

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería de Alimentos



Una Institución Adventista

Implementación de un módulo experimental para evaluar el comportamiento de fluidos en un banco de bombas en serie y paralelo

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero de Alimentos

Autor:

Bach. Miguel Jime Luna Gómez

Asesor:

PhD. Reynaldo Justino Silva Paz

Lima, Marzo de 2020

ANEXO 07 DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DEL INFORME DE TESIS

Reynaldo Justino Silva Paz, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: ***“IMPLEMENTACIÓN DE UN MODULO EXPERIMENTAL PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO DE FLUIDOS EN UN BANCO DE BOMBAS EN SERIE Y PARALELO”***

constituye la memoria que presenta el(la) **Bachiller: Miguel Jime Luna Gómez** tiene un índice de similitud de 20 % y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Ñaña, al 08 de diciembre del 2021



Reynaldo Justino Silva Paz



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los 04 día(s) del mes de marzo del año 2020 siendo las 11:00 horas, se reunieron en el Salón de Grados y Títulos de la Universidad Peruana Unión, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: MSc. Silvia Pilco Aquesada, el secretario: MSc. Daniel Sumire Aquenta y los demás miembros: Ph.D. Leonor Seguncla Bustinga Cabala; Dr. Julio Glorioso Parales Guzman y el asesor Dr. Reymundo Justino Silva Paz

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: Implementación de un módulo experimental para evaluar el comportamiento de fluidos en un banco de bombas en serie y paralelo.

de el(los)/la(las) bachiller(es): a) Miguel Jime Luna Gómez b) —

conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero de Alimentos (Nombre del Título Profesional) con mención en —

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): Miguel Jime Luna Gómez

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>17</u>	<u>B+</u>	<u>Muy bueno</u>	<u>Dedicatoria sobresaliente</u>

Dedicado a mis amados padres y familia.

Candidato (b): —

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

[Firma]
Presidente

[Firma]
Asesor

[Firma]
Candidato/a (a)

[Firma]
Miembro

[Firma]
Secretario

[Firma]
Miembro

[Firma]
Candidato/a (b)

Agradecimiento

A Dios
Al Ing. Samuel Silva Baigorria
Al Ing. Eduardo Mesa Mantari
A la Institución

Índice de tabla

I.	CAPÍTULO I. EL PROBLEMA	10
II.	CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	11
II.1	Antecedentes de la investigación	11
II.2	Ingeniería de Alimentos	12
II.3	Reología de Alimentos	12
II.4	Fluidos de Alimentos	13
II.4.1	Tipos de fluidos	13
II.5	Bomba	13
II.5.1	Tipos de bombas.	14
II.5.2	Cebado de la bomba.....	14
II.5.3	Instalación de una bomba.....	15
II.6	Módulo para cuantificar el fluido.....	19
II.6.1	Caudal	19
II.6.2	Caudalímetro.....	20
II.6.3	Manómetros	20
II.6.4	Vacuómetro.....	20
II.6.5	Altura de carga.....	20
II.6.6	Altura manométrica	21
II.6.7	Pérdidas primarias de tuberías	21
II.6.8	Ecuación de Bernoulli.....	21
III.	CAPÍTULO III. MATERIALES Y METODOS	22
III.1	Lugar y Ejecución.....	22
III.2	Materiales e Equipos	22
III.3	Diseño del módulo del laboratorio	23
III.3.1	Diseño del Sistema Hidráulico de las Bombas.....	23

III.3.2	Selección de las Bombas Hidráulicas.....	24
III.3.3	Diseño y Selección de los Instrumentos de medición de los parámetros experimentales.....	25
III.4	Modelos para caracterizar tipo de fluidos.....	25
III.5	Eficiencia de la potencia de banco de bombas en paralelo.....	28
III.5.1	Cálculo de la altura manométrica o efectiva de la bomba (Hm).....	28
III.5.2	Cálculo de la altura geodésica para bombas en paralelo.....	29
III.5.3	Cálculo de las pérdidas primarias para bombas en paralelo.....	29
III.5.4	Cálculo de las pérdidas secundarias para bombas en paralelo.....	29
III.5.5	Cálculo de las pérdidas totales para bombas en paralelo.....	30
III.5.6	Cálculo de la eficiencia de la bomba en paralelo.....	30
IV.	CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	31
IV.1	Resultados del diseño de banco de bombas en paralelo.....	31
IV.2	Análisis del resultado del diseño de banco de bombas en paralelo.....	33
IV.3	CONCLUSIONES.....	35
IV.4	RECOMENDACIONES.....	37
V.	BIBLIOGRAFÍA.....	38
VI.	ANEXOS.....	40
	ANEXO 01: ENSAYO DE BOMBA EN PARALELO.....	40
	ANEXO 02: ENSAYO DE BOMBAS EN SERIE.....	43

Índice de figura

<i>Figura 1.</i> Instalación de una bomba.....	15
<i>Figura 2.</i> Geodésima.....	16

RESUMEN

El proyecto de investigación tuvo por finalidad el “Implementación de un módulo experimental para evaluar el comportamiento de fluidos en un banco de bombas en serie y paralelo” y ser usado en el laboratorio de la Escuela de Industrias Alimentarias.

La investigación aplicada a la tesis fue experimental y aplicada, los datos empleados al diseño mecánico abarcaron los siguientes aspectos: Identificación del problema, síntesis, análisis y optimización, evaluación y construcción del módulo de banco de bombas.

Los resultados que se obtuvieron en el desarrollo de la construcción del módulo del laboratorio, fueron para la investigación experimental mediante la aplicación de guías de laboratorio, elaborado por dos prácticas de laboratorio para el uso del curso de transferencia de movimiento, aplicados en banco de bombas en paralelo.

Las conclusiones del proyecto de investigación fueron óptimas, debido a que se diseñó y construyó el módulo de banco de bombas y se desarrollaron guías de prácticas para el estudio experimental del comportamiento de fluidos newtonianos en paralelo.

Palabras clave: Banco de bombas, diseño, módulo de laboratorio, autocebantes, vacuómetro.

ABSTRACT

The purpose of the research project is the " Implementation of an experimental module to evaluate the behavior of fluids in a bank of pumps in series and parallel" to be used in the laboratory of the School of Food Industries.

The research applied to the thesis is experimental and applicative, the data used in mechanical design covered the following aspects: Problem identification, synthesis, analysis and optimization, evaluation and construction of the pump bank module.

The results obtained in the development of the construction of the laboratory module, its useful for experimental research through the application of laboratory guides, prepared by two laboratory practices for the use of the movement transfer course. Applied in parallel pump bank.

The conclusions of the research project were optimal because the pump bank module was designed and built and practice guides were developed for the experimental study of the behavior of Newtonian fluids in series and parallel.

Key words: Pump bank, design, laboratory module, self-priming, vacuum gauge.

I. CAPÍTULO I. EL PROBLEMA

La formación académica de un ingeniero de industrias alimentarias debe tener dos aspectos fundamentales: la formación teórica y la formación experimental o práctica.

