

ESCUELA DE  
INGENIERÍA MECÁNICA



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE  
VALPARAÍSO

# Informe Laboratorio de Máquinas: Curvas características de una bomba centrífuga.

Laura Constanza Salinas Pizarro  
Escuela de Ingeniería Mecánica  
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso  
laura.salinas.p@gmail.com

8 de diciembre de 2020

# Índice

<b>1. Objetivos.</b>	<b>3</b>
<b>2. Trabajo de laboratorio.</b>	<b>3</b>
<b>3. Informe.</b>	<b>4</b>
3.1. Tabla de valores medidos. . . . .	4
3.2. Fórmulas. . . . .	5
3.3. Tabla de valores calculados. . . . .	7
3.4. Gráficos. . . . .	8
<b>4. Anexos.</b>	<b>13</b>
4.1. Características de la bomba. . . . .	13

## 1. Objetivos.

Analizar el comportamiento de una bomba centrífuga mediante sus curvas características.

## 2. Trabajo de laboratorio.

Revisar y poner en marcha la instalación, con las válvulas de aspiración y descarga totalmente abiertas. Regular la velocidad a la indicada por el profesor.

Luego de inspeccionar los instrumentos y su operación y esperar un tiempo prudente para que se establezca su funcionamiento, tome las siguientes medidas:

- $n$  velocidad de ensayo, [rpm].
- $n_x$  velocidad de la bomba, en [rpm].
- $p_{ax} \%$  presión de aspiración, en [%].
- $p_{dx} \%$  presión de descarga, en [%].
- $\Delta h_x$  caudal de la bomba, presión diferencial en el venturímetro en [ $\text{mm}_{Hg}$ ].
- $F_x$  fuerza medidas en la balanza, en [kp].
- $t_a$  temperatura de agua en el estanque, en [ $^{\circ}\text{C}$ ].
- $P_{atm}$  presión atmosférica, en [ $\text{mm}_{Hg}$ ].

Manteniendo la velocidad constante, repetir las mediciones tantas veces como fuera necesario para recorrer la curva característica de la bomba y tener los valores apropiados para trazar las curvas que se indican. Para obtener las distintas condiciones de operación, se modifica la curva característica del sistema estrangulando la descarga de la bomba.

Se repite lo anterior para otras dos velocidades de ensayo.

Mida los valores siguientes:

$cp_{ax}$  altura piezométrica del manómetro de aspiración respecto del eje de la bomba, en [mm].

$cp_{dx}$  altura piezométrica del manómetro de descarga respecto del eje de la bomba, en [mm].

### 3. Informe.

#### 3.1. Tabla de valores medidos.

					VALORES MEDIDOS					
					3070	[rpm]				
	n	cpax	cpdx	nx	pax	pdx	$\Delta h_x$	Fx	T	P <sub>atm</sub>
	[rpm]	[m]	[m]	[rpm]	[%]	[%]	[mm <sub>Hg</sub> ]	[kp]	[°C]	[mm <sub>Hg</sub> ]
1	3070	115	165	3075	89,5	6,5	146	1,54	16	758,7
2	3070	115	165	3076	92	13,6	133	1,68	16	758,7
3	3070	115	165	3076	94,8	19,4	118	1,79	16	758,7
4	3070	115	165	3076	97	24,5	104	1,85	16	758,7
5	3070	115	165	3077	99,4	29,1	91	1,89	16	758,7
6	3070	115	165	3078	101,7	34,4	76	1,91	16	758,7
7	3070	115	165	3078	105,2	41,3	59	1,92	16	758,7
8	3070	115	165	3078	107,6	46,2	45	1,89	16	758,7
9	3070	115	165	3078	110	49,2	32	1,83	16	758,7
10	3070	115	165	3077	112,5	54,4	17	1,69	16	758,7
11	3070	115	165	3078	114,3	56,9	9	1,55	16	758,7
12	3070	115	165	3078	120,5	62,1	0	1,13	16	758,7
13										

