

Potencia hidráulica

Hydraulic power

Martín Ortiz Domínguez ^a, Arturo Cruz Avilés ^b, Ángel J. Morales Robles ^c, Jorge Zuno Silva ^d

Abstract:

In this practice we will determine the hydraulic power, through the determination of the maximum head (h_B) for a hydraulic network, we will also determine the pressure drop in a network from point 1 to point 3, considering the losses by elbows and valves, to determine the power of the hydraulic pump, we will also determine the friction factor (F) of a hydraulic network and thus find the power of the hydraulic pump.

Keywords:

Hydraulic power, pressure, hydraulic pump, valves

Resumen:

En la presente práctica se va a determinar la potencia hidráulica, a través de la determinación de la altura máxima (h_B) para una red hidráulica, asimismo se determinará la caída de presión en una red desde el punto 1 hasta el punto 3, considerando las pérdidas por codos y por válvulas, para determinar la potencia de la bomba hidráulica, también se determinará el factor de fricción (F) de una red hidráulica y así encontrar la potencia de la bomba hidráulica.

Palabras Clave:

Potencia hidráulica, presión, bomba hidráulica, válvulas

Introducción

Las bombas hidráulicas son “máquinas cuya misión consiste en aumentar la energía de las masas líquidas por desplazamiento de las mismas a través de tuberías”.

Dichas herramientas tienen los siguientes componentes básicos:

- Un orificio de entrada que suministra los líquidos que tiene el depósito.

^a Autor de Correspondencia, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0003-4475-9804>, Email: martin_ortiz@uaeh.edu.mx

^b Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0003-0455-1646>, Email: arturo_cruz8085@uaeh.edu.mx

^c Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Área Académica de Ciencias de la Tierra | Pachuca de Soto-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0009-0003-6810-6565>, Email: mo298963@uaeh.edu.mx

^d Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-1997-5399>, Email: Jorge_zuno@uaeh.edu.mx

- Un orificio de salida que está conectado al orificio que se encuentra en la línea de presión.
- Una cubierta en la que se ubica un mecanismo giratorio que se conecta al eje impulsor, el cual gira gracias a un motor eléctrico.

Gracias a este conjunto de componentes, las bombas hidráulicas (ver Figura 1) pueden transformar energía mecánica o eléctrica en energía del fluido que mueve, ya sea agua o sustancias como el aceite. El aumento de energía se puede producir por elevación de dichas masas líquidas a ciertas alturas, por aumento de la presión, por aumento de velocidad o por aumento combinado de altura, presión y velocidad. La aparición de las bombas hidráulicas, ocurrió hace miles de años por la necesidad que las personas tenían de abastecer de agua sus pueblos, de este modo crearon mecanismos para llevarla de un lugar a otro con cierta facilidad (Cengel y Cimbala, 2006; Crespo, 2006; Barrero-Ripoll et al., 2005; White, 2008).

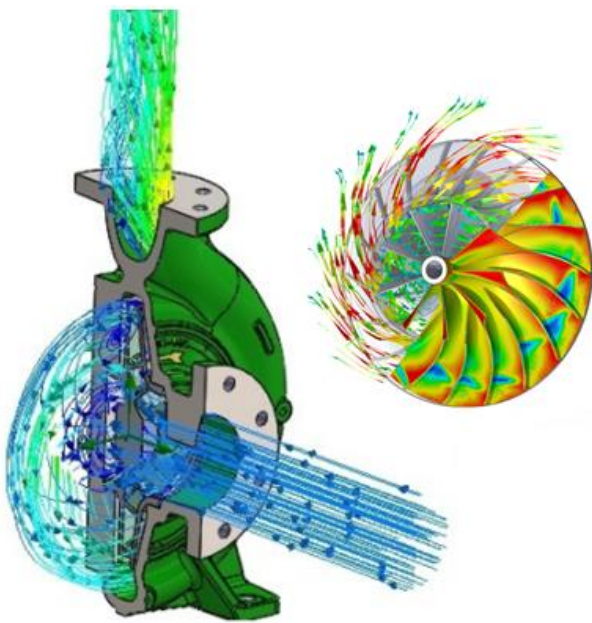


Figura 1. Bomba hidráulica: sistema de admisión y salida de un fluido. Fuente: elaboración propia.

A pesar de ser máquinas primitivas, las bombas hidráulicas cumplían bien con sus funciones, pero los avances tecnológicos hicieron posible que las bombas mejoraran tanto en estructura como en funcionamiento, logrando que aparecieran modelos variados, por ejemplo, las bombas de pistones.

Descripción de una bomba hidráulica

El principio básico de funcionamiento de las bombas hidráulicas (ver Figura 2) en realidad es sencillo, todo comienza en la entrada de la bomba donde se crea un vacío y aumenta el volumen dentro de la misma máquina. Los líquidos del depósito fluyen debido a la diferencia de presión que se genera entre el vacío que hay en la bomba y la presión atmosférica que hay en el depósito; esto permite que los líquidos vayan hacia la entrada de dicho aparato gracias a una línea de succión. Posteriormente el líquido, ya sea aceite o agua, es expulsado de la bomba y el volumen dentro de la misma disminuye. De este modo, el ciclo vuelve a comenzar cada vez que se genera presión en el depósito, lo que depende de los usos que se le den a cada bomba. De hecho, las bombas son similares a los motores hidráulicos, solo que los motores convierten energía hidráulica en mecánica, mientras que una bomba hace el proceso a la inversa: energía mecánica que se transforma en hidráulica.

Las bombas hidráulicas funcionan gracias al principio de Bernoulli, el cual establece que en un flujo la presión estática, así como la presión dinámica, es constante. El principio de Bernoulli sólo se aplica en aquellos flujos "donde la viscosidad del fluido sea despreciable en comparación con los efectos de inercia y gravitación, es decir, solo se aplica a regiones en las que la viscosidad o fuerza de fricción interna es neta, el caudal es constante y el fluido tiene densidad constante". El funcionamiento de las bombas también depende del tipo de máquina, ya que actualmente existen bombas que se utilizan con fines diversos, por lo que cada una tiene una forma de utilización que vale la pena conocer (FNMT, 2024).