La formación teórica se realiza a través de los diferentes cursos según la malla curricular general, física, matemáticas, fisicoquímica, termodinámica y transferencia de movimiento, cursos que se desarrolla eficientemente porque se cuenta con una biblioteca con libros especializados de la escuela Profesional, la biblioteca virtual de la universidad y el internet que complementan la información bibliográfica y teórica, necesario, para la formación teórica en ingeniería de industrias alimentarias.

La formación experimental o práctica es fundamental, dado que solo la teoría no compensa toda la parte integral formativa académica, aspecto fundamental en la formación integral de un ingeniero, esto contribuye a la investigación científica de nuestros estudiantes, que es la razón fundamental de la Universidad; también parte del proceso de acreditación.

Este equipo será un aporte de innovación y para ejecución de nuevas prácticas de laboratorio en el área de fluidos newtonianos y también será útil para la Escuela de Ingeniería de Industrias Alimentarias y Ingeniería civil en el área de hidráulica.

La tesis desarrollada que corresponde al área de ingeniería, donde se estudia el comportamiento de fluidos newtonianos, este módulo servirá para el estudio de dichos fluidos para las asignaturas de transferencia de momentum, y hasta el momento no se cuenta con un módulo que sea de fácil entendimiento y práctico; puesto que la parte teórica presenta varias desventajas en la comprensión y entendimiento, por lo que es necesario de un módulo que facilite el aprendizaje en materia de comportamiento de fluidos. La propuesta está constituida por dos bombas en paralelo, dado a que una bomba podrá generar un caudal y presión a un determinado fluido, y al acoplar una segunda bomba, incrementará la presión del fluido.

El objetivo general fue Implementar un módulo de banco de bombas en paralelo a nivel laboratorio para estudiar el comportamiento de los fluidos newtonianos. Para ello se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Diseñar un módulo de laboratorio para el estudio experimental del comportamiento de fluidos en un banco de bombas en paralelo.
- Implementar el uso del módulo de laboratorio para el estudio experimental del comportamiento de fluidos en un banco de bombas en paralelo.
- Determinar la eficiencia del comportamiento de fluidos en un banco de bombas en paralelo.

II. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

II.1 Antecedentes de la investigación

Se busca diseñar una guía de laboratorio de un sistema de bombeo con control de flujo compuesto por bombas hidráulicas para uso de laboratorio de CITAL (Ciencia y tecnología de alimentos) que permita validar los parámetros físicos de funcionamiento. En el presente módulo permite realizar ensayos de bombas en serie y paralelo, el diseño del módulo es por tuberías de plástico, y otros componentes / accesorios de medición; y un depósito de agua.

Gunt Hamburg (2011), diseño equipos para la educación en Ingeniería Mecánica de fluidos e hidrología. Y presentó el Catálogo de módulos de ensayo fabricados por la empresa alemana Gunt Hamburg que tiene un equipo denominado Banco 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.

Chura, R. & Neira, O. (2013) diseñaron e implementaron 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. Además, evaluaron los parámetros físicos y realizaron el análisis de los resultados teóricos versus prácticas a diferentes trayectorias para determinar el rendimiento de las bombas hidráulicas. Esta información se utilizó como referencia para el diseño del módulo, en cuanto a coeficientes de pérdida de dispositivos montados en el sistema de bombeo.

García H. y Suarez J. (2010) evaluaron el diseño, construcción y puesta a prueba de un banco de bombas en serie, paralelo y mixto, describe en su objetivo: Diseñar, construir e implementar un

banco de pruebas de bombas centrifugas para el respectivo análisis de su funcionamiento en diferentes condiciones y verificar los puntos de mejor operación, buscando relacionar la parte teórica, experimental y fortalecer el laboratorio de máquinas hidráulicas, el método utilizado fue el realizar la experimentación en el módulo teniendo en cuenta que no se desfase mucho de los resultados teóricos y así comprobar la teoría, entonces, ejecutado esas acciones se tiene la siguiente conclusión: si se observa cada bomba trabajando individualmente y la gráfica cuando ambas trabajan en serie se concluye que la teoría se cumple a cabalidad y lo mismo sucede cuando se conectan en paralelo.

Aguila T. y Ventura G. (2017), diseñaron y construyeron un banco de pruebas para bombas centrifugas conectadas en serie y paralelo, describe en su objetivo: diseñar y construir un banco de prueba para el análisis de bombas operadas en centrifugación individual, serie, paralelo, el método que utilizo es el siguiente: obtener un resultado teórico para compararlo con los resultados prácticos y lograr que el error no exceda del 10 %. En esta investigación se obtuvo un margen de error entre el análisis teórico vs practico que no supera el 10 % la problemática en diferencia de error radica porque las longitudes equivalentes y coeficientes de fricción tabulados cambian de valoración según el autor del libro, la longitud equivalente de la válvula de compuerta tabulado no coincide con el dato de perdida generado en nuestro sistema también porque se utilizó un rôtmetro que tiene un rango de error +/- 5% y una bomba centrifuga la cual no tiene la suficiente información para determinar la eficiencia, NPSH y potencia.

II.2 Ingeniería de Alimentos

La Ingeniería en Alimentos es una rama especializada de la Ingeniería, que se ocupa de la producción de alimentos desde la obtención de materias primas, su transformación física, química o biológica mediante procesos industriales, hasta su envasado y distribución. Para ello toma los conceptos de la física y de la química y los aplica a las situaciones reales de la industria y la producción, atendiendo también los aspectos de calidad, seguridad, higiene, saneamiento y ecología. (Mataix, C. 2011)

II.3 Reología de Alimentos

La reología es la ciencia del flujo que estudia la deformación de un cuerpo sometido a esfuerzos externos, es fundamental su estudio en muchas industrias, incluyendo los plásticos aceites y derivados, alimentos; estudia las propiedades mecánicas de los líquidos, gases, plásticos, el campo de mayor trabajo son con los fluidos newtonianos. (Montt, R. 2010)

II.4 Fluidos de Alimentos

En la industria de alimentarias se encontrará una diversidad de productos con diferentes propiedades físicas que requieren de procesos específicos para su mezcla. La gran mayoría de los fluidos en la industria alimentaria tienen un comportamiento al ser expuesto a un estado de agitación, presentando un comportamiento newtoniano o no newtoniano. (Geankoplis 2006).

II.4.1 Tipos de fluidos

Según Geankoplis (2006) se pueden clasificar en:

. **Fluidos newtonianos**; aquellos que se someten a las leyes de la mecánica simple según lo establecido en los estudios de Isaac Newton; son fluidos sencillos como el agua.

. **Superfluidos**; También llamados fluidos perfectos, se caracterizan por carecer totalmente de viscosidad, es decir de fluir ante la menor fuerza aplicada sin ofrecer resistencia, este tipo de fluidos son de origen sintético.

. **Fluidos no newtonianos**; es un tipo intermedio entre fluido y sólido, dependiendo de sus condiciones de temperatura y tensión cortante, dependiendo de la fuerza que impacten sobre dicho fluido, este no tendrá una sola viscosidad, sino que dependerá de la fuerza que se impacte sobre él, reaccionara como un sólido, ofreciendo resistencia, mientras que si se le deja en reposo fluirá como un líquido más o menos denso.

II.5 Bomba

Una bomba es una turbo máquina 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)

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.

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.

II.5.1 Tipos de bombas.

Por su trabajo en conjunto presentan dos tipos:

. Bombas en serie: estas se encuentran acopladas en serie con el objetivo de elevar la presión, la tubería de impulsión se acopla a la tubería de aspiración de la siguiente bomba y, de esta manera la suma de las alturas de presión desarrollados.

. Bombas en paralelo: el acoplamiento de las bombas es en paralelo, con el objetivo de aumentar el caudal, al funcionar las dos bombas, sucede la suma de los caudales desarrollado por las bombas.

II.5.2 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:

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

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

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

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

Entonces 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.

II.5.3 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 se aprecia lo siguiente:

- La válvula de pie con alcachofa: 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.

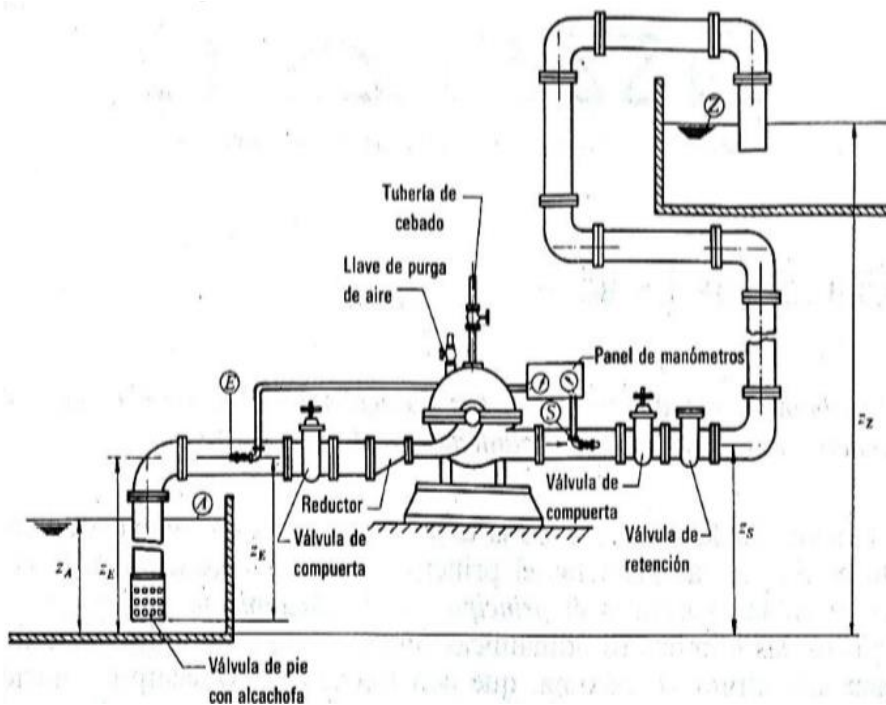


Figura 1. Instalación de una bomba

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}).

II.5.3.1 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). Altura de carga .

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

$$H = \frac{P}{\gamma} \quad (\text{Ec. 3})$$

Dónde: P: presión y γ : peso específico del fluido.

II.5.3.2 Altura de carga de posición (geodésica)

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

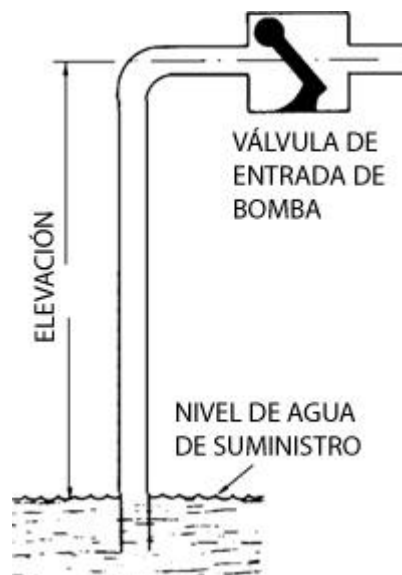


Figura 2. Geodésima

II.5.3.3 Altura de velocidad

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

$$h = \frac{v^2}{2g} \quad (\text{Ec.4})$$

Donde: v: Velocidad,

h: altura de velocidad

g: aceleración de gravedad

II.5.3.4 Altura manométrica

Altura manométrica, Hm es la altura útil que da la bomba o sea la altura teórica, Ht menos las pérdidas en el interior de la bomba, Hint:

$$Hm = Ht - Hint \quad (\text{Ec.5})$$

II.5.3.5 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).

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.

II.5.3.6 Bombas en Paralelo

Cuando una sola bomba tiene la capacidad 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 y la altura de descarga en ambas bombas es la misma y el caudal resultante de la combinación de ambas bombas, es la suma de los caudales de cada una de ellas.

II.5.3.7 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)

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:

$$h_p = \frac{\gamma \cdot L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad (\text{Ec.6})$$

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

γ = factor de fricción, sin dimensiones.

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.

II.5.3.8 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 energía se pierde bajo estas condiciones debido a fenómenos físicos bastante complejos. La predicción teórica de la magnitud de estas pérdidas también es compleja, y por tanto, normalmente se usan los datos experimentales (Mott, R, 2013).

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:

$$h_s = K \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots \text{Ec 7}$$

Donde: h_s = pérdida secundaria o menor.

K = coeficiente de resistencia

v = velocidad de flujo promedio

II.5.3.9 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 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 predicho si se conoce la magnitud de un número adimensional, conocido ahora como número de Reynolds (NR). la ecuación siguiente muestra la definición básica del número de Reynolds (Mott, R.,2013).

$$N_R = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

Dónde: NR = número de Reynolds

v = velocidad de flujo promedio

D_i = diámetro del conducto

ν = 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 NR es menor que 2000, el flujo será laminar. Tenemos también que, si NR 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 (Mott, R.,2013).

II.6 Módulo para cuantificar el fluido

II.6.1 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 m²/S.

II.6.2 Caudalimetro

Es un instrumento para medir caudal o gasto volumétrico de un fluido, estos suelen colocarse en línea con la tubería que transporta el fluido. También se llaman medidores de caudal, medidores de flujo o flujómetros.

II.6.3 Manómetros

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. (Luszczewski, A. 2009).

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.

II.6.4 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. (Luszczewski, A. 2009).

II.6.5 Altura de carga

Carga o altura de presión (h), es la energía interna de un fluido debido a la presión ejercida sobre su contenedor

$$h = \frac{P}{\gamma} = \frac{P}{\rho g} \dots\dots\dots (Ec. 8)$$

donde:

h = carga de presión

Y = factor de fricción, sin dimensiones

II.6.6 Altura manométrica

Altura manométrica, útil o efectiva (H) que da la bomba es la altura que imparte el rodete o la altura teórica, (He), menos las pérdidas en el interior de la bomba, (Hri).

II.6.7 Pérdidas primarias de tuberías

Perdida primaria se produce cuando el fluido se pone en contacto con la superficie de la tubería, esto provoca que se rocen unas capas con otras (flujo laminado) o de partículas de fluidos entre sí (flujo turbulento). Esta pérdida se realiza solo en tramos de tuberías horizontal y de diámetro constante. (Mataix, C. 2011).

II.6.8 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. (Geankoplis, 2004).

III. CAPÍTULO III. MATERIALES Y METODOS

III.1 Lugar y Ejecución

La implementación del módulo se realizó en el Centro de Investigación en Tecnología de Alimentos (CITAL), de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, de la Universidad Peruana Unión (UPeU), Lima km 19.5 carretera central, Ñaña Lima.

III.2 Materiales e Equipos

- Mesa fierro
- Tubos de pvc de 1 pulgada
- Taladro de mano
- Juego de llaves
- cinta métrica
- jarras medidoras
- Cinta teflón
- Válvula mariposa
- Válvula de cierre rápido
- Llave termo magnética y contactores.
- Taladro de mano eléctrico
- Hoja de sierra con arco
- Alicates
- Destornilladores
- Juego de llaves hexagonales
- Cinta teflón
- Cables eléctricos
- Terminales y contactores.
- Bomba centrífuga de 0.5 HP marca Hidrostat
- Manómetros; marca Hydronux

- Amperímetros; marca Techman
- Caudalímetro; Modelo Dnrs-25 NH

III.3 Diseño del módulo del laboratorio

Se diseñó el módulo en el laboratorio de ingeniería de industrias alimentarias incluyendo el diseño mecánico, el cual permite al estudiante entender mejor la asignatura de transferencia de movimiento.

El diseño del módulo abarcó dos aspectos:

- La ingeniería de diseño y construcción del módulo de laboratorio, incluyo todas las fases del diseño mecánico.
- La validación experimental del módulo de laboratorio (prototipo) a través de los ensayos realizados y los resultados experimentales obtenidos.

Para el estudio experimental de bombas en paralelo, en principio se basó en la formulación del planteamiento del problema, detectándose que los módulos de las mismas características técnicas que ofrece el mercado, no son adecuados desde el punto de vista didáctico y pedagógico, porque son compactos y solo se perciben como un depósito de agua, lo que no permite ver claramente los parámetros referidos a la altura de carga geodésica, altura de velocidad, altura de carga estática. El diseño del módulo planteado se considera este aspecto como positivo, ya que el diseño del sistema hidráulico de las bombas, este tiene el esquema que se presenta en la bibliografía de bombas y su visualización permite un mejor aprendizaje sobre el comportamiento de las bombas.

III.3.1 Diseño del Sistema Hidráulico de las Bombas

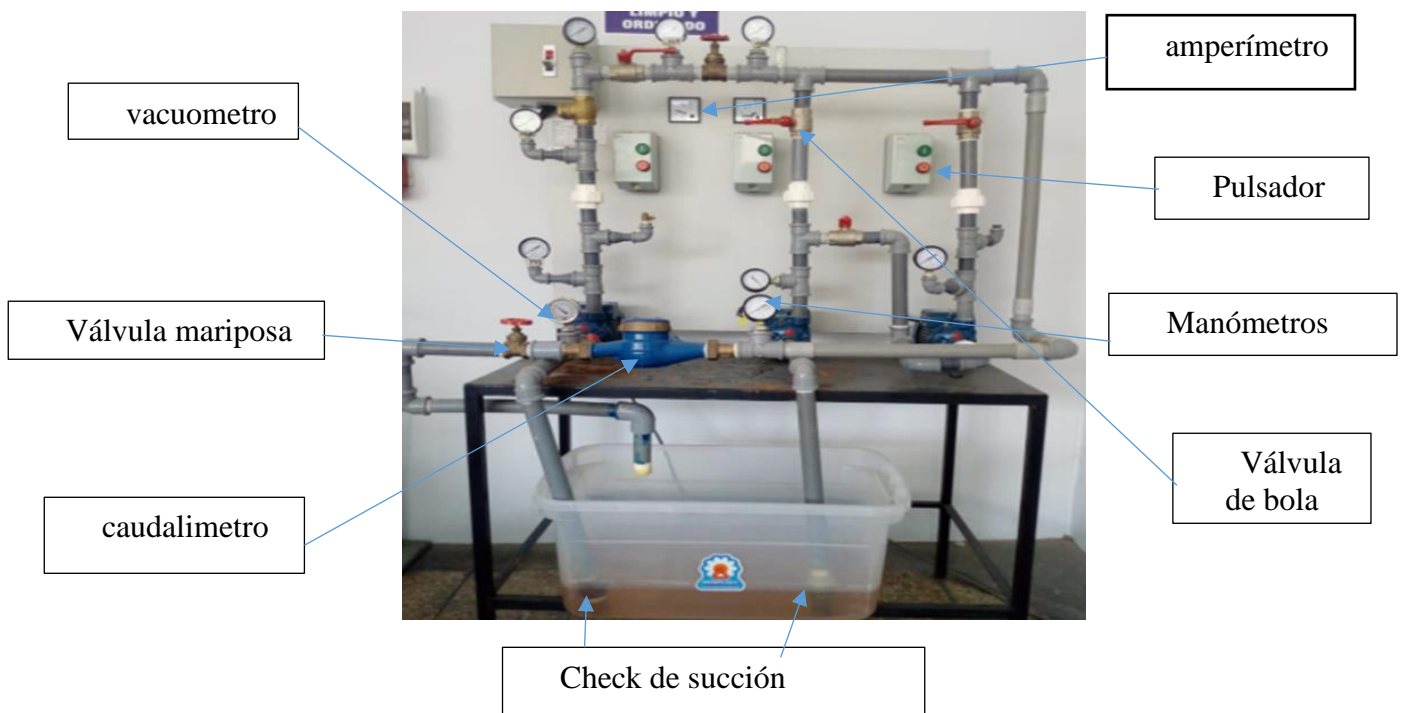
Considerando los aspectos de espacio e infraestructura que se tiene en el laboratorio de Cital y el aspecto académico respecto a la instalación hidráulica que debe tener el módulo, para una enseñanza adecuada del docente y un aprendizaje eficiente de los estudiantes, la instalación hidráulica del módulo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

El módulo tiene las siguientes características técnicas:

- Un depósito de plástico transparente para agua: Las dimensiones constan de la siguiente manera:
el área de la base es de $0.80 \text{ m} \times 0.45 \text{ m}$ con una altura de 0.60 m , con una capacidad de $0.216 \text{ m}^3 = 216 \text{ L}$. Está ubicado en la parte inferior del módulo a una altura del piso de 0.15 m , como se muestra en la Fig. 3

- Las tuberías de la instalación hidráulica son material de pvc de 1 pulgada de diámetro, las que se ubicaran de tal manera que el soporte de tubos y bombas esten sobre una mesa construida de fierro.
- Tres manómetros bañados en glicerina: para medir la presión en las tuberías de impulsión, los que se ubicaran a la salida de las bombas.
- Un vacuómetro bañado en glicerina: para medir la presión en las tuberías de succión, las que se ubicaron a la entrada de la primera bomba.
- Un caudalímetro: instrumento de lectura directa del caudal que circula en las tuberías, el que se instaló al final del circuito hidráulico, antes del depósito de agua inferior.
- Válvulas de bola: se instalaron en el circuito hidráulico, con el objetivo de determinar el circuito de funcionamiento de las bombas en paralelo.
- Válvulas de tipo mariposa: sirven para aumentar o disminuir el caudal de agua que circula en el sistema de tuberías.

