 1ra. Edición, Editorial fondo Editorial.

8. UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA (2010). Laboratorio de Ingeniería Mecánica II, Lima, 2dra. Edición, Editorial Universitaria UNI.

9. NORTON, R. (2012). Diseño de maquinaria, México, 4ta. Edición, Editorial McGraw Hill.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

10. SHIGLEY, E. (2011). Diseño en Ingeniería Mecánica, México, 5ta. Edición, Editorial McGraw Hill.

11. HOLMAN, J. (2013). Métodos experimentales para Ingeniería, México, 7ma. Edición, Editorial McGraw Hill.

12. SEYMOUR, J. (2008). El laboratorio del Ingeniero Mecánico, Barcelona, 3ra. Edición, Editorial Hispanoamericana.

13. HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. (2010). Metodología de la Investigación. México. 5ta. Edición, Editorial McGraw Hill.

14. Castro, J. & Paredes, I. (2004) Implementación de un módulo de bombas radiales. Tesis – CPIME. Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

15. Chura, R. & Neira, O. (2013) Diseño e implementación de un sistema de bombeo con control de flujo, para la evaluación de rendimiento del módulo compuesto por bombas hidráulicas para uso de laboratorio de la EPIME-UNA-Puno.

16. Universidad Nacional de Ingeniería. Laboratorio de Ingeniería Mecánica (2010). Guía de laboratorio de Ingeniería Mecánica II.

17. Mendoza, E. (2012). Bombas hidráulicas (pp. 2-8). Perú: Editorial Universidad Nacional Técnica del Callao

18. Gunt Hamburg (2011). Equipos para la educación en Ingeniería Mecánica de fluidos e hidrología.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

19. Mott, R. (2013) Mecánica de fluidos aplicada (p.p. 237-238). México: Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana S.A.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

ANEXOS

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Ensayo 01: Bombas en Serie.

Graficar la curva característica H-Q de bombas en serie.

En la Tabla 4.1 se tienen los datos recolectados; se puede observar que el caudal es el mismo para las dos bombas, además que las alturas de las bombas 1 y 2 son similares lo que evidencia que las características técnicas de las bombas son iguales; la altura del sistema serie es aproximadamente la suma de las alturas de las bombas 1 y 2, lo cual es el funcionamiento típico de esta configuración (suma de ordenadas). Los Gráficos 4.1 y 4.2 muestran los puntos graficados de los datos recolectados y el ajuste de sus curvas, que son las siguientes:

Descripción	Ecuación Ajustada
Bomba 1	$H= -0.02489Q^2+21.79$
Bomba 2	$H= -0.02262Q^2+21.66$
Bomba 1 y Bomba 1 Serie	$H= -0.04751Q^2+43.45$

Según la tabla anterior podemos observar que la ecuación correspondiente a las bombas 1 y 2 en serie, son la suma de las ecuaciones de las bombas 1 y 2 cuando estas funcionan independientemente. Es decir:

$$H= 2\ (-0.02375Q^2+21.72)$$

Lo que corresponde a la teoría de Bombas en serie, que obedecen a la siguiente ecuación:

$$H=n\ (BQ^2+B)$$

En el Grafico 4.3 se puede observar los datos recolectados para cuando las bombas funcionan en serie, además de su respectiva curva ajustada.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

En el Grafico 4.4 se puede observar el comparativo de las curvas ajustadas de Bomba 1, Bomba 2 y las bombas en serie, este grafico evidencia las suma de ordenadas, que para nuestro caso representa las suma de alturas, lo cual verifica el funcionamiento de las bombas en serie.

- **Ensayo 02: Bombas en Paralelo.**

  Graficar la curva característica H-Q de bombas en Paralelo.

  En la Tabla 4.2 se tienen los datos recolectados; se puede observar que los caudales de cada bomba se dividen en la mitad esto es debido a la simetría de la instalación, además de que las características técnicas de las bombas es la misma; lo contrario a las bombas en serie las alturas de las Bombas 1 y 2 es la misma, lo cual es el funcionamiento típico de esta configuración (suma de abscisas). Los Gráficos 4.5 y 4.6 muestran los puntos graficados de los datos recolectados y el ajuste de sus curvas, que son las siguientes:

Descripción	Ecuación Ajustada
Bomba 1	$H= -0.04693Q^2+27.48$
Bomba 2	$H= -0.04691Q^2+27.5$
Bomba 1 y Bomba 1 Paralelo	$H= -0.01173Q^2+27.48$

Según la tabla anterior podemos observar que la ecuación correspondiente a las bombas 1 y 2 en serie, son la división entre 2 del caudal. Es decir:

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

$$H= -0.04693\ (Q/2)^2+27.48$$

Lo que corresponde a la teoría de Bombas en paralelo, que obedecen a la siguiente ecuación:

$$H= A(Q/n)^2+B$$

En el Grafico 4.7 se puede observar los datos recolectados para cuando las bombas funcionan en paralelo, además de su respectiva curva ajustada.