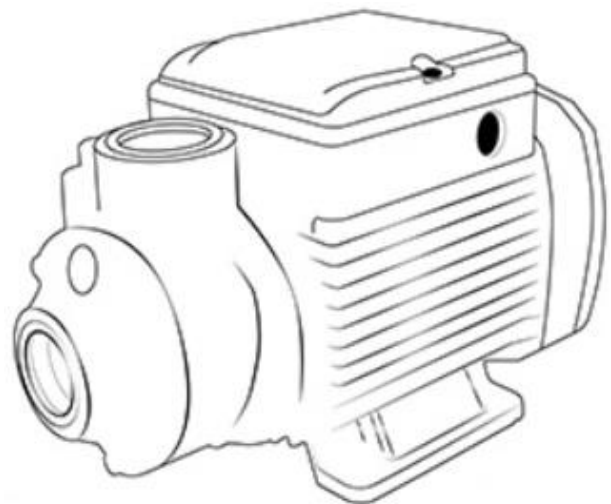


Figura 2. Entrada y salida de una bomba hidráulica. Fuente: Elaboración propia.

Componentes de una bomba hidráulica

- **Ejes.** Elementos que permiten la transmisión que se da entre el motor y la bomba.
- **Impulsor o rodete.** Es el responsable de bombear el líquido que sale de la bomba.
- **Puerto de salida.** Es el orificio por donde debe salir el líquido de la bomba hidráulica, no siempre agua.
- **Rotor.** Posibilita el movimiento de la bomba en conjunto con el motor y los ejes. Se compone de diversas barras conductoras cuyos extremos están interconectados por anillos conductores.
- **Cuerpo de la bomba.** Es su engranaje completo. Si una de sus partes falla, la bomba no funcionará total o parcialmente.
- **Cojinete.** Es la guía y soporte de la bomba hidráulica. Permite una alineación en las diferentes rotaciones que ejerce esta máquina.
- **Cilindro.** El cilindro hace posible el desplazamiento del pistón de la bomba hidráulica para convertir la presión de la máquina en energía.
- **Estator.** Forma parte del motor, protege las partes que componen la bomba.

Tipos de bombas hidráulicas

Bombas de engranajes

Las bombas hidráulicas de engranajes son las que más se utilizan como fuente de alimentación hidráulica. Están conformadas por dos engranes que permanecen unidos y que giran dentro de la cubierta de la misma bomba, haciéndola óptima para un rango muy amplio de viscosidades. El funcionamiento de estas bombas comienza cuando el líquido entra a la máquina por medio de un canal de succión, ubicado entre el engranaje exterior y el interior; en este punto conviene aclarar que el engranaje exterior es mayor que el ubicado en la parte

interna. Una vez que esto sucede, el líquido fluye por los espacios que quedan entre los dientes de los engranes, esta estructura tiene una forma de media luna, lo que sirve para que el líquido se divida y además se pueda sellar la entrada y la salida. Después, “la presión del líquido es elevada justo antes de que este salga por el conducto de salida, luego los dientes de los dos engranes se acoplan y forman un sello equidistante, que fuerza al líquido a salir”. Este tipo de bombas hidráulicas tienen diferentes aplicaciones, es común verlas como parte de las instalaciones de la industria petroquímica, ya que sirven como medios de filtración y lubricación.

Bombas de paletas

Las bombas de paletas tienen un rotor que se caracteriza por sus ranuras, es decir, las paletas que son impulsadas hacia la parte exterior gracias a la fuerza centrífuga que genera el motor cuando gira, ya que está conectado a un eje impulsor. La función de las paletas es sellar las paredes de la cubierta, para que puedan transportar un líquido de la misma manera que lo hacen las bombas de engranajes; por ello, es común que sean utilizadas en compañías que se dedican a fabricar equipos industriales. Entre las principales ventajas de estas bombas se encuentra su capacidad media, que trabajan bien con líquidos delgados y lo pueden hacer en seco por periodos cortos de tiempo.

Bombas de tornillo

Otra de las bombas hidráulicas que más se conocen es la de tornillo, la cual utiliza estos componentes de forma helicoidal (de hélice) para poder moverse dentro de una camisa que genera el movimiento de un líquido, entre el tornillo y dicha camisa. Su principal función es la bombear fluidos viscosos, que, al tener mucho contenido de sólidos, no necesitan ser removidos antes de que se lleve a cabo el proceso de bombeo.

Bombas de pistones

Estas bombas funcionan por medio de la hidrostática, es decir, que a partir de una variación del volumen se genera también una variación en la presión. Para trabajar correctamente necesitan de cilindros que succionan líquido por medio de aspas, pues cuando giran crean una corriente de absorción. Lo que hacen los pistones es lanzar el fluido, comprimirlo y luego darle un empuje que le permite alcanzar una buena presión, y con esto la bomba puede trabajar. Una de sus aplicaciones más

populares está en el sector industrial, dentro de la maquinaria que hace cortes con chorros de agua (FNMT, 2024).

Aplicaciones prácticas

Agricultura

Las bombas de agua para el uso agrícola (ver Figura 3) es una alternativa que favorece el regadío de los cultivos y rentabiliza la mano de obra de los agricultores. Disponer de este elemento para el trabajo en el campo, nos ofrece muchas ventajas. Las bombas impulsan el agua desde diferentes profundidades, alcanzando grandes distancias. Existen diferentes tipos de bombas de agua que se adaptan a las necesidades del terreno de manera eficiente. Las bombas de agua permiten precisar la cantidad de agua que el cultivo en cuestión necesita.

De esta manera, favorecemos la producción y controlamos la cantidad de agua utilizada para el cultivo, cuidando así de nuestro medio ambiente. Al utilizar un mecanismo más preciso, en cuanto a cantidad y horario de riego, los cultivos adquieren mayor uniformidad, aprovechando mejor así la cosecha en general. Además de contener mayores nutrientes e hidratación, debido a su suministro óptimo de agua (Crespo, 2006; Barrero-Ripoll et al., 2005).

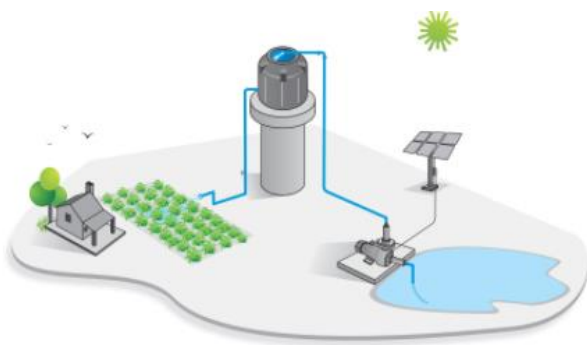


Figura 3. Bomba hidráulica para uso agrícola, tiene mucha impulsión, por lo que puede distribuir el agua a una zona más grande con más presión. Fuente: Elaboración propia.

Uso doméstico

Las bombas de agua están presentes en nuestro día a día. Son máquinas que normalmente están escondidas y que no vemos, pero que nos aportan calidad de vida y permiten el desarrollo de nuestras sociedades. Por ejemplo, para que salga agua por nuestros grifos, casi siempre hay una o varias electrobombas hidráulicas detrás que hacen que esto sea posible (ver Figura 4). Fuera de nuestras viviendas y edificios existen numerosos equipos de bombeo que trabajan sin descanso (Crespo, 2006; Barrero-Ripoll et al., 2005; White, 2008).



Figura 4. Bomba hidráulica de agua de una vivienda. Fuente: elaboración propia.

Industria química

Las industrias químicas y de procesos utilizan bombas hidráulicas centrífugas para aplicaciones tales como productos químicos, pinturas, productos petroquímicos, productos farmacéuticos, celulosa, hidrocarburos, producción de alimentos, bebidas y refinado de azúcar.

La bomba centrífuga, también denominada bomba rotodinámica, es la máquina más utilizada para bombear líquidos en general. Las bombas centrífugas son siempre rotativas y son un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor en energía cinética o de presión de un fluido incompresible (Crespo, 2006; Barrero-Ripoll et al., 2005).

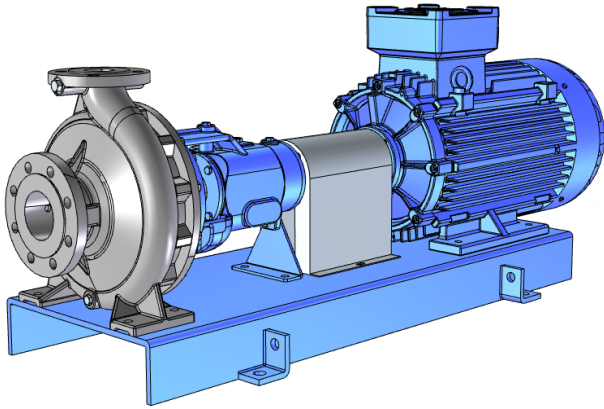


Figura 5. Bomba hidráulica centrífuga. Fuente: elaboración propia.

Objetivo general

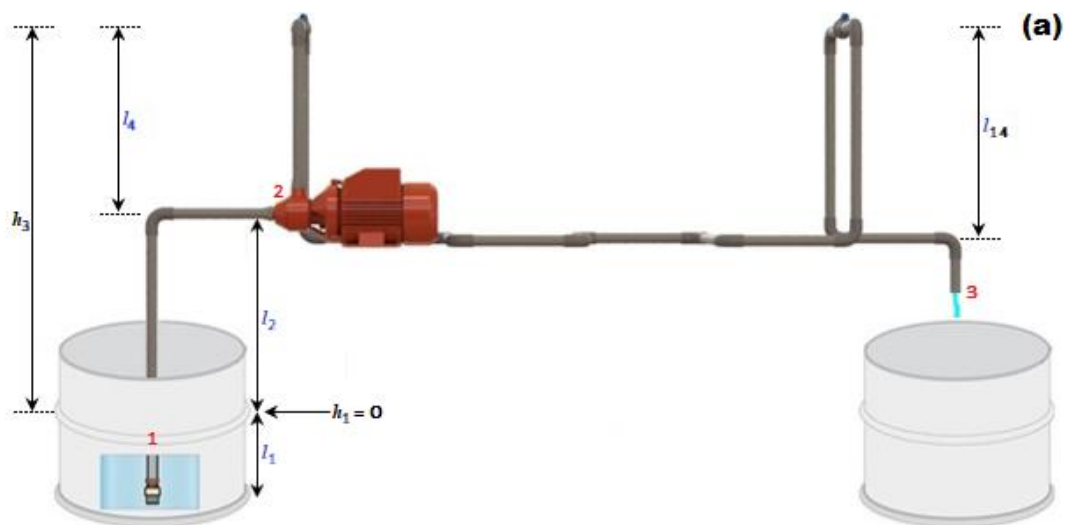
Determinar la potencia de una bomba hidráulica, a través de la determinación de la altura máxima (h_B), para una red hidráulica.

Objetivos específicos

- Determinar la caída de presión en una red hidráulica desde el punto 1 hasta el punto 3, considerando las pérdidas por rugosidad de tuberías, pérdidas por codos y por válvulas, para determinar la potencia de la bomba hidráulica.
- Determinar el factor de fricción (F) de una red hidráulica, con ayuda rugosidad absoluta, el diámetro interno de la tubería y el número de Reynolds, para determinar la potencia de la bomba hidráulica.

Descripción del equipo y material

Esta práctica permite que los estudiantes puedan estimar la potencia de una bomba hidráulica.



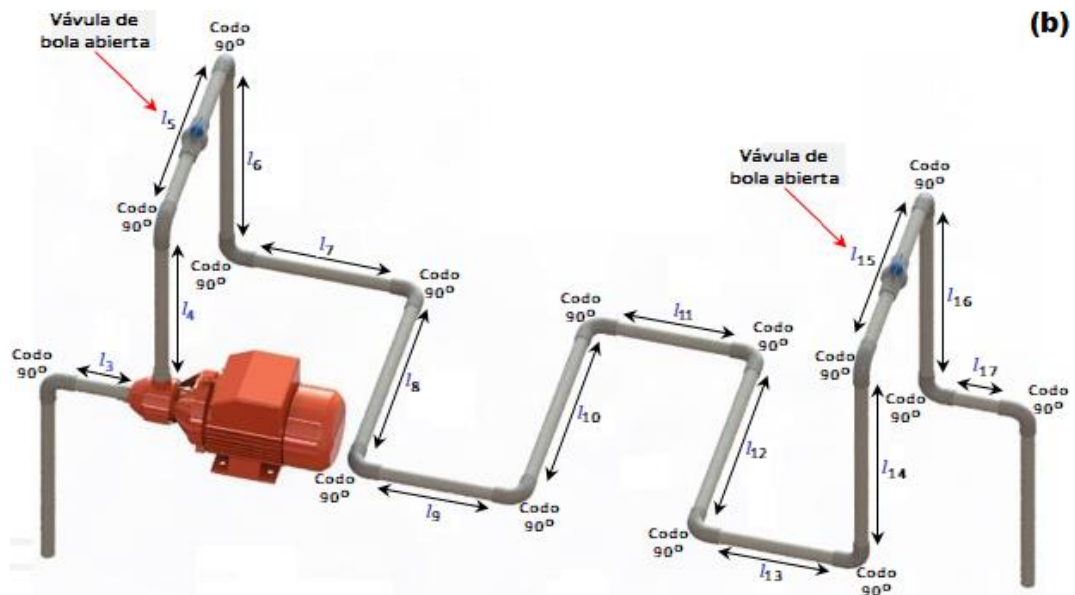


Figura 6. Dispositivo empleado para determinar la potencia de una bomba hidráulica. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 6, un esquema del dispositivo empleado para determinar la potencia de una bomba hidráulica, integrado por una bomba hidráulica de 1/2 hp, una red hidráulica (tubo de CPVC, 15 codos de CPVC y dos válvulas de bola abierta) y dos contenedores cilíndricos.

1.- Bomba periférica de 1/2 HP Munich: permite bombear con facilidad el agua de un contenedor cilíndrico hacia el otro contenedor. Cuenta con una potencia de 1/2 HP (Caballos de Fuerza), altura máxima 40 m, caudal de 40 lt/min y una tensión de 127 Volts – 60 Hz.



Figura 7. Bomba periférica de 1/2 HP Munich (Munich, 2024).

2.- Aceite para lubricar: los lubricantes de la serie 600 de Mobil SHC™ son aceites de excepcional desempeño para engranajes y cojinetes diseñados para proporcionar un

servicio sobresaliente en términos de protección de los equipos, de vida útil del aceite y de una operación sin problemas.



Figura 8. Aceite lubricante (Ortiz-Domínguez et al., 2022).

3.- Llaves españolas: se utilizan para ajustar tornillos, tuercas y casi cualquier objeto que posea una cabeza en forma de hexágono. Estas herramientas son muy utilizadas, debido a que se usan en cualquier trabajo que necesite de un ajuste mecánico, aplicación de fuerza o de torque.



Figura 9. Llaves españolas (TecnoEdu, 2020).

4.- Vernier: un instrumento de medición, principalmente de diámetros exteriores, interiores y profundidades;



Figura 10. Vernier (Mecánica y mantenimiento, 2020).

5.- Cronómetro: reloj de gran precisión para medir fracciones de tiempo muy pequeñas, empleado para determinar el tiempo que tarda en alcanzar una cierta presión el manómetro integrado en el compresor.



Figura 11. Cronómetro (The motorsport center, 2020).

6.- 15 codos de $\frac{3}{4}$ de pulgada CPVC (Policloruro de Vinilo Clorado), son dispositivos usados en la unión de segmentos de tuberías. Permiten que los tubos que son unidos resistan tanto las fuerzas internas como externas, las vibraciones y la presión ejercida por los líquidos que fluyen a lo largo de la tubería.



Figura 12. codos de $\frac{3}{4}$ de pulgada CPVC (Policloruro de Vinilo Clorado). Fuente: Elaboración propia.

7.- Tubos de una pulgada y de $\frac{3}{4}$ de pulgada: los usos incluyen tuberías de agua fría y caliente, y el manejo de líquidos industriales.



Figura 13. Tubos de una pulgada y de $\frac{3}{4}$ de pulgada. Fuente: Elaboración propia.

8.- Válvula de pie pichancha: cuenta con extremos roscados de $\frac{3}{4}$ de pulgada, su uso es apto para servicios de agua a temperatura de -10 a 80 grados centígrados. Su función para este accesorio es evitar el vaciado de la tubería en forma vertical, permitiendo así que el flujo quede en un sólo sentido y esto sin permitir que el flujo, normalmente las podemos encontrar en el fondo de una cisterna que donde trabajan impidiendo que se vacíe la tubería, con el fin de que la bomba no tenga contacto con el aire al momento de succionar y así evitar tener que purgarla.



Figura 14. Válvula de pie pichancha (Material de laboratorio, 2020).

9.- Contenedor de acero: permite almacenar agua, para garantizar un suministro constante a la bomba periférica.



Figura 15. Contenedor de acero. Fuente: Elaboración propia.

10.- Soporte universal: integrado por una base de soporte grande en forma rectangular y una varilla de acero cromado. El soporte se utiliza para sujetar el tubo de acrílico.



Figura 16. Soporte universal (Material de laboratorio, 2020).

Teoría

En mecánica clásica, se dice que una fuerza realiza un trabajo cuando hay un desplazamiento del centro de masas del cuerpo sobre el que se aplica la fuerza, en la dirección de dicha fuerza.

$$W = Fh_B \quad (1)$$

Donde:

W = Trabajo de la bomba

F = Fuerza para elevar el fluido

h_B = Altura máxima de la bomba

Pero también la fuerza se puede expresar de la siguiente manera:

$$F = mg \quad (2)$$

Sustituyendo la Ec. (2) en la Ec. (1), se obtiene:

$$W = mgh_B \quad (3)$$

Por otro lado, la densidad se define como:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (4)$$

Despejando a la masa de la Ec. (4), se encuentra que:

$$m = \rho V \quad (5)$$

Sustituyendo la Ec. (5) en la Ec. (3), se tiene:

$$W = V \rho g h_B \quad (6)$$

La potencia es la cantidad de trabajo (trabajo = fuerza x desplazamiento) emitido en un segundo, es decir:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{V \rho g h_B}{t} \quad (7)$$

El caudal es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto por unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo, es decir:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (8)$$

Sustituyendo la Ec. (8) en la Ec. (7), se obtiene:

$$P = Q \rho g h_B \quad (9)$$

La eficiencia de la bomba hidráulica se considera técnicamente como una relación de la potencia hidráulica y la potencia de la bomba, es decir:

$$\eta = \frac{Q \rho g h_B}{P_B} \quad (10)$$

Despejando la potencia de la bomba:

$$P_B = \frac{Q \rho g h_B}{746 \eta} \quad (11)$$

Donde:

g = Aceleración de la gravedad

ρ = Densidad del fluido

h_B = Altura máxima de la bomba

Q = Caudal del fluido

η = Eficiencia de la bomba hidráulica

746W = 1 hp

Para determinar la potencia de la bomba (PB) de la bomba debemos primero calcular nuestra única incógnita de la

Ec. (11) que es h_B que lo determinaremos con la ecuación de Bernoulli desde el tramo 1 hasta el tramo 3. Daniel Bernoulli nació en Suiza y realizó grandes contribuciones en la dinámica de fluidos, publicó su obra más famosa en 1738 titulada "Hidrodinámica", donde advertía sobre el estudio teórico y práctico del equilibrio, la presión y la rapidez en los fluidos. De allí deduce el "Principio de Bernoulli" un concepto que expresa que a medida que aumenta la rapidez de un fluido, su presión disminuye. Con esto la ley de la conservación de la energía se cumple cuando los líquidos están en movimiento, de allí deduce el siguiente enunciado:

En un líquido ideal cuyo flujo es estacionario, la suma de aquellas energías como la cinética, potencial y de presión (o energía de flujo) que posee cierto líquido en un punto, es igual a la suma de estas energías en otro punto cualquiera.

Para deducir la ecuación de lo que proponía Bernoulli en su libro, es necesario considerar la Figura 18.

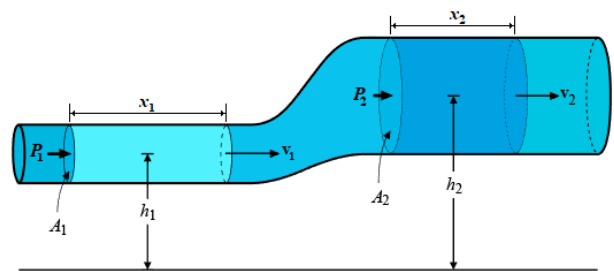


Figura 18. Sección de un tubo a diferentes alturas y áreas transversales. Fuente: Elaboración propia.

Como se basa en la ley de la conservación de la energía, entonces deducimos los siguientes tres tipos:

1.- Energía cinética: Debido a la velocidad y a la masa del líquido. Denotada por la siguiente fórmula:

$$E_c = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 \quad (12)$$

2.- Energía potencial: Debido a la altura del líquido, respecto a cualquier punto de referencia, y dada por la siguiente fórmula:

$$E_p = m_1gh \quad (13)$$

3.- Energía de flujo o de Presión: Originada por la presión que las moléculas del fluido que actúan entre sí, por lo que el trabajo realizado para el desplazamiento de éstas moléculas es igual a la energía ante mencionada.

$$E_{\text{flujo}_1} = W_1 = F_1x_1 = P_1A_1x_1 = P_1V_1 \quad (14)$$

Así, de acuerdo con el teorema de Bernoulli, la suma de las energías de un punto inicial, deberá ser igual a las energías obtenidas en la salida. Entonces matemáticamente tenemos lo siguiente:

$$E_{c_1} + E_{p_1} + E_{\text{flujo}_1} = E_{c_2} + E_{p_2} + E_{\text{flujo}_2} \quad (15)$$

Al sustituir las Ecs. (12), (13) y (14) en la Ec. (15), tenemos que:

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2 + m_1gh_1 + P_1V_1 = \frac{1}{2}m_2v_2^2 + m_2gh_2 + P_2V_2 \quad (16)$$

Considerando la Ec. (5), podemos definir a la masa como:

$$m_1 = \rho V_1 \quad (17)$$

$$m_2 = \rho V_2 \quad (18)$$

Sustituyendo las Ecs. (17) y (18) en la Ec. (16), resulta en:

$$\frac{1}{2}\rho V_1v_1^2 + \rho V_1gh_1 + P_1V_1 = \frac{1}{2}\rho V_2v_2^2 + \rho V_2gh_2 + P_2V_2 \quad (19)$$

La muestra de volumen que entra V_1 es exactamente igual a la muestra de volumen que sale V_2 , de acuerdo con la Figura 18, es decir:

$$V_1 = V_2 \quad (20)$$

Considerando la Ec. (20), en la Ec. (19), tenemos:

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 + P_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2 + P_2 \quad (21)$$

Dividiendo la Ec. (21) entre ρg en ambos lados de la igualdad, se tiene:

$$\frac{v_1^2}{2g} + h_1 + \frac{P_1}{\rho g} = \frac{v_2^2}{2g} + h_2 + \frac{P_2}{\rho g} \quad (22)$$

Pero

$$\gamma = \rho g \quad (23)$$

La Ec. (23), es considerado como el peso específico. Considerando la Ec. (23) en la Ec. (22), se tiene:

$$\frac{v_1^2}{2g} + h_1 + \frac{P_1}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2g} + h_2 + \frac{P_2}{\gamma} \quad (24)$$

Adaptando la el fundamento de la Ec. (24), al ejemplo de la Figura 6b, se tiene:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 + h_B = \frac{P_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g} + h_3 + l_{14} + h_{f_{1-3}} \quad (25)$$

Es por eso que debemos calcular el h_B mediante un balance con la ecuación de Bernoulli desde el tramo 1 hasta el tramo 3 (ver Figura 6b). Que a su vez queda simplificada de la siguiente forma, debido a que la h_1 por ser el punto de referencia la bomba se cancela, $V_1 = 0$ debido a que el nivel de referencia de mantiene constante, P_1 (presión en la entrada de la tubería) y P_3 (presión en la salida de la tubería en la descarga) se mantienen a la presión atmosférica ($P_1 = P_3$), por lo tanto se pueden eliminar en ambos lados de la igualdad en la Ec. (25). Despejando la altura máxima de la bomba de la Ec. (25), se obtiene:

$$h_B = \frac{v_3^2}{2g} + h_3 + l_{14} + h_{f_{1-3}} \quad (26)$$

Donde

$$h_3 = l_2 + l_4$$

La velocidad de descarga en el punto 3, se determina como:

$$v_3 = \frac{Q_3}{A_3} \quad (27)$$

Con

$$A_3 = \frac{\pi D_3^2}{4} \quad (28)$$

$$v_3 = \frac{4Q_3}{\pi D_3^2} \quad (29)$$

Sustituyendo la Ec. (28) en la Ec. (27), se obtiene:

A continuación se presenta en la Tabla 1, las dimensiones comerciales de tubería de CPVC.

Tabla 1. Dimensiones comerciales de tubería CPVC. Fuente: Elaboración Propia.

Tipo de tubería	RDE	Presión de trabajo a 23°C (psi)	Diámetro nominal		Masa (kg/m)	Diámetro exterior		Diámetro o interior (mm)
			(mm)	(pulg)		(mm)	(pulg)	
Unión lisa	9	500	21	1/2	0.22	21.34	0.840	16.6
	11	400	26	3/4	0.30	26.67	1.050	21.81
	13.5	315	21	1/2	0.16	21.34	0.840	18.18
			28	1	0.35	28.50	1.122	23.00
	21	200	26	3/4	0.19	26.67	1.050	23.63
			33	1	0.25	33.40	1.315	30.20
			42	1 1/4	0.40	42.16	1.660	38.14
			48	1 1/2	0.51	48.26	1.900	43.68
			60	2	0.81	60.32	2.375	54.58
			73	2 1/2	1.18	73.03	2.875	66.07
			88	3	1.76	88.90	3.500	80.42
			114	4	2.90	114.30	4.500	103.42
	26	160	60	2	0.66	60.32	2.375	55.70
			73	2 1/2	0.96	73.03	2.875	67.45
			88	3	1.44	88.90	3.500	82.04
			114	4	2.38	114.30	4.500	105.52
	32	125	88	3	1.16	88.90	3.500	83.42
			114	4	1.90	114.30	4.500	107.28

El diámetro nominal de la tubería es de 1 pulg, de tal manera que de acuerdo con la Tabla 1, el diámetro interior es de 23.00 mm, haciendo la correspondiente conversión de unidades, tenemos:

$$D_3 = (23.00 \text{ mm}) \left(\frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \right) = 0.02300 \text{ m} \quad (30)$$

Para determinar la caída de presión en la línea total de la tubería desde el punto 1 hasta el punto 3, tenemos:

$$h_{f_{1-3}} = F \frac{L}{D} \frac{v_3^2}{2g} + \sum_{i=1}^n k_i \frac{v_3^2}{2g} \quad (31)$$

Considerando las pérdidas en los codos (15 codos, ver Figura 6b) y las válvulas (dos válvulas, ver Figura 6b), la Ec. (31), se escribe de la siguiente manera:

$$h_{f_{1-3}} = \underbrace{F \frac{L}{D} \frac{v_3^2}{2g}}_{\text{Pérdidas por rugosidad de tuberías}} + \underbrace{15 \cdot \kappa_c \frac{v_3^2}{2g}}_{\text{Pérdidas por codos}} + \underbrace{2 \cdot \kappa_v \frac{v_3^2}{2g}}_{\text{Pérdidas por válvulas}} \quad (32)$$

Donde:

F = Factor de fricción

L (Longitud total de la tubería) = $L_D + L_S = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6 + l_7 + l_8 + l_9 + l_{10} + l_{11} + l_{12} + l_{13} + l_{14} + l_{15} + l_{16} + l_{17}$

D = Diámetro interior de la tubería

k_c = Coeficiente de fricción en los codos

k_v = Coeficiente de fricción en las válvulas

Si $Re > 4000$, tenemos un flujo turbulento y debemos usar la siguiente expresión para determinar el facto de fricción:

$$F = \frac{1.325}{\left\{ -\ln \left[\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right] \right\}^2} \quad (33)$$

Si $Re > 2000$, tenemos un flujo laminar y debemos usar la siguiente expresión para determinar el facto de fricción:

$$F = \frac{64}{Re} \quad (34)$$

Donde el número de Reynolds se expresa como:

$$Re = \frac{vD\rho}{\mu} \quad (35)$$

Donde:

ρ = Densidad del agua

μ = Viscosidad del agua

En la Tabla 2, se presenta la rugosidad absoluta de diferentes materiales.

Tabla 2. Rugosidad absoluta de materiales. Fuente: Elaboración propia.

Material	ε (rugosidad absoluta) (mm)
Acero comercial	0.0460
Fundición asfaltada	0.1220
Hierro forjado	0.0500
Hierro fundido	0.2500
Hierro galvanizado	0.1500
Madera ensamblada	0.3050
CPVC, plástico, cobre, latón, vidrio	0.0015

Por otro lado, considerando la Tabla 2, la rugosidad relativa se define como:

$$\begin{aligned} \text{Rugosidad relativa} &= \frac{\varepsilon}{D} = \frac{0.0015 \text{ mm}}{23.00 \text{ mm}} \quad (36) \\ &= 6.521 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

Con la determinación de número de Reynolds y la rugosidad relativa, también es posible determinar el factor de fricción (ver Figura 19).

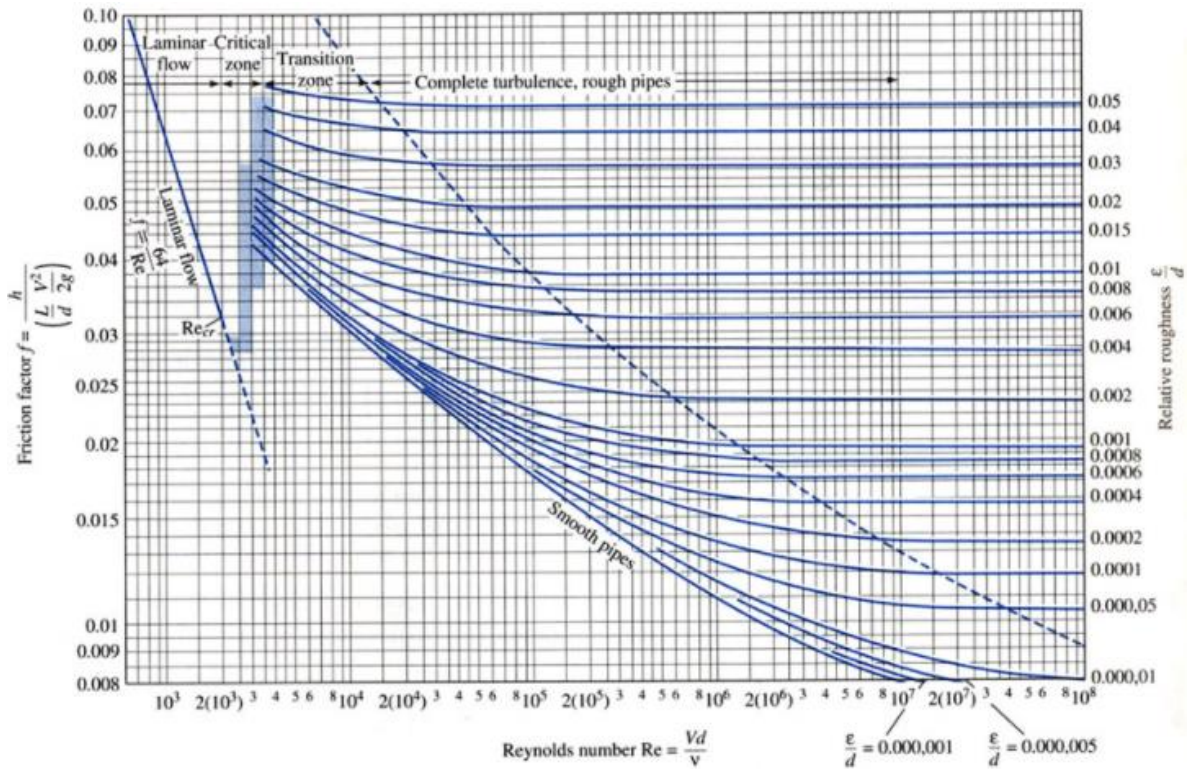


Figura 19. Diagrama de Moody (Número de Reynolds, 2020)

En la Tabla 3, se presentan los valores de los coeficientes κ de cada aditamento usado en las tuberías hidráulicas.

Tabla 3. Valores de los coeficientes κ de cada aditamento. Fuente: Elaboración propia.

Aditamento	κ	Aditamento	κ
Ampliación gradual	0.3	Te paso directo	0.6
Boquilla	2.8	Te salida bilateral	1.8
Codo de 45°	0.4	Te salida lateral	1.3
Codo de 90°	0.9	Válvula de ángulo abierta	5.0
Codo de retorno	2.2	Válvula de cheque de bisagra	2.5
Entrada de borda	1.0	Válvula de compuerta abierta	0.2
Entrada normal tanque tubo	0.5	Válvula de compuerta abierta (1/2)	5.6
Medidor de agua, disco	7.0	Válvula de globo abierta	10.0
Medidor Vénturi	2.5	Válvula de pie	1.8
Reducción gradual	0.2		

Con ayuda de la Tabla 3, Ec. (29) y la Ec. (33), la Ec. (32), se escribe de la siguiente manera:

$$h_{f_{1-3}} = \frac{1.325}{\left\{ -\ln \left[\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{\text{Re}^{0.9}} \right] \right\}^2} \frac{L}{2Dg} \left(\frac{4Q_3}{\pi D_3^2} \right)^2 + \underbrace{15 \cdot \kappa_c \frac{1}{2g} \left(\frac{4Q_3}{\pi D_3^2} \right)^2}_{\text{Pérdidas por codos}} + \underbrace{2 \cdot \kappa_v \frac{1}{2g} \left(\frac{4Q_3}{\pi D_3^2} \right)^2}_{\text{Pérdidas por válvulas}} \quad (37)$$

Con las Ecs. (29) y (37), es posible determinar la Ec. (26), que a su vez nos permite determinar la potencia de la bomba hidráulica (ver Ec. (11))

$$(P_B = Q \rho g h_B / 746 \eta), \text{ con } \eta = 0.75$$

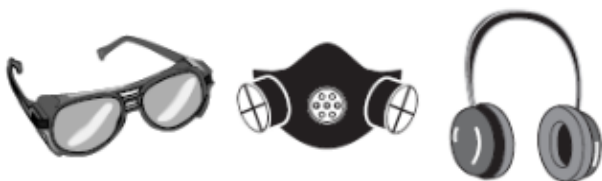
Procedimiento experimental

Equipo de protección individual a utilizar:

- Bata blanca
- Botas de seguridad
- Guantes de látex blandos
- Gafas de protección
- Cubrebocas
- Orejeras de doble cubierta

Advertencia

El uso de esta máquina sin el equipo de protección adecuado podría dañar sus ojos, pulmones y oídos. Utilice siempre gafas de seguridad, un respirador y protección auditiva cuando utilice esta máquina.



El cabello y la ropa sueltos pueden quedar atrapados en la maquinaria y causar lesiones personales graves. Mantenga la ropa suelta y el cabello largo lejos de la maquinaria en movimiento.



Nota

Si nunca antes ha usado este tipo de máquina o equipo, **LE RECOMENDAMOS ENCARDECIDAMENTE** que lea libros, revistas especializadas o reciba capacitación formal antes de comenzar cualquier proyecto. Independientemente del contenido de esta sección.

Realice el experimento siguiendo los siguientes pasos:

Configuración 1:

- Purgar la bomba.
- En el punto uno de la Figura 5, instalar el cople Tee de una pulgada a ½ pulgada.
- Instalar el tubo de acrílico de ½ pulgada.
- Añadir tubo de una pulgada.
- Colocar el cople uno a uno de pulgada a pulgada.
- Añadir tubo de una pulgada.
- En el punto dos de la Figura 5, instalar el cople Tee de una pulgada a ½ pulgada.
- Instalar el tubo de acrílico de ½ pulgada.
- Añadir tubo de una pulgada.
- Al final del tubo instalar un codo de una pulgada.
- Encender la bomba.
- Medir la columna de agua en los tubos de acrílico.
- Medir el caudal. El caudal se mide tomando el tiempo (con un cronometro) y el volumen de agua que se deposita en el contenedor.

Nota: El objetivo de esta configuración es determinar la diferencia de alturas como patrón.

Configuración 2:

- Purgar la bomba.
- En el punto uno de la Figura 5, instalar el cople Tee de una pulgada a ½ pulgada.
- Instalar el tubo de acrílico de ½ pulgada.
- Añadir tubo de una pulgada.
- Colocar el cople de pulgada a ¾ de pulgada.
- Añadir tubo de ¾ de pulgada.

- En el punto dos de la Figura 5, instalar el cople Tee de $\frac{3}{4}$ de pulgada a $\frac{1}{2}$ pulgada.
- Instalar el tubo de acrílico de $\frac{1}{2}$ pulgada.
- Añadir tubo de $\frac{3}{4}$ de pulgada.
- Al final del tubo instalar un codo de $\frac{3}{4}$ de pulgada.
- Medir la columna de agua en los tubos de acrílico.
- Medir el caudal. El caudal se mide tomando el tiempo (con un cronometro) y el volumen de agua que se deposita en el contenedor.

Al final de la práctica desarmar las configuraciones con mucho cuidado y desarmar la carcasa para secar al impulsor y así evitar que se dañe.



Figura 22. Carcasa de la bomba. Fuente: Elaboración propia.

El compresor se desactiva automáticamente al alcanzar 800 kPa (115 psi) y se reactiva cuando la presión de aire baja a aproximadamente 600 kPa (80 psi).

Nota. Para un mejor funcionamiento de su compresor se recomienda hacer un cambio de aceite cada 500 horas de uso, para que su producto tenga una mayor durabilidad el aceite recomendando es automotriz SAE 30 y SAE 40.

Indicaciones de seguridad (precauciones)

1. Para reducir riesgos de incendio, ¡Nunca utilice el compresor para rociar líquidos inflamables! Es normal que el interruptor (switch) del compresor emita una pequeña chispa y con ello ponga en peligro su vida.
2. Siempre opere el compresor en un área bien ventilada, evite fumar mientras utiliza el

compresor y mantenga el equipo fuera de toda fuente de calor intensa o flama directa.

3. Nunca inhale el aire generado por el compresor, el aire procesado por este equipo no es recomendable para ser inhalado.
4. Nunca soldé el tanque del motor, esto anula toda garantía. Tampoco destape y ajuste manualmente el interruptor (switch) de encendido. Es peligroso y anula la garantía.
5. No use el compresor sobre una superficie húmeda, mojada o cuando este lloviendo, ya que puede ser un factor para generar una descarga eléctrica.
6. Siempre mantenga apagado el interruptor (switch) del compresor antes de conectarlo a la corriente.
7. Al operar el equipo siempre utilice lentes de seguridad.
8. Durante la operación, los tubos de cobre y la cabeza del motor se encuentran extremadamente calientes, NO toques esas partes hasta que el motor se haya detenido y enfriado por completo.
9. Después de usar el compresor, nunca lo deje conectado a la corriente o cualquier aire en su interior. Desconecte de la corriente y abra las llaves de salida del tanque.

Procedimiento para llevar a cabo la determinación de la velocidad de salida del aire comprimido. Lee cuidadosamente los siguientes pasos, si tienes alguna duda pregunta a tu docente o encargado de laboratorio correspondiente:

1. Leer el manual teórico de la práctica proporcionado por el docente o encargado de laboratorio para entender los principios fundamentales del sistema mecánico (tren de engranes).
2. Elegir una presión en el manómetro integrado en el compresor.
3. Jalar el botón rojo hacia arriba para encender el compresor.
4. Al encender el compresor, simultáneamente echar a andar el cronometro.
5. Detener el cronometro al alcanzar la presión previamente seleccionada.

- 6. Abrir la válvula de salida de aire y anotar la velocidad del aire que registre el anemómetro multifunción.
- 7. Repetir los pasos 2-6.
- 8. Comprobar la potencia del motor con la obtenida a partir de la Ec. (34).

Resultados

Nota: Asegurarse de utilizar las unidades del sistema internacional (SI).

Tabla 4. Datos de la velocidad de salida (v_2) y la potencia del motor (ver Ec. (34)). Fuente: Elaboración propia.

Presión seleccionada en el manómetro integrado al compresor (psi)	Velocidad de salida (v_2) obtenida con el anemómetro multifuncional (m/s)	Tiempo en alcanzar la presión seleccionada en el manómetro integrado al compresor (s)	Potencia determinada con la Ec. (34) (W)
1.	1.	1.	1.
2.	2.	2.	2.
3.	3.	3.	3.
4.	4.	4.	4.
5.	5.	5.	5.

Conclusión

En conclusión, se determinó la caída de presión en una red hidráulica desde el punto 1 hasta el punto 3, considerando las perdidas por rugosidad de tuberías, perdidas por codos y por válvulas, para determinar la potencia de la bomba hidráulica.

Además, se determinó el factor de fricción (F) de una red hidráulica, con la ayuda de la rugosidad absoluta, el diámetro interno de la tubería y el número de Reynolds, y así de esta manera se determinó la potencia de la bomba hidráulica.

Referencias

Barrero-Ripoll, A., Pérez-Saborid Sánchez-Pastor, M., (2005) Fundamentos y aplicaciones de la Mecánica de Fluidos, Ed. McGraw Hill

Cruz de San Pedro, J. C., (2020) Laboratorio de Fenómenos Colectivos: La viscosidad de los líquidos, Consultado el 17 de Noviembre del 2020 en: <http://www.lawebdefisica.com/files/practicas/fluidos/viscosidadliquido s.pdf>

Cengel, Y. A. Cimbala, J. M. (2006). Fluid Mechanics, *Mc-Graw Hill*,

Crespo, A., (2006). Mecánica de fluidos, Ed. Thomson.

FNMT (2024). Clasificación y tipos de bombas, consultado el 28 de octubre de 2024 en: [Clasificación y Tipos de Bombas \(fnmt.es\)](#)

La ley de Stokes. Consultado el 17 de Noviembre del 2020 en: <http://es.knowledger.de/0544872/LaLeyDeStokes> Publicación semestral, Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún, Vol. 9, No. 17 (2022) 77-84 84

Mecánica y mantenimiento, (2020). Calibrador Virtual-Nonio Vernier, recuperado de: Download Calibrador Virtual-Nonio Vernier – QBPROFE Academy

Material de laboratorio, (2020), Soporte de laboratorio de tres puntas con sujetador, recuperado de: Pinzas para Bureta - ¿Qué es, cómo funciona y para qué sirve? (materialeslaboratorio.com

Munich, (2024). Ficha técnica de bomba de agua ½ hp, consultado el 28 de octubre de 2024 en: [BA-1208HD.pdf \(highpower.com.mx\)](#)

Número de Reynolds. Consultado el 17 de Noviembre del 2020 en: <http://www.valvias.com/numero-de-reynolds.php>

Ortiz-Domínguez, M., & Cruz-Avilés, A. (2022). Viscosidad de un fluido. Ingenio Y Conciencia Boletín Científico De La Escuela Superior Ciudad Sahagún, 9(17), 77-84. <https://doi.org/10.29057/escs.v9i17.7893>

TecnoEdu, (2020). Enseñanza de física, recuperado de: Laboratorios Completos de Física p/Nivel Superior - TecnoEdu

The motorsport center, (2020). Cronometro digital Big Digital, recuperado de: llystore.net/es/cronometros/1887-cronometro-digitalbig-digit-4891727089500.html

White, F., (2008). Mecánica de fluidos, Ed. McGraw Hill.