					VALORES MEDIDOS					
					2900	[rpm]				
	n	cpax	cpdx	nx	pax	pdx	$\Delta h_x$	Fx	T	P <sub>atm</sub>
	[rpm]	[m]	[m]	[rpm]	[%]	[%]	[mm <sub>Hg</sub> ]	[kp]	[°C]	[mm <sub>Hg</sub> ]
1	2900	115	165	2903	91,5	6,2	134	1,37	16	758,7
2	2900	115	165	2903	93,9	12,7	121	1,47	16,5	758,7
3	2900	115	165	2903	96,3	16,4	109	1,55	16,5	758,7
4	2900	115	165	2903	98,7	21,4	95	1,62	17	758,7
5	2900	115	165	2903	100,5	26,1	82	1,65	17	758,7
6	2900	115	165	2902	103,4	30,5	70	1,68	17	758,7
7	2900	115	165	2904	105,6	35,5	56	1,69	17	758,7
8	2900	115	165	2902	108,1	40,2	43	1,68	17	758,7
9	2900	115	165	2903	110	44,3	30	1,6	17	758,7
10	2900	115	165	2903	112,3	48,1	17	1,49	17	758,7
11	2900	115	165	2904	114,6	51,2	8	1,37	17	758,7
12	2900	115	165	2904	119,5	56,1	0	0,94	17	758,7
13										

VALORES MEDIDOS										
	n	cpax	cpdx	nx	pax	pdx	$\Delta h_x$	Fx	T	P <sub>atm</sub>
	[rpm]	[mm]	[mm]	[rpm]	[%]	[%]	[mm <sub>Hg</sub> ]	[kp]	[°C]	[mm <sub>Hg</sub> ]
1	2700	115	165	2702	94,3	5,8	118	1,16	17	758,7
2	2700	115	165	2703	96,8	10,5	106	1,24	17	758,7
3	2700	115	165	2703	98,5	14,5	95	1,3	17	758,7
4	2700	115	165	2703	100	18,1	84	1,34	17	758,7
5	2700	115	165	2702	102,4	22,6	72	1,38	17	758,7
6	2700	115	165	2703	104,8	26,9	60	1,4	17	758,7
7	2700	115	165	2703	107,1	32,1	47	1,4	17	758,7
8	2700	115	165	2702	109,1	36,1	35	1,38	17	758,7
9	2700	115	165	2702	111,3	39,9	23	1,3	17	758,7
10	2700	115	165	2703	113,6	43,5	11	1,18	17	758,7
11	2700	115	165	2703	114,9	45,3	5	1,05	17	758,7
0	2700	115	165	2703	119,6	49,1	0	0,78	17	758,7

### 3.2. Fórmulas.

Caudal: De gráfico del venturímetro adjunto se determina el caudal para cada línea de mediciones: Qx

Caudal corregido:

$$Q = Qx \left( \frac{n}{nx} \right) [m^3/h] \quad (1)$$

Presión de aspiración:

$$pax = 0,1pax \% - 10 - \frac{cpax}{1000} [m_{ca}] \quad (2)$$

cpax = 115 [mm]

Presión de descarga:

$$pdx = 0,4pdx \% + \frac{cpdx}{1000} [m_{ca}] \quad (3)$$

cpdx = 165 [mm]

Altura:

$$Hx = -pax + pdx [m_{ca}] \quad (4)$$

Altura corregida:

$$H = Hx \left( \frac{n}{nx} \right)^2 [m_{ca}] \quad (5)$$

Potencia en el eje de la bomba:

$$Nex = 0,0007355 Fx nx [kW] \quad (6)$$

Potencia en el eje de la bomba corregida:

$$Ne = Nex\left(\frac{n}{nx}\right)^3 [kW] \quad (7)$$

Potencia hidráulica:

$$Nh = \gamma \frac{QH}{3600} [kW] \quad (8)$$

$\gamma$  peso específico del agua en [N/m<sup>3</sup>]

Rendimiento global:

$$\eta_{gl} = \frac{Nh}{Ne} 100 [\%] \quad (9)$$

Velocidad tangencial del rodete en la descarga:

$$U_2 = \frac{\pi}{60} n D_2 [m/s] \quad (10)$$

Velocidad meridional de descarga:

$$cm_2 = \frac{Q}{3600\pi D_2 B_2} [m/s] \quad (11)$$

$D_2$  diámetro exterior del rodete

$B_2$  ancho exterior del rodete

Phi:

$$\phi = \frac{cm_2}{U_2} [-] \quad (12)$$

Psi:

$$\psi = \frac{2gH}{U_2^2} [-] \quad (13)$$

### 3.3. Tabla de valores calculados.

VALORES CALCULADOS n = 3070 [rpm]														
	Qx	Q	pax	pdx	Hx	H	Nex	Ne	Nh	ngl	U2	cm2	φ	ψ
	[m3/h]	[m3/h]	[mca]	[mca]	[mca]	[mca]	[kW]	[kW]	[kW]	[-]	[m/s]	[m/s]	[-]	[-]
1	110,88	110,6997	-1,165	2,765	3,93	3,9172	3,4830	3,46600	1,1805	34,0581	21,7005	2,9837	0,1375	0,1632
2	105,84	105,6336	-0,915	5,605	6,52	6,4946	3,8008	3,77863	1,8676	49,4245	21,7005	2,8471	0,1312	0,2706
3	101,52	101,3220	-0,635	7,925	8,56	8,5266	4,0497	4,02604	2,3518	58,4153	21,7005	2,7309	0,1258	0,3553
4	93,96	93,7767	-0,415	9,965	10,38	10,3395	4,1854	4,16099	2,6395	63,4342	21,7005	2,5276	0,1165	0,4308
5	87,12	86,9218	-0,175	11,805	11,98	11,9256	4,2773	4,24820	2,8218	66,4242	21,7005	2,3428	0,1080	0,4969
6	80,28	80,0713	0,055	13,925	13,87	13,7980	4,3240	4,29036	3,0076	70,1008	21,7005	2,1582	0,0995	0,5749
7	72,36	72,1719	0,405	16,685	16,28	16,1955	4,3466	4,31282	3,1819	73,7775	21,7005	1,9453	0,0896	0,6748
8	62,28	62,1181	0,645	18,645	18	17,9066	4,2787	4,24544	3,0280	71,3233	21,7005	1,6743	0,0772	0,7461
9	50,76	50,6281	0,885	19,845	18,96	18,8616	4,1429	4,11066	2,5995	63,2384	21,7005	1,3646	0,0629	0,7858
10	38,88	38,7916	1,135	21,925	20,79	20,6955	3,8247	3,79865	2,1854	57,5317	21,7005	1,0456	0,0482	0,8623
11	28,44	28,4758	1,315	22,925	21,61	21,4978	3,5090	3,48171	1,6665	47,8632	21,7005	0,7675	0,0354	0,8957
12	0	0	1,935	25,005	23,07	22,9502	2,5582	2,53828	0,0000	0,0000	21,7005	0,0000	0,0000	0,9562

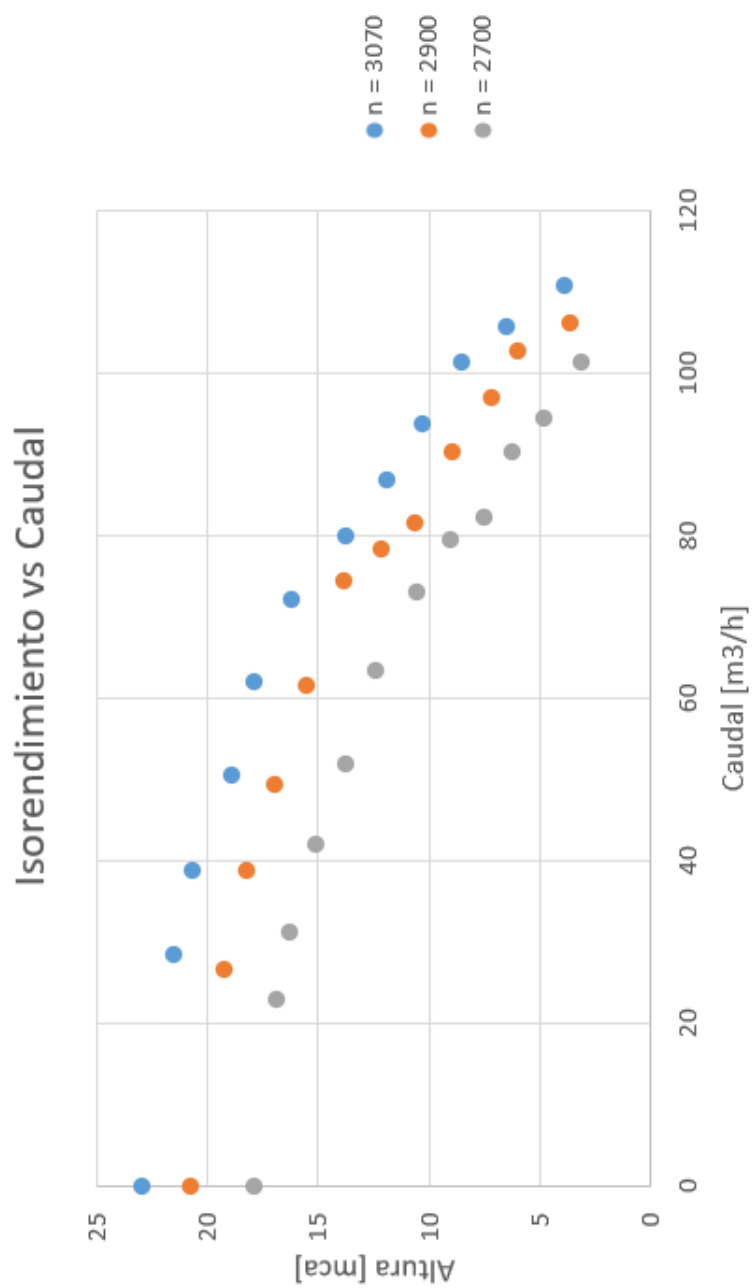
						VALORES CALCULADOS n = 2900 [rpm]								
	Qx	Q	pax	pdx	Hx	H	Nex	Ne	Nh	ngl	U2	cm2	φ	ψ
	[m3/h]	[m3/h]	[mca]	[mca]	[mca]	[mca]	[kW]	[kW]	[kW]	[-]	[m/s]	[m/s]	[-]	[-]
1	106,2	106,0903	-0,965	2,645	3,61	3,6025	2,9252	2,91611	1,0404	35,6784	20,4989	2,8595	0,1395	0,1682
2	102,96	102,8536	-0,725	5,245	5,97	5,9577	3,1387	3,12896	1,6681	53,3113	20,4989	2,7722	0,1352	0,2782
3	97,2	97,0996	-0,485	6,725	7,21	7,1951	3,3095	3,29924	1,9019	57,6453	20,4989	2,6171	0,1277	0,3360
4	90,36	90,2666	-0,245	8,725	8,97	8,9515	3,4590	3,44824	2,1996	63,7893	20,4989	2,4330	0,1187	0,4180
5	81,72	81,6355	-0,065	10,605	10,67	10,6480	3,5230	3,51210	2,3663	67,3756	20,4989	2,2003	0,1073	0,4972
6	78,48	78,4259	0,225	12,365	12,14	12,1233	3,5858	3,57842	2,5882	72,3289	20,4989	2,1138	0,1031	0,5661
7	74,52	74,4174	0,445	14,365	13,92	13,8817	3,6097	3,59476	2,8122	78,2293	20,4989	2,0058	0,0978	0,6482
8	61,56	61,5176	0,695	16,245	15,55	15,5286	3,5858	3,57842	2,6005	72,6713	20,4989	1,6581	0,0809	0,7251
9	49,32	49,2690	0,885	17,885	17	16,9649	3,4163	3,40567	2,2754	66,8107	20,4989	1,3280	0,0648	0,7921
10	38,88	38,8398	1,115	19,405	18,29	18,2522	3,1814	3,17153	1,9298	60,8482	20,4989	1,0469	0,0511	0,8522
11	26,64	26,6033	1,345	20,645	19,3	19,2469	2,9262	2,91410	1,3939	47,8316	20,4989	0,7170	0,0350	0,8987
12	0	0	1,835	22,605	20,77	20,7128	2,0077	1,99945	0	0	20,4989	0	0	0,9671

VALORES CALCULADOS n = 2700 [rpm]															
	Qx	Q	pax	pdx	Hx	H	Nex	Ne	Nh	ngl	U2	cm2	φ	ψ	
	[m3/h]	[m3/h]	[mca]	[mca]	[mca]	[mca]	[kW]	[kW]	[kW]	[-]	[m/s]	[m/s]	[-]	[-]	
1	101,52	101,4449	-0,685	2,485	3,17	3,1653	2,3053	2,30018	0,8741	38,0022	19,0852	2,7342	0,1433	0,1705	
2	94,68	94,5749	-0,435	4,365	4,8	4,7894	2,4652	2,45699	1,2330	50,1849	19,0852	2,5491	0,1336	0,2580	
3	90,36	90,2597	-0,265	5,965	6,23	6,2162	2,5845	2,57588	1,5274	59,2947	19,0852	2,4328	0,1275	0,3348	
4	82,44	82,3485	-0,115	7,405	7,52	7,5033	2,6640	2,65514	1,6820	63,3499	19,0852	2,2195	0,1163	0,4042	
5	79,56	79,5011	0,125	9,205	9,08	9,0666	2,7425	2,73642	1,9622	71,7063	19,0852	2,1428	0,1123	0,4884	
6	73,08	72,9989	0,365	10,925	10,56	10,5366	2,7833	2,77402	2,0938	75,4795	19,0852	1,9675	0,1031	0,5676	
7	63,36	63,2897	0,595	13,005	12,41	12,3825	2,7833	2,77402	2,1334	76,9049	19,0852	1,7058	0,0894	0,6670	
8	51,84	51,8016	0,795	14,605	13,81	13,7896	2,7425	2,73642	1,9445	71,0616	19,0852	1,3962	0,0732	0,7428	
9	42,12	42,0888	1,015	16,125	15,11	15,0876	2,5835	2,57778	1,7287	67,0602	19,0852	1,1344	0,0594	0,8127	
10	31,32	31,2852	1,245	17,565	16,32	16,2838	2,3459	2,33810	1,3868	59,3137	19,0852	0,8432	0,0442	0,8771	
11	23,04	23,0144	1,375	18,285	16,91	16,8725	2,0875	2,08052	1,0571	50,8079	19,0852	0,6203	0,0325	0,9088	
12	0	0	1,845	19,805	17,96	17,9202	1,5507	1,54553	0	0	19,0852	0	0	0,9653	