En el Grafico 4.8 se puede observar el comparativo de las curvas ajustadas de Bomba 1, Bomba 2 y las bombas en paralelo, este grafico evidencia las suma de abscisas, que para nuestro caso representa las suma de caudales, lo cual verifica el funcionamiento de las bombas en paralelo.

- **Ensayo 03: Bombas en Serie.**

  Graficar la curva del sistema de bombas en serie.

  En la Tabla 4.3 se tienen los datos recolectados, además en la Tabla 4.4 se tienen los datos calculados; se puede observar el cálculo del número de Reynolds, las perdidas primarias, perdidas secundarias y las pérdidas totales del sistema. El Grafico 4.9 muestra los puntos graficados y calculados de los datos recolectados y el ajuste de su curva, que es el siguiente:

Descripción	Ecuación Ajustada
Curva del Sistema	$H= 0.001351Q^2+2.83$

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

Según la tabla anterior podemos observar que el término independiente de la ecuación del sistema es 2.83 m lo que corresponde a la altura geodésica y además este parámetro es coincidente con la altura física del módulo.

- **Ensayo 04: Bombas en Paralelo.**

  Graficar la curva del sistema de bombas en paralelo.

  En la Tabla 4.5 se tienen los datos recolectados, además en la Tabla 4.6 se tienen los datos calculados; se puede observar el cálculo del número de Reynolds, las perdidas primarias, perdidas secundarias y las pérdidas totales del sistema. El Grafico 4.10 muestra los puntos graficados y calculados de los datos recolectados y el ajuste de su curva, que es el siguiente:

Descripción	Ecuación Ajustada
Curva del Sistema	$H= 0.001137Q^2+2.7$

Según la tabla anterior podemos observar que el término independiente de la ecuación del sistema es 2.7 m lo que corresponde a la altura geodésica y además este parámetro es coincidente con la altura física del módulo.

- **Ensayo 05: Bombas en Serie.**

  Determinar el punto óptimo de funcionamiento de dos bombas conectadas en serie.

  Según el Grafico 4.11 el punto de Operación Optimo es:

  $Q= 28.83$ l/min

  $H= 3.95$ m

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

- **Ensayo 05: Bombas en Paralelo.**

  Determinar el punto óptimo de funcionamiento de dos bombas conectadas en Paralelo.

  Según el Grafico 4.12 el punto de Operación Optimo es:

  Q= 43.88 l/min

  H= 4.88 m

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

FOTO N°1 “Instalación De Bombas De 0.5hp para el funcionamiento de paralelo y en serie”

FOTO N°2 “Bombas fijadas para el funcionamiento en serie y paralelo”

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

FOTO N°3 “En la imagen se muestra 03 válvulas chek, 02 válvulas tipo bola”.

FOTO N°4 “Enroscamiento de tubos para uniones”

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

FOTO N°5 “Ingreso y/o succión de fluido para medición; se muestra 01 vacuometro”.

FOTO N°6 “Fijación de tuberías con uniones universales hacia las bombas 01, 02”.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

FOTO N°7 “Manómetro más válvula tipo mariposa, válvula tipo globo y rotámetro”.

FOTO N°8 “Recipiente de 40 litros para llenado y retorno de fluido a embace 02”

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

FOTO N°9 “Recipiente de 40 litros para llenado y succión de embace 01”

FOTO N°10 “Pintado en tuberías para resaltar el trayecto del fluido en serie(blanco) y paralelo(azul)”

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

FOTO N°11 “Nomenclatura de accesorios en modulo”

FOTO N°12 “ Modulo terminado funcionamiento de bombas en serie y paralelo”.

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

PLANOS DEL MODULO

- 01 VISTA LATERAL
- 02 VISTA 3D
- 03 CONFIGURACION SERIE
- 04 CONFIGURACION PARALELO

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis