

ANEXO D VALIDACIONES DEL MODELO DE LAS GUÍAS DE LABORATORIO SELECCIONADAS.

- **Número de Reynolds**

La práctica se realizó haciendo uso del equipo HM150.18, de fabricante GUNT HAMBURG, basándose en la metodología expuesta en la guía de laboratorio expuesta en el anexo C (Guía de laboratorio número de Reynolds).

Posterior a cerciorarse que las válvulas del equipo (HM150.18) junto con el banco de pruebas (suministro de agua) estuvieran cerradas, se llenó el depósito de tinta con azul de metileno. Seguido a esta inspección se encendió el banco de pruebas y se abrió la válvula del paso del agua al equipo hasta que este se llenó al nivel del tubo de desagüe.

Para la toma de datos del caudal se tomó una probeta de capacidad de 300ml para calcular el tiempo de llenado de este como se ve en la siguiente tabla:

Número Caudal	Capacidad (ml)	Tiempo	Unidad
1	300	51,88	s
1	300	55,89	s
2	300	25,09	s
2	300	24,64	s
3	300	3,27	s
3	300	2,67	s

Tabla [23]. Datos recolectados de tiempo.

Con estos tiempos obtenidos, se procedió a sacar el tiempo promedio para cada caudal, como se muestra en la tabla de tiempos promedio.

Tprom	T1	T2	T3
	53,885	24,865	2,975

Tabla [24]. Tiempo promedio de los caudales.

Se abrió la válvula de control junto con la válvula del depósito de tinta que contiene el azul de metileno, esto se hizo de manera gradual, para evidenciar el tipo de flujo que correspondía al ajuste de las válvulas que fueron manipuladas.

DATOS DE ENTRADA

Volumen	0,0001	
Diámetro	0,01	
Densidad Fluido	999,03	
Viscosidad. Agua	1,1111	16°C
Área	3,14159265	7,854E-05
Viscosidad. Dinámica	0,001109	

Tabla [25]. Datos de entrada.

Haciendo uso de los datos de entrada, se utilizaron las ecuaciones expuestas en la guía de laboratorio.

Para el cálculo de los caudales se hizo uso de la ecuación:

$$Q = \frac{V}{T}$$

Obteniendo los siguientes resultados:

CAUDALES		
Q1	1,8558E-06	m^3/s
Q2	4,0217E-06	m^3/s
Q3	3,3613E-05	m^3/s

Tabla [26]. Valor de cada caudal obtenido.

Conociendo el valor de los caudales procedimos a calcular la velocidad haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$v = \frac{Q}{A}$$

Obteniendo los siguientes resultados:

VELOCIDADES		
V1	2,36E-02	m/s
V2	5,12E-02	m/s
V3	4,28E-01	m/s

Tabla [27]. Valor de cada velocidad obtenida.

Conociendo el valor de los caudales y la velocidad, se procedió a calcular el número de Reynolds con la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{\rho * v * D}{\mu}$$

NÚMERO DE REYNOLDS		
Q1	212,857627	Laminar
Q2	461,284263	Laminar
Q3	3855,40612	Turbulento

Tabla [28]. Número de Reynolds obtenido.

Los valores de numero de Reynolds para el banco en que se trabajó dieron como resultado para el caudal 1 y para el caudal 2 un flujo laminar, estando por debajo de 2100. Y el caudal 3 logra estar muy cerca del régimen turbulento, pero sigue estando en periodo de transición.

Equipo H215

El equipo no se encuentra en condiciones para realizar prácticas de laboratorio.

- **Pérdidas por Accesorios**

La práctica se realizó haciendo uso del equipo H34, de fabricante TecQuipment, basándose en la metodología expuesta en la guía de laboratorio expuesta en el anexo C (Guía de laboratorio pérdidas por accesorios).

En el funcionamiento del banco de prueba el objetivo principal era medir el caudal y las presiones, ya que este banco de prueba en el que se realizó la práctica no tiene de una manera explícita las medidas. Por lo tanto, se utilizó un cronometro para medir los tiempos en los que se llenaba la sección donde se realizó la medición de volumen y así obtener el caudal.

Presión	Caudal 1	Caudal 2	Caudal 3	Caudal 4	Unidad
1	370	404	450	455	<i>m. c. a</i>
2	290	330	420	450	<i>m. c. a</i>
3	250	295	405	449	<i>m. c. a</i>
4	180	240	380	445	<i>m. c. a</i>
5	170	230	375	443	<i>m. c. a</i>
6	150	210	360	440	<i>m. c. a</i>
7	150	210	360	440	<i>m. c. a</i>
8	70	145	340	435	<i>m. c. a</i>
9	60	135	335	435	<i>m. c. a</i>
10	30	110	320	430	<i>m. c. a</i>

Tabla [29]. Datos registrados para cada caudal.

Una vez que se obtenga el caudal constante se procedió a abrir la válvula que controla el caudal y las presiones, esto para observar el comportamiento antes y después de cada accesorio del sistema hidráulico del equipo en uso cuando el caudal se varia, este procedimiento se realizó con 4 caudales distintos para este banco de prueba, para la toma de datos del caudal se tomó una probeta de capacidad de 300ml para calcular el tiempo de llenado de la misma, como se evidencian en las tablas a continuación.

Tiempo Caudal 1		Unidad
T1	26,11	s
T2	25,9	s
Tprom	26,005	s

Tabla [30]. Tabla de tiempos primer caudal.

Tiempo Caudal 2		Unidad
T1	29,05	s
T2	28,48	s
Tprom	28,765	s

Tabla [31]. Tabla de tiempos segundo caudal.

Tiempo Caudal 3		Unidad
T1	63	s
T2	60,6	s
Tprom	61,8	s

Tabla [32]. Tabla de tiempos tercer caudal.

Tiempo Caudal 4		Unidad
T1	82,8	s
T2	76,8	s
Tprom	79,8	s

Tabla [33]. Tabla de tiempos cuarto caudal.

Haciendo uso de los datos de e los tiempos promedio en los que se llenó la probeta de 300ml, se utilizó la siguiente ecuación expuesta en la guía de laboratorio.

Para el cálculo de los caudales se hizo uso de la ecuación:

$$Q = \frac{V}{T}$$

Obteniendo los siguientes resultados:

Caudales		Unidad
Q1	0,000192271	m^3/s
Q2	0,000173822	m^3/s
Q3	8,09061E-05	m^3/s
Q4	6,26566E-05	m^3/s

Tabla [34]. Caudales obtenidos.

Las A (áreas) de los accesorios se calcularon teniendo en cuenta el croquis que tiene el equipo del sistema hidráulico del equipo.

$$\text{Área} = \frac{\pi}{4} * D^2$$

Accesorio	Diámetro A	Unidad	Área A	Unidad	Diámetro b	unidad	Área b	Unidad
Codo curva inglete	0,022	m	0,00038	m^2	-	m	-	m^2
Codo estándar	0,022	m	0,00038	m^2	-	m	-	m^2
Reducción	0,0284	m	0,000633	m^2	0,022	m	0,0004	m^2
Expansión	0,022	m	0,00038	m^2	0,0284	m	0,0006	m^2
Codo doblado R. Largo	0,022	m	0,00038	m^2	-	m	-	m^2

Tabla [35]. Areas de cada accesorio.

Teniendo el valor para cada caudal y el área de cada accesorio, se calculó la velocidad para cada uno de los accesorios, con la siguiente ecuación:

$$v = \frac{Q}{A}$$

Accesorio	v Caudal 1	v Caudal 2	v Caudal 3	v Caudal 4	Unidad
1	0,50579893	0,45726755	0,21283659	0,164828334	m/s

2	0,50579893	0,45726755	0,21283659	0,164828334	m/s
2b	0,30351949	0,27439681	0,12771884	0,09891008	m/s
3	0,30351949	0,27439681	0,12771884	0,09891008	m/s
3b	0,50579893	0,45726755	0,21283659	0,164828334	m/s
4	0,50579893	0,45726755	0,21283659	0,164828334	m/s
5	0,50579893	0,45726755	0,21283659	0,164828334	m/s

Tabla [36] Tabla de velocidad para cada accesorio.

Teniendo el valor de cada caudal junto con su velocidad se realizó la comparativa de constantes de resistencia para los accesorios, esto mediante el principio de Bernoulli, haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_a - h_r - h_l = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Se despejó h_l para calcular la pérdida por cada accesorio con los caudales que se calcularon previamente obteniendo los siguientes resultados.

$$h_l = \frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma}$$

Presiones	Caudal 1	Caudal 2	Caudal 3	Caudal 4
1a2	0,08	0,074	0,03	0,005
3a4	0,07	0,055	0,025	0,004
5a6	0,02	0,02	0,015	0,003
7a8	0,08	0,065	0,02	0,005
9a10	0,03	0,025	0,015	0,005

Tabla [37]. Pérdidas en los accesorios para cada caudal.

Seguido a esto se halló la constante de resistencia (K) para los accesorios en cada caudal previamente calculado, haciendo uso de la siguiente ecuación.

$$h_l = K * \frac{v^2}{2g}$$

Se despejo K

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

Arrojando los siguientes resultados expuestos en la tabla a continuación:

Accesorio	Caudal 1	Caudal 2	Caudal 3	Caudal 4
Codo Curva Inglete	0,01593805	0,01803815	0,03375434	0,009380096
Codo Estándar	0,01394579	0,01340673	0,02812862	0,007504076
Reducción	0,01106516	0,01353857	0,04686864	0,015629358
Expansión	0,01593805	0,01584432	0,0225029	0,009380096
Codo Doblado de r. largo	0,00597677	0,00609397	0,01687717	0,009380096

Tabla [38]. Constante de resistencia para cada accesorio.

los tramos de 1 a 2 y de 7 a 8 son críticos para el sistema debido a las pérdidas significativas que se producen en ellos, las cuales están influenciadas por el tipo de accesorio utilizado. Además, se destaca que la resistencia de estos accesorios se incrementa conforme aumenta el caudal, lo que sugiere que una gestión adecuada del caudal y la selección de accesorios podría mejorar la eficiencia del sistema.

Equipo H16

El equipo no se encuentra en condiciones para realizar prácticas de laboratorio.

- **Turbina Francis**

La práctica se realizó haciendo uso del equipo HM150.20, de fabricante Gunt Hamburg, basándose en la metodología expuesta en la guía de laboratorio expuesta en el anexo C (Guía de laboratorio turbina Francis). El objetivo de esta práctica es comprender el funcionamiento de una turbina Francis, evaluar su rendimiento y eficiencia bajo distintas condiciones de operación.

Cuando el equipo estaba conectado al banco de pruebas, se cercioró que todas las válvulas estuvieran cerradas antes de encender el banco (turbina Francis),

también se aseguró que las lecturas de la fuerza que es aplicada al freno y el medidor del caudal estuviesen en ceros.

Una vez encendido el banco de pruebas, se abrió la válvula de admisión de este, prendiendo el motor de la turbina, se calibro el caudal y el flujo inicial manipulando la válvula del banco. Aplicando carga al eje de salida cerrando el freno de cinta se tomaron las lecturas del caudal la velocidad y la fuerza en el dinamómetro como se muestra en la siguiente tabla:

Este proceso se realizado aplicando más carga permitiendo que la lectura del dinamómetro subiera dos puntos, tomando las lecturas, y repitiendo el proceso hasta que el freno de cinta se detuviera con el eje.

100%				
Fuerza (N)	Q (m^3/s)	N (rpm)	Q(CFM)	Ht
1	7,56E-05	3060	0,16	15,0002263
2	7,08E-05	2047	0,15	15,0001989
3	6,61E-05	2434	0,14	15,0001733
4	8,02E-05	2328	0,17	15,0002555
5	8,50E-05	1596	0,18	15,0002565
6	5,66E-05	1495	0,12	15,0001273

Tabla [39]. Datos registrados turbina Francis 100% de admisión.

Para la recolección de datos se realiza el mismo procedimiento descrito anteriormente, cambia la apertura del flujo a 50%

50%				
Fuerza (N)	Q(m^3/s)	N(rpm)	Q(CFM)	Ht
1	6,13E-05	2912	0,13	15,0001494
2	6,37E-05	2655	0,135	15,0001612
3	6,61E-05	2450	0,14	15,0017325
4	6,13E-05	2520	0,13	15,0001494
5	6,61E-05	2485	0,14	15,0001733
6	7,08E-05	2225	0,15	15,0001989

Tabla [40]. Datos registrados turbina Francis 50% de admisión.

Análisis

Para el caso de la turbina Francis el caudal aumenta al aumentar la fuerza y los rpm disminuyen, el torque de la turbina aumenta según la potencia mecánica este tipo de turbinas es buena para un gran caudal y de baja carga.

Con los datos registrados para una admisión de 100% y % en la turbina Francis se grafica el caudal frente a las revoluciones por minuto mostrando la relación que hay entre la velocidad de la turbina y el flujo del fluido que lo atraviesa.

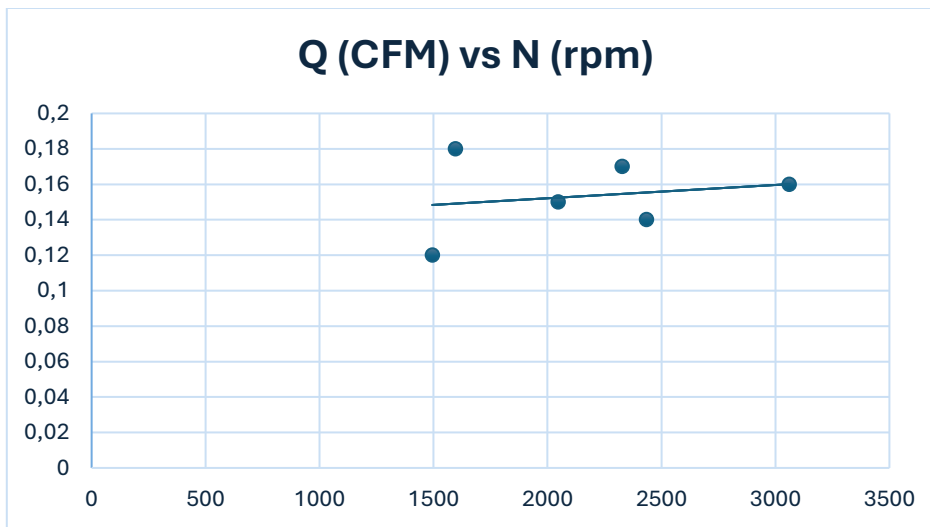


Figura [11]. Caudal vs rpm 100% de admisión turbina Francis.

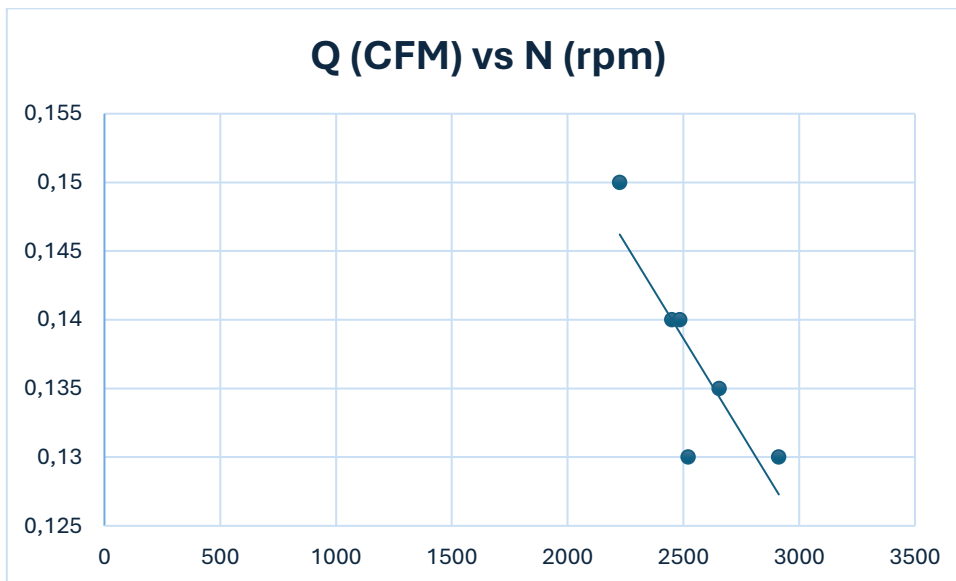


Figura [12]. Caudal vs rpm 50% de admisión turbina Francis.

Este gráfico es fundamental para visualizar el rendimiento y el comportamiento que tiene la turbina bajo las condiciones de operación que se realizaron durante la práctica de laboratorio.

- **Turbina Pelton**

La práctica se realizó haciendo uso del equipo H19, de fabricante TecQuipment, basándose en la metodología expuesta en la guía de laboratorio expuesta en el anexo C (Guía de laboratorio turbina Pelton). El objetivo de esta práctica es comprender el funcionamiento de una turbina Pelton, evaluar su rendimiento y eficiencia bajo distintas condiciones de operación.

Cuando el equipo estaba conectado al banco de pruebas, se cercioró que todas las válvulas estuvieran cerradas antes de encender el banco (turbina Francis), se calibraron las unidades y medidas iniciales del ajuste de carga.

Encendido el banco de pruebas, se abrió la válvula de admisión de este, se prendió el motor y se regularon la velocidad junto con el caudal inicial esto regulando ambas variables. Se aplicó carga al eje de salida cerrando el freno de cinta, tomando lecturas de caudal, fuerza y la velocidad en el dinamómetro, este proceso se repitió aplicando mas carga permitiendo que la lectura del dinamómetro subiera dos puntos.

La recolección de datos se realizo hasta detener totalmente el eje con el freno de cinta como se muestra en la siguiente tabla:

100%				
Fuerza (N)	Q(m ³ /s)	N(rpm)	Q(CFM)	Ht
1	3,02E-03	1995	6,4	15,3620601
3	3,12E-03	1911	6,6	15,3850424
5	3,16E-03	1763	6,7	15,3967988
7	3,20E-03	1613	6,8	15,4087319
9	3,20E-03	1434	6,8	15,4087332
11	3,00E-03	1380	6,4	15,3620601
13	3,00E-03	1235	6,6	15,3850424

Tabla [41]. Datos registrados 100% de entrada turbina Pelton.

Para la recolección de datos se realiza el mismo procedimiento descrito anteriormente, cambia la entrada a un 25%

25%				
Fuerza (N)	$Q(m^3/s)$	N	Q(CFM)	Ht
1	2,70E-03	2126	5,8	15,297356
3	2,70E-03	2027	5,8	15,297356
5	2,70E-03	1894	5,9	15,307698
7	2,70E-03	1745	5,9	15,307698
9	2,70E-03	1630	5,8	15,297356
11	2,60E-03	1430	5,7	15,2871907
13	2,60E-03	1340	5,7	15,2871907

Tabla [42]. Datos registrados 25% de entrada turbina Pelton.

Análisis

El caudal no vario mucho al aplicar las fuerzas, los rpm van disminuyendo y la altura de salida no varía, esto es al contrario de manipular una turbina Francis, es una turbina de impulso que funciona con el chorro que golpea las pelas y genera el movimiento en el eje.

Con los datos registrados para entrada de 100% y 25% en la turbina Pelton se grafica el caudal frente a las revoluciones por minuto mostrando la relación que hay entre la velocidad de la turbina y el flujo del fluido que lo atraviesa.

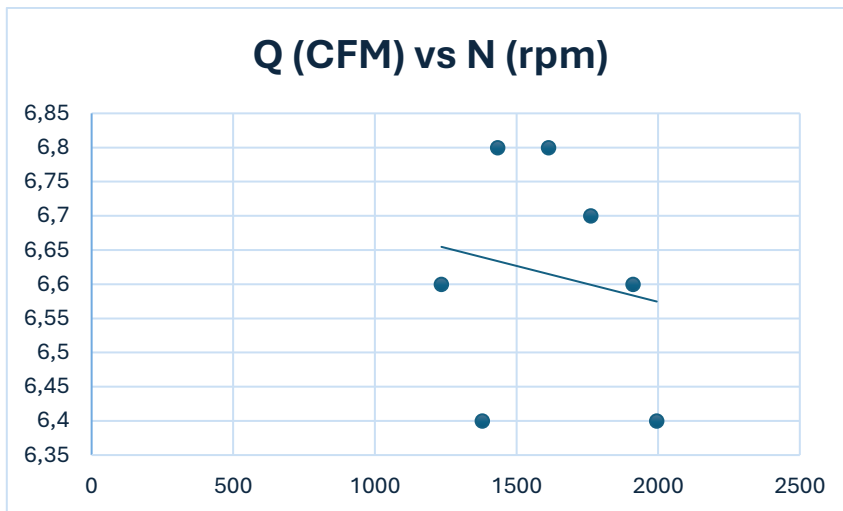


Figura [13]. Caudal vs rpm 100% de entrada turbina Pelton.

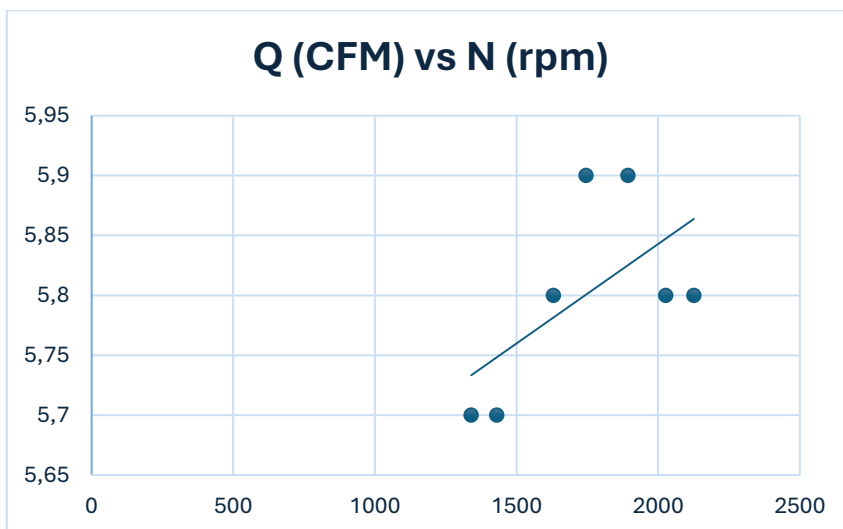


Figura [14]. Caudal vs rpm 25% de entrada turbina Pelton.

Este gráfico es fundamental para visualizar el rendimiento y el comportamiento que tiene la turbina bajo las condiciones de operación que se realizaron durante la práctica de laboratorio.

- **Caldera automática de vapor vertical.**

La práctica de laboratorio de este equipo se llevó a cabo en presencia del decano de la Facultad de Ingeniería Mecánica, Jorge René Silva Larrotta, y coincidió con una visita de estudiantes de la Universidad Manuela Beltrán. El desarrollo de la práctica comenzó con una explicación de los componentes del equipo. Posteriormente, se encendió la caldera y se configuró en modo automático para

observar el proceso que realiza. Además, el ingeniero aplicó la teoría expuesta en la guía diseñada para la caldera. Ver las siguientes imágenes del desarrollo de la práctica.



Figura [15]. Realización práctica en laboratorio de ciencias térmicas.

- Bombas en paralelo y en serie

La práctica se realizó haciendo uso del equipo HM150.16, del fabricante Gunt Hamburg, basándose en la metodología expuesta en la guía de laboratorio expuesta en el anexo C (Guía de laboratorio bombas en paralelo y en serie El objetivo de esta práctica es estudiar el comportamiento de las bombas en un circuito en paralelo y en serie, cabe recalcar que las presiones tomadas de los manómetros se pasaron a kPa.

Datos de entrada

Presión atmosférica de Bogotá 560 mm Hg

Temperatura de Bogotá 15 grados centígrados

Accesorios:

Codos 90°

Codos 45°

Válvula de globo

Diámetro de los accesorios 0.00017m

Teniendo en cuenta los datos de entrada se calcularon las pérdidas menores del sistema hidráulico con las siguientes ecuaciones.

- Reynolds

$$\frac{V * D}{\mu}$$

- Coeficiente de fricción

$$\frac{0,25}{\log\left(\frac{1}{3,7 \frac{D}{E}} + \frac{5,74}{EE\rho^9}\right)} \rho^2$$

- Pérdida general

$$Hl = f * \left(\frac{L}{D}\right) * \left(\frac{V^2 \rho^2}{2g}\right)$$

Sistema en serie con una sola bomba

Pérdidas menores

Reynolds	18650,5183
Fricción	0,02631591
L succión	0,275

- Primera toma de datos

Se tomaron los datos para el cálculo del caudal

Volumen	Tiempo (s)	Presión (Bar)	Caudal (m^3/s)
5L	14,03	-0,2	0,00035638
5L	13,41	0,1	0,00037286
Promedios	13,72	-	0,00036462

Por medio de una hoja de cálculo se calcularon las pérdidas de todo el sistema.

- Pérdidas por succión

he	0,04056492
hv	0,66201953
hf1	0,03453686
hc1 (dos codos de 90)	0,05841349

- Perdidas por descarga

hc1 (cuatro codos de 90)	0,23365395
Hc2 (codo de 45)	0,03115386

Hf2	0,12508623
Hv (dos válvulas de globo)	1,32403907

- Pérdidas totales: 2,50946792.

Se calculo la cabeza de la bomba

$$Hb = \left(\frac{10 - (-20)}{9810kN} \right) + 2,50946792 = 2,5125m$$

$$H = 9810 * 2,5125 * 0,00036462 = 8,98W$$

$$H = 0,008987kW$$

Eficiencia

$$\eta = \frac{0,008987kW}{0,37kW} = 2.42\%$$

- Segunda toma de datos

Se tomaron los datos para el cálculo del caudal

Volumen	Tiempo (s)	Presión (Bar)	Caudal (m^3/s)
5L	14,81	-0,19	0,00033761
5L	15,41	0,2	0,00032446
Promedios	5,11	-	0,00033104

Por medio de una hoja de cálculo se calcularon las pérdidas de todo el sistema.

- Pérdidas por succión

he	0,03402414
hv	0,55527392
hf1	0,02962125

hc1 (dos codos de 90)	0,04899476
-----------------------	------------

- Perdidas por descarga

hc1 (cuatro codos de 90)	0,23365395
Hc2 (codo de 45)	0,03115386
Hf2	0,12508623
Hv (dos válvulas de globo)	1,32403907

- Pérdidas totales: 2,10785425

- .

Se calculó la cabeza de la bomba

$$Hb = \left(\frac{20 - (-19)}{9810kN} \right) + 2,10785425 = 2,118m$$

$$H = 9810 * 2,118 * 0,00033104 = 6,581W$$

$$H = 0,006581kW$$

Eficiencia

$$\eta = \frac{0,006581kW}{0,37kW} = 1.77\%$$

- Tercera toma de datos

Se tomaron los datos para el cálculo del caudal

Volumen	Tiempo (s)	Presión (Bar)	Caudal (m^3/s)
5L	17,09	-0,17	0,00029257
5L	18,34	0,3	0,00027263
Promedios	17,71	-	0,0002826

Por medio de una hoja de cálculo se calcularon las pérdidas de todo el sistema.

- Pérdidas por succión

he	0,02436772
hv	0,39768115
hf1	0,02214775
hc1 (dos codos de 90)	0,03508951

- Perdidas por descarga

hc1 (cuatro codos de 90)	0,14035805
Hc2 (codo de 45)	0,01871441
Hf2	0,08021511
Hv (dos válvulas de globo)	0,7953623

- Pérdidas totales: 1,51393599.

Se calculó la cabeza de la bomba

$$Hb = \left(\frac{30 - (-17)}{9810kN} \right) + 1,51393599 = 1,5187m$$

$$H = 9810 * 1,5187 * 0,0002826 = 4,210W$$

$$H = 0,004210kW$$

Eficiencia

$$\eta = \frac{0,004210kW}{0,37kW} = 1.13\%$$

- cuarta toma de datos

Se tomaron los datos para el cálculo del caudal

Volumen	Tiempo (s)	Presión (Bar)	Caudal (m^3/s)
5L	25,93	-0,16	0,00019283

5L	25,2	0,4	0,00019841
Promedios	25.565	-	0,00019562

Por medio de una hoja de cálculo se calcularon las pérdidas de todo el sistema.

- Pérdidas por succión

he	0,01167618
hv	0,19055527
hf1	0,01170984
hc1 (dos codos de 90)	0,0168137

- Perdidas por descarga

hc1 (cuatro codos de 90)	0,0672548
Hc2 (codo de 45)	0,00896731
Hf2	0,0424109
Hv (dos válvulas de globo)	0,38111053

- Pérdidas totales: 0,73049852.

Se calculó la cabeza de la bomba

$$Hb = \left(\frac{40 - (-16)}{9810kN} \right) + 0,730498 == 0,7362m$$

$$H = 9810 * 0,7362 * 0,00019562 = 1,4127W$$

$$H = 0,001427kW$$

Eficiencia

$$\eta = \frac{0,001427kW}{0,37kW} = 0.38\%$$

- Análisis

Las eficiencias se ven afectadas por el caudal que estamos utilizando. Sin embargo, de las cuatro tomas de datos, solo la toma 1 presenta una eficiencia superior al 2%. Esto es notable, considerando que corresponde a las presiones más bajas entre los cuatro caudales analizados.

- Sistema bombas en paralelo

Siguiendo el procedimiento de la anterior configuración se calcularon pérdidas menores del sistema de las bombas en paralelo.

Reynolds	19501,9753
Fricción	0,0275134
L succión	0,275

- Toma de datos

Se tomaron los datos para el cálculo del caudal

Volumen	Tiempo (s)	Presión (Bar)	Caudal (m^3/s)
5L	13,5	-2	0,00031506
5L	12,75	0,05	0,00029744
Promedios	13,125	-	0,00030625

Por medio de una hoja de cálculo se calcularon las pérdidas de todo el sistema.

- Pérdidas por succión

he	0,0286174
hv	0,46703594
hf1	0,02547347
hc1 (dos codos de 90)	0,04120905

- Pérdidas por descarga

hc1 (cuatro codos de 90)	0,32967243
Hc2 (codo de 45)	0,03406334
Hf2	0,17942587
Hv (dos válvulas de globo)	0,93407188

- Pérdidas totales 2,00550604.

Se calculó la cabeza de la bomba 1

$$Hb = \left(\frac{25 - (-19)}{9810kN} \right) + 2,47188097 = 2,4763m$$

$$H = 9810 * 2,4763 * 0,00038126 = 9,260W$$

$$H = 0,009260kW$$

Eficiencia de la bomba 1

$$\eta = \frac{0,009260kW}{0,37kW} = 2.5\%$$

Se calculó la cabeza de la bomba 2

$$Hb = \left(\frac{29 - (-38)}{9810kN} \right) + 2,47188097 = 2,47096 m$$

$$H = 9810 * 2,47096 * 0,00038126 = 9,241W$$

$$H = 0,009124kW$$

Eficiencia de la bomba 2

$$\eta = \frac{0,009124kW}{0,37kW} = 2.46\%$$

- análisis

En el sistema en paralelo, dos de los caudales calculados presentan una eficiencia constante y superior al 2%. Esto indica que, cuando las válvulas están completamente abiertas o a la mitad, las bombas no necesitan esforzarse tanto para funcionar, lo que permite un menor consumo de energía.

- Sistema de bombas en serie

Siguiendo el procedimiento de la anterior configuración se calcularon pérdidas menores del sistema de las bombas en serie.

Reynolds	15665,0092
Fricción	,02602219
L succión	0,275

- Toma de datos

Se tomaron los datos para el cálculo del caudal

Volumen	Tiempo (s)	Presión (Bar)	Caudal (m^3/s)
5L	15,87	-0,19	0,00037037
5L	16,81	0,25	0,00039216
Promedios	13,125	-	0,00038126

Por medio de una hoja de cálculo se calcularon las pérdidas de todo el sistema.

- Pérdidas por succión

he	0,04435331
hv	0,72384603
hf1	0,0373408
hc1 (dos codos de 90)	0,06386877

- Perdidas por descarga

hc1 (cuatro codos de 90)	0,25547507
Hc2 (codo de 45)	0,03406334
Hf2	0,13524159
Hv (dos válvulas de globo)	1,44769206

- Pérdidas totales: 2,74188097.

Se calculó la cabeza de la bomba 1

$$Hb = \left(\frac{5 - (-200)}{9810kN} \right) + 2,00550604 = 2,0264m$$

$$H = 9810 * 2,0264 * 0,00030625 = 6,087W$$

$$H = 0,006087kW$$

Eficiencia de la bomba 1

$$\eta = \frac{0,006087kW}{0,37kW} = 1.64\%$$

Se calculó la cabeza de la bomba 2

$$Hb = \left(\frac{25 - (-38)}{9810kN} \right) + 2,200550604 = 2,20637 m$$

$$H = 9810 * 2,20637 * 0,00030625 = 6,628W$$

$$H = 0,006628kW$$

Eficiencia de la bomba 2

$$\eta = \frac{0,006628kW}{0,37kW} = 1.79\%$$

- análisis

Este sistema es el más ineficiente de todo el laboratorio, ya que presenta numerosas pérdidas en los accesorios y utiliza dos bombas. Como resultado, las bombas deben esforzarse más de lo necesario, lo que genera un alto gasto energético, considerando que su eficiencia es apenas del 1%.