Figura 3. PARTE DE LAS TUBERIAS



III.3.2 Selección de las Bombas Hidráulicas

Para seleccionar las bombas se debe estudiar el esquema de la instalación hidráulica por donde circula el agua, con lo que se calcula la potencia necesaria que debe tener cada bomba para garantizar que el agua llegue al depósito superior y la circulación constante, siendo necesario determinar la

altura manométrica de la instalación hidráulica del módulo y especificar el caudal que garantizará la bomba a seleccionar.

III.3.3 Diseño y Selección de los Instrumentos de medición de los parámetros experimentales

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

III.3.3.1 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 por 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.

III.3.3.2 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 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 que trabajan 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 paralelo.

III.4 Modelos para caracterizar tipo de fluidos

Un fluido se define como una sustancia que presenta una deformación continua ante un esfuerzo cortante. La relación de proporcionalidad entre el esfuerzo cortante aplicado y el gradiente de velocidades que presentan las partículas del fluido, se conoce como viscosidad.

La viscosidad es la propiedad del fluido en movimiento, por la cual este ofrece resistencia a las tensiones de cortadura. Se define como la relación entre el esfuerzo cortante aplicado y el gradiente

de velocidades. Esta propiedad podría compararse con la fricción en el caso de los sólidos. La viscosidad depende de varios factores; el nivel de cohesión de las partículas del fluido (que puede ser variable) y la temperatura (inversamente proporcional), entre otros (Masoliver e al, 2017).

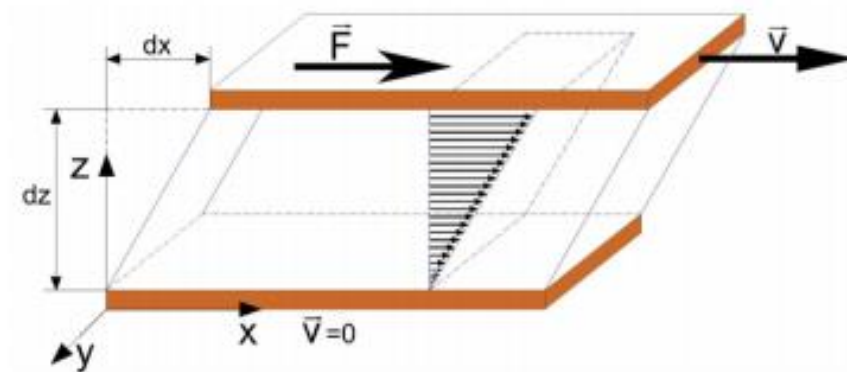


Figura 4 : la viscosidad definida desde la visión de Newton

Se distingue entre fluidos newtonianos y no newtonianos en base a la linealidad de la relación entre el gradiente y el esfuerzo aplicado. Los fluidos newtonianos siguen Expresión

$$\tau = \mu \frac{dv}{dz}, \quad \dots\dots\dots Ec. 9$$

donde τ es el esfuerzo cortante, μ la viscosidad y $\frac{dv}{dz}$ el gradiente de velocidades que se crea paralelo a las superficies de contacto. Una primera clasificación de los fluidos en función de la viscosidad, permite definirlos en fluidos newtonianos, aquellos que su viscosidad es constante y por tanto, la relación entre el esfuerzo cortante y gradiente de velocidad es lineal; y fluidos no newtonianos, en los cuales su viscosidad no es constante y varía en función del esfuerzo cortante aplicado. Dentro de los fluidos no newtonianos se encuentran los fluidos pseudoplásticos y dilatantes. En la Figura 5, se muestran las curvas tipo “Esfuerzo cortante vs Gradiente de Velocidad” que definen dichos fluidos en función de su naturaleza (Masoliver e al, 2017).

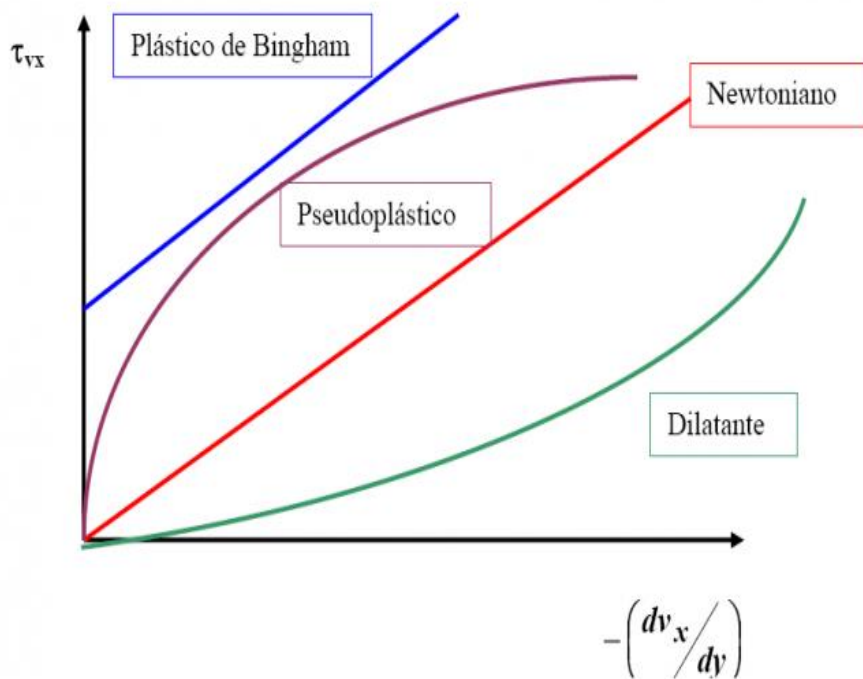


Figura 5: expresiones gráficas de fluidos

La Ecuación (4) definida anteriormente, presenta un caso particular de la ley de potencias que define la viscosidad de un fluido de forma genérica, independientemente de la naturaleza del mismo. Dicha ley de potencias se enumera en la Ecuación (5)

$$\tau = K \left(\frac{dv}{dz} \right)^{n-1} \dots\dots\dots \text{Ec. 10}$$

Donde los parámetros K y n son el índice de consistencia y el índice de comportamiento del flujo, respectivamente. Si el exponente n de la ecuación es menor que la unidad se denomina flujo pseudoplástico, es decir la viscosidad disminuye cuando aumentamos la velocidad de deformación. Este es el caso de la mayoría de los fluidos, entre ellos los alimentos como zumos o salsas (kétchup). El movimiento de este tipo de fluidos viene acompañado de un perfil de velocidades aplanado, similar a los turbulentos. En el caso de valores de n mayores que la unidad, el fluido se denomina dilatante. Estos son menos frecuentes, es el caso del almidón de maíz, donde el perfil de velocidades suele presentarse de forma cónica. Este modelo (ley de potencia) presenta la limitación de ser solo aplicable en ciertos rangos de velocidad, también la dependencia de K con n impide la comparación de fluidos que presentan una K diferente. A bajos gradientes se comporta de forma newtoniana y a medida que aumenta este la viscosidad aparente tiende a un valor finito conocido como viscosidad

aparente, para altos esfuerzos tangenciales. Estos dos fluidos anteriormente mencionados serán en los que se centra el documento a la hora de realizar la aplicación práctica.

III.5 Eficiencia de la potencia de banco de bombas en paralelo

III.5.1 Cálculo de la altura manométrica o efectiva de la bomba (Hm)

Para calcular la altura manométrica o útil de la bomba estudiaremos la instalación hidráulica del módulo, y para calcular óptimamente Hm con miras a adquirir la bomba más adecuada para la instalación que se proyecta que para el estudio de la bomba y de la instalación, se debe considerar lo siguiente:

- Sección 1: Nivel superior del agua en depósito de aspiración.
- Sección 2: Nivel superior del agua 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.

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

$$H_m = 1 + \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + Z_2 - Z_1 + \frac{(v_2)^2 - (v_1)^2}{2g} + h_p + h_i \dots\dots\dots Ec.11$$

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 $\frac{(v_2)^2 - (v_1)^2}{2g} = 0$

$$H_m = (Z_2 - Z_1) + h_p + h_s \dots\dots\dots Ec. 12$$

Dónde: Hm = altura manométrica o efectiva de la bomba.

$$(Z_2 - Z_1) = \text{altura geodésica de la instalación hidráulica.}$$

hp = pérdidas primarias.

hs = pérdidas secundarias.

III.5.2 Cálculo de la altura geodésica para bombas en paralelo

En la ecuación (Ec. 11) la altura geodésica del sistema hidráulico en paralelo se tomará en cuenta la altura del tanque de agua hasta el nivel máximo de tubería.

III.5.3 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

$$H_p = \lambda \frac{L v^2}{D 2g} \dots\dots\dots Ec. 13$$

Dónde: hp = 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

En el esquema del circuito hidráulico funcionando las bombas en paralelo, se determinó la longitud de la tubería de fierro galvanizado (L) en metros.

III.5.4 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:

$$K = \frac{L_e}{D} f_t \dots\dots\dots Ec 14$$

El valor de Le/D, es considerado como una constante para un tipo de válvula o junta. 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 junta, tomado en la zona de turbulencia completa.

Punto para la rugosidad relativa: 5.7×10^{-5}

Punto para el número de Reynolds: 4.9×10^{-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, se tabulan los accesorios para determinar sus correspondientes coeficientes de pérdida de carga secundaria.

III.5.5 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. Considerando el factor de envejecimiento de las tuberías por 10 años de vida útil, análogamente a la conexión de bombas en serie: $f_e = 2,20$

III.5.6 Cálculo de la eficiencia 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 utilizando la ecuación:

$$P_B = \frac{\gamma Q H_m}{\eta_B} f_t \dots \dots \dots \text{Ec. 15}$$

Donde: P_B = potencia de la bomba en Watts

Q = Caudal en m^3/S ($11.66 \times 10^{-4} m^3/S$)

H_m = altura manométrica de la bomba

η_B = eficiencia de la bomba

γ = peso específico de la gua ($9.81 \text{KN}/m^3$)

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

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

Dónde: $h_{envje} = h_p + h_s$

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

$$H_m = 32.75 \text{ m}$$

Por consiguiente, reemplazando en la ecuación (Ec.15)

$$P_B = \frac{9.81 \times 10^2 \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^3}\right) * 11.66 \times 10^{-4} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) * 32.75}{0.8}$$

$$P_B = 468.26 \text{ Watt}$$

$$P_B = 0.63 \text{ hp}$$

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.

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 paralelo.

IV. CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Por la naturaleza del trabajo de investigación se logró implementar, el diseño y construcción de un módulo de experimentación hidráulica para el laboratorio de Cital de Industrias Alimentarias, para el estudio de fluidos newtonianos.

IV.1 Resultados de la implementación de banco de bombas en paralelo

El módulo de laboratorio diseñado y construido servirá para la experimentación e investigación de aspectos relacionados con el funcionamiento de bombas en paralelo,

A través de este módulo de laboratorio se pretende caracterizar el funcionamiento de un conjunto de bombas, en este caso dos bombas conectadas en paralelo. En primer lugar, se procede a la determinación de la curva característica de una bomba aislada, en segundo lugar, se montaron las conexiones de modo que se obtuvo un sistema de dos bombas centrífugas iguales en paralelo, determinando la eficiencia de las bombas del conjunto. Finalmente, se efectuó la conexión de las mismas bombas en paralelo, determinándose igualmente la curva H-Q.

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 Figura.



Figura 6: Banco de bombas en paralelo

El módulo tiene las siguientes características técnicas:

- Un depósito de agua: Las dimensiones del depósito de plástico transparente consta de la siguiente manera:

el área de la base es de $0.80 \text{ m} \times 0.45 \text{ m}$ con una altura de 0.60 m , con una capacidad de $0.216 \text{ m}^3 = 216 \text{ L}$. Está ubicado en la parte inferior del módulo a una altura del piso de 15 cm , como se muestra en la Fig. 3

- Las tuberías de la instalación hidráulica son material de pvc de 1 pulgada de diámetro, las que se ubicaran de tal manera que el soporte de tubos y bombas esten sobre una mesa construida de fierro.
- Tres manómetros: para medir la presión en las tuberías de impulsión, los que se ubicaran a la salida de las bombas y se seleccionaron manómetros bañados en glicerina por ser instrumentos de mayor confiabilidad.
- Un vacuómetro: para medir la presión en las tuberías de succión, las que se ubicaron a la entrada de la primera bomba y se seleccionó vacuómetro bañado en glicerina por ser instrumento de mayor confiabilidad.
- Un caudalímetro: instrumento de lectura directa de caudal que circula en las tuberías, el que se instaló al final del circuito hidráulico, antes del depósito de agua inferior.
- Válvulas de bola: se instalaron en el circuito hidráulico, con el objetivo de determinar el circuito de funcionamiento de las bombas en y paralelo.
- Válvulas de tipo mariposa: esta válvula sirve para aumentar o disminuir el caudal de agua que circula en el sistema de tuberías.

IV.2 Análisis del resultado de la implementación del banco de bombas en paralelo

En el módulo se puede realizar el ensayo 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 paralelo, también se puede realizar el funcionamiento de bombas en serie.

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.

Análiticamente, 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.

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 paralelo, se pudo establecer diferentes ensayos experimentales que se podrán realizar en el módulo de laboratorio y, que se especifican y detallan en el anexo 01 y 02.

IV.3 CONCLUSIONES

Con el presente trabajo de investigación se implementó el módulo, con la construcción de banco de bombas en paralelo para el laboratorio de Ingeniería de Industrias Alimentarias, y analizar el estudio experimental del comportamiento de fluidos newtonianos con el banco de bombas en paralelo.

Se logró construir el módulo de laboratorio que permitió desarrollar dos ensayos experimentales para el curso de Laboratorio de Transferencia de movimiento. Y así afianzar los conocimientos sobre comportamiento de fluidos newtonianos, que se obtienen durante la formación universitaria.

Se logró validar el módulo de bombas en paralelo y se elaboró dos guías de laboratorio, que nos permitió analizar el comportamiento de las bombas hidráulicas relacionadas a las curvas características H-Q de bombas en paralelo, curvas del sistema de bombas en paralelo y, finalmente la determinación del punto óptimo del funcionamiento de bombas en paralelo.

El cálculo de la potencia de cada bomba, se utilizará la ecuación:

$$P_B = \frac{\gamma Q H_m}{\eta_B} \text{ ft.} \dots \text{Ec. 15}$$

Donde: P_B = potencia de la bomba en Watts

Q = Caudal en m^3/S ($11.66 \times 10^{-4} m^3/S$)

H_m = altura manométrica de la bomba

η_B = eficiencia de la bomba

γ = peso específico de la goma ($9.81 \text{KN}/m^3$)

La altura manométrica o efectiva (Hm) de cada bomba se determinó utilizando la ecuación:

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

Dónde: $h_{envje} = h_p + h_s$

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

$$H_m = 32.75 \text{ m}$$

Por consiguiente, reemplazando en la ecuación (Ec.15)

$$P_B = \frac{9.81 \times 10^2 \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^3}\right) * 11.66 \times 10^{-4} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) * 32.75}{0.8}$$

$$P_B = 468.26 \text{ Watt}$$

$$P_B = 0.63 \text{ hp}$$

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.

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 paralelo.

IV.4 RECOMENDACIONES

Se recomienda que los ensayos que se pueden realizar en él sean implementados a corto plazo en los cursos de Laboratorio de Ingeniería de Industrias Alimentarias.

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 la Universidad y, solucionarlos análogamente como se hizo en nuestra Tesis.

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.

V. 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. Montt, R. (2010). Mecánica de fluido aplicado, México, 5ta. Edición, Editorial Prentice Hall.
6. Matáis, 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.
10. Gunt Hamburg (2011). Equipos para la educación en Ingeniería Mecánica de fluidos e hidrología.
11. 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.

12. Mendoza, E. (2012). Bombas hidráulicas (pp. 2-8). Perú: Editorial Universidad Nacional Técnica del Callao
13. Guillem Masoliver, Modesto Pérez-Sanchez, Amparo López-Jimenez, volumen (10) 2017. Modelo experimental para estimar la viscosidad de fluidos no newtonianos: ajuste a expresiones matemáticas convencionales.
14. Aguilar Torres R., Ventura Gómez Harold (2017). Diseño y construcción de un módulo de laboratorio para estudio experimental del comportamiento de bombas hidráulicas en serie y paralelo.
15. García Hernandez Hernán, Suárez Rincon Jesús (2010). Diseño construcción y puesta a prueba de un banco de bombas centrifugas en serie, paralelo y mixto.
16. Geankoplis Christie John, cuarta edición (2006). Procesos de transporte y principios de procesos de separación.

VI. ANEXOS

ANEXO 01: ENSAYO DE BOMBA 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 paralelo; está dado por la ecuación:

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

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:

$$\Delta H_p = \sum \Delta H_s$$

$$Q_p = Q_i$$

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 bola reguladora fijar un caudal.
4. Tomar las lecturas debidamente estabilizadas de:
 - Presiones de succión (Ps) de cada bomba (vacuómetros).
 - Presiones de descarga (Pd) de cada bomba (manómetro).
 - Caudales (rotámetro).
5. Cerrando progresivamente la válvula bola 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

Tabla 4. 2 Tabla Datos Recolectados Bombas en Paralelo

corridas	Bomba 1	Bomba 2	total	Vacuometro	M1	M2		
	L./min	L./min	Q	Bar	Bar	Bar		
1	7.10	8.20	15.30	0.16	1.0	1.2		
2	8.25	9.50	17.75	0.17	1.0	1.1		
3	10.50	11.20	21.70	0.18	0.9	1.0		
4	11.00	12.00	23.00	0.18	0.8	0.9		

5	11.5	12.80	24.30	0.19	0.8	0.9		
6	12.10	13.20	25.30	0.19	0.6	0.8		

Donde:

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 paralelo.

ANEXO 02: ENSAYO DE 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:

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

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:

$$\Delta H_s = \sum \Delta H_i$$

$$Q_s = Q_i$$

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 (Ps) de cada bomba (vacuómetros).
 - Presiones de descarga (Pd) 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

Tabla 4. 1 Tabla Datos Recolectados Bombas en Serie

corridas	Bomba 1	Bomba 2	total	Vacuometro	M1	M2			
	L./min	L./min	Q	Bar	Bar	Bar			
1	7.10	8.20	15.30	0.16	1.0	1.2			
2	8.25	9.50	17.75	0.17	1.0	1.1			

3	10.50	11.20	21.70	0.18	0.9	1.0			
4	11.00	12.00	23.00	0.18	0.8	0.9			
5	11.5	12.80	24.30	0.19	0.8	0.9			
6	12.10	13.20	25.30	0.19	0.6	0.8			

Donde:

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

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



costo de materiales para banco de bombas

cantidad	materiales	costo S/.
8	Manometro	288.00
1	Amperimetro	30.00
1	Voltimetro	30.00
1	Vacuometro	60.00
1	Regulador de 30 volt.	47.00
3	Arrancadores Stronge	200.00
10	Reduccion de 1" a 1/2 "	18.00
7	Niple	33.00
1	Broca de 1/2"	6.00
15	Uniones de 1/2 "	40.00
2	valvulas tipo mariposas	58.00
7	valvulas tipo bola	154.00
3	uniones universales de 1"	36.00
1	check de 1"	30.00
2	check de succión	46.00
1	rollo de cable #14	66.00
1	tablero 20 x 20	55.00
1	llave termomagnetica de 20 A	62.00
1	diferencial termica 20A	45.00
1	taper rectangular cap 20 lt.	65.00
8	terminales	18.00
2	cintas aislantes	17.00
6	cintas teflon	12.00
1	mesa de fierro	460.00
3	bombas centrifugas	600.00
1	caudalimetro	160.00
	total	2636.00

COTIZACION DE BANCO DE BOMBAS

COTIZACION N° LM-0008194

Señores 20138122256 UNIVERSIDAD PERUANA UNION
 Dirección CAR. CENTRAL KM. 19 VILLA UNION-NANA, LURIGANCHO
 Teléfono 6186300
 Atención **MIGUEL LUNA GOMEZ**
 ESCUELA DE INGENIERIA DE ALIMENTOS
 E-Mail miguelluna@upeu.edu.pe

Fecha Cot. 26/08/2019

Ejecutivo de Cuenta **ING. ANSELMO MUÑOZ**
 anselmojs@jindustrial.pe

Item	Descripción	Cantidad	P. Unitario S/	Valor Venta
1	<p>C3-MKII-G: INSTALACION EXPERIMENTAL DE BOMBAS MULTIPLES, 60 HZ, 10</p> <p>Marca: Armfield</p> <p>Modelo: C3-MKII-G</p> <p>Procedencia: Inglaterra</p> <p>Especificaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Una unidad autónoma de prueba con múltiples bombas, con todos los servicios y la instrumentación necesarios para determinar las curvas características a diferentes velocidades • Incluye cinco puestos de bombas diferentes (4 activos a la vez). • Se suministra con una bomba centrífuga y una bomba de engranajes. • Están disponibles como opción: una bomba axial, una bomba de impulsor flexible, una bomba de turbina, una bomba de diafragma, una bomba de émbolo y una segunda bomba centrífuga. • Pueden realizarse demostraciones de bombeo en serie/paralelo mediante la instalación de la segunda bomba centrífuga opcional. • Incorpora una válvula de control aguas arriba de cada bomba (salvo la bomba axial) para demostrar el efecto de la pérdida de aspiración en el rendimiento. • Mediante el uso de un ordenador (no suministrado) se selecciona la velocidad de la bomba o bombas requerida. Un diagrama esquemático muestra, para cada una de las bombas, la información necesaria y la lectura de los parámetros medidos y las variables calculadas. • Medición electrónica del caudal, carga y aspiración y el par motor. • Sistema opcional de medición volumétrica de caudal para bombas recíprocas <p>Possibilidades de demostración</p> <ul style="list-style-type: none"> > Determinar el rendimiento de diferentes tipos de bomba a velocidad constante produciendo un conjunto de curvas características <p>Para bombas rotodinámicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Carga vs caudal -Potencia absorbida vs caudal -Eficiencia de la bomba vs caudal <p>Para bombas de desplazamiento positivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Caudal vs carga -Potencia absorbida vs carga -Eficiencia volumétrica vs carga <ul style="list-style-type: none"> > Determinación del efecto de la velocidad sobre el rendimiento de las 	1.00 EA	218,926.10	218,926.10

Item	Descripción	Cantidad	P.Unitario S/	Valor Venta
1	<p>bombas</p> <ul style="list-style-type: none"> > Comprender la diferencia entre bombas rotodinámicas y bombas de desplazamiento positivo > Comprender el efecto de la resistencia del sistema > Determinación del efecto de pérdidas de aspiración en una bomba centrífuga > Demostración del efecto producido al utilizar dos bombas centrífugas en serie y en paralelo (requiere C3-MkII-20SP) > Comprender las características de una bomba recíproca (requiere C3-MkII-25 o C3-MkII-28 y C3-MKII-40) <p>ACCESORIOS OPCIONALES: *****</p>			
2	<p>C3-MKII-20SP: Bomba centrífuga secundaria -ARMFIELD</p> <p>Marca: Armfield</p> <p>Modelo: C3-MKII-20SP</p> <p>Procedencia: Inglaterra</p> <p>Una segunda Bomba centrífuga, idéntica a la C3-MKII-20, que incluye las válvulas adicionales necesarias para realizar la demostración de bombas en serie/paralelo</p>	1.00 EA	12,823.99	12,823.99
3	<p>C3-MKII-22: Bomba de flujo axial -ARMFIELD</p> <p>Marca: Armfield</p> <p>Modelo: C3-MKII-22</p> <p>Procedencia: Inglaterra</p> <p>Una bomba de flujo axial de diseño especial, alojada en una carcasa de material acrílico transparente.</p> <p>Caudal máximo 75 l/min y carga máxima 1,2 m.</p>	1.00 EA	36,735.21	36,735.21



Item	Descripción	Cantidad	P.Unitario S/	Valor Venta
4	<p>C3-MKII-23: Bomba impulsor flexible -ARMFIELD</p> <p>Marca: Armfield</p> <p>Modelo: C3-MKII-23</p> <p>Procedencia: Inglaterra</p> <p>Una bomba de bronce con eje de acero inoxidable e impulsor flexible. Caudal máximo 80 l/min con carga de 3m.</p>	1.00 EA	13,458.27	13,458.27
5	<p>C3-MKII-24: Bomba tipo turbina -ARMFIELD</p> <p>Marca: Armfield</p> <p>Modelo: C3-MKII-24</p> <p>Procedencia: Inglaterra</p> <p>El cuerpo de la bomba es de bronce, con impulsor de turbina de bronce con palas rectas y eje de acero inoxidable. Caudal máximo 40 l/min y carga máxima 25 m.</p>	1.00 EA	20,544.95	20,544.95
6	<p>C3-MKII-25: Bomba de diafragma (requiere C3-MKII-40) - ARMFIELD</p> <p>Marca: Armfield</p> <p>Modelo: C3-MKII-25</p> <p>Procedencia: Inglaterra</p> <p>Una bomba de diafragma con piezas humedecidas de uPVC, diafragma de 150 mm (6 pulgadas) de diámetro y carrera de 25mm (1 pulgada). Caudal máximo 5.8 l/min y carga máxima 50 m.</p>	1.00 EA	28,530.08	28,530.08
7	<p>C3-MKII-26: Bomba de émbolo (requiere C3-MKII-40) - ARMFIELD</p> <p>Marca: Armfield</p> <p>Modelo: C3-MKII-26</p> <p>Procedencia: Inglaterra</p>	1.00 EA	27,420.77	27,420.77

Item	Descripción	Cantidad	P.Unitario S/	Valor Venta
------	-------------	----------	---------------	-------------

7

Una bomba de émbolo con piezas humedecidas de acero inoxidable, con luz de 34 mm (1 3/8 pulgadas) y carrera de 25 mm (1 pulgada).
Caudal máximo 5,3 l/min y carga máxima 80 m.

8	C3-MKII-40: Sistema de medición volumétrica -ARFIELD	1.00 EA	18,940.58	18,940.58
---	--	---------	-----------	-----------

Marca: ~~Armfield~~
Modelo: C3-MKII-40
Procedencia: Inglaterra

Las bombas recíprocas (C3-MkII-25 y C3-MkII-26) no son apropiadas para la medición electrónica del caudal debido a la naturaleza pulsante del mismo. Para medir con precisión el caudal de estas bombas, se requiere un Sistema de Medición Volumétrica que pueda medir el volumen de agua que fluye en un periodo de tiempo determinado. El C3-MkII-40 es una columna de agua con capacidad de 8 litros, con escala vertical. La parte inferior de esta columna está conectada a la entrada de la bomba recíproca, y se mide el tiempo necesario para que el agua cambie entre 2 puntos.

NOTA:

Todos los equipos cuentan con:

- > ~~Certificación~~ de calidad ISO 9001.
- > ~~Proteccion Electrica~~: Dispositivo de Corriente Residual (en todos los equipos que sean energizados por corriente ~~electrica~~)
- > Manual de ~~operacion~~ y procedimiento experimental
- > Software dedicado
- > Capacitación e Instalación por personal especializado
- > 02 años de garantía de fábrica
- > Disponibilidad de servicios y repuestos
- > Se adjunta hoja técnica

Item	Descripción	Cantidad	P. Unitario S/	Valor Venta
8				

IMPORTANTE:

- 1.- Los precios ofertados son en Nuevos Soles y el incoterm cotizado es CIF CALLAO.
- 2.- El sector de Educación está exonerado del pago de los derechos arancelarios, IGV e IPM, según anexo II del D.S. N° 152-2003 -EF publicado el 11.OCT.2003 Y D.S. N° 001-2004-EF publicado el 07.ENE.2004

CONDICIONES DE VENTA

Validez de la Oferta	30 DIAS
Tiempo de entrega	7 meses
Lugar de entrega	CAR. CENTRAL KM. 19 VILLA UNION-NANA - LURIGANCHO
Procedencia	Inglaterra
Forma de Pago	FACTURA A 10 DIAS
Moneda	Soles
Garantía	2 AÑOS (Por defecto de Fabricación)

COTIZADO POR
CYNTHIA REGALADO

	TOTAL S/
CIF	377,179.93