### 3.4. Gráficos.

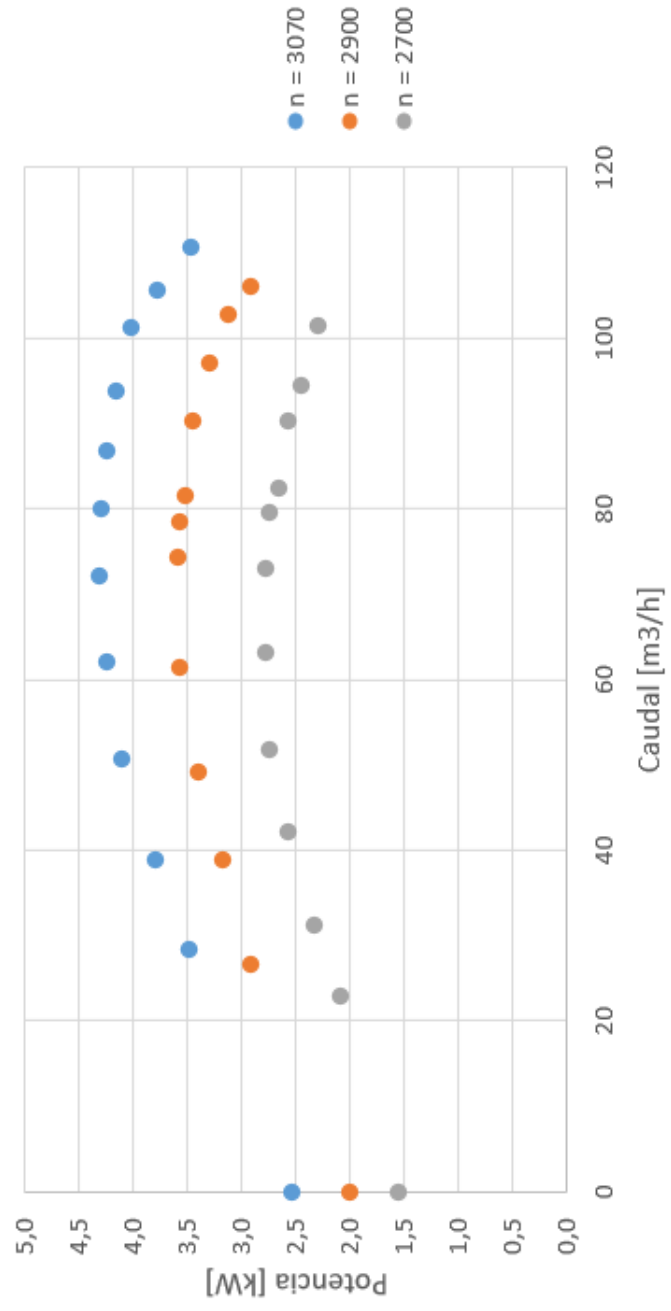
Trace el siguiente gráfico en una hoja completa:

3.4.1 De isorendimiento y potencia vs caudal.





Potencia vs Caudal



#### 3.4.1.1.¿Cuáles son las condiciones óptimas de operación de esta bomba?

Las condiciones óptimas de operación de esta bomba ocurren cuando el valor del rendimiento global se encuentra en su máximo valor.

Para mostrar un caso particular, las condiciones óptimas de operación en el ensayo n=3070 se dan cuando el valor del rendimiento global corresponde a un 73,78 % aproximadamente.

#### 3.4.1.2.¿Las curvas tiene la forma esperada?

Las curvas obtenidas si tienen la forma esperada, de esto se puede afirmar que el ensayo fue realizado de la manera correcta.

#### 3.4.1.3.¿Cuál es la potencia máxima consumida?

La potencia máxima consumida es la que se obtiene cuando se tiene el máximo valor en la potencia de eje.

En este caso en particular, para el valor de n=3070 la potencia máxima consumida es de 4,31 % aproximadamente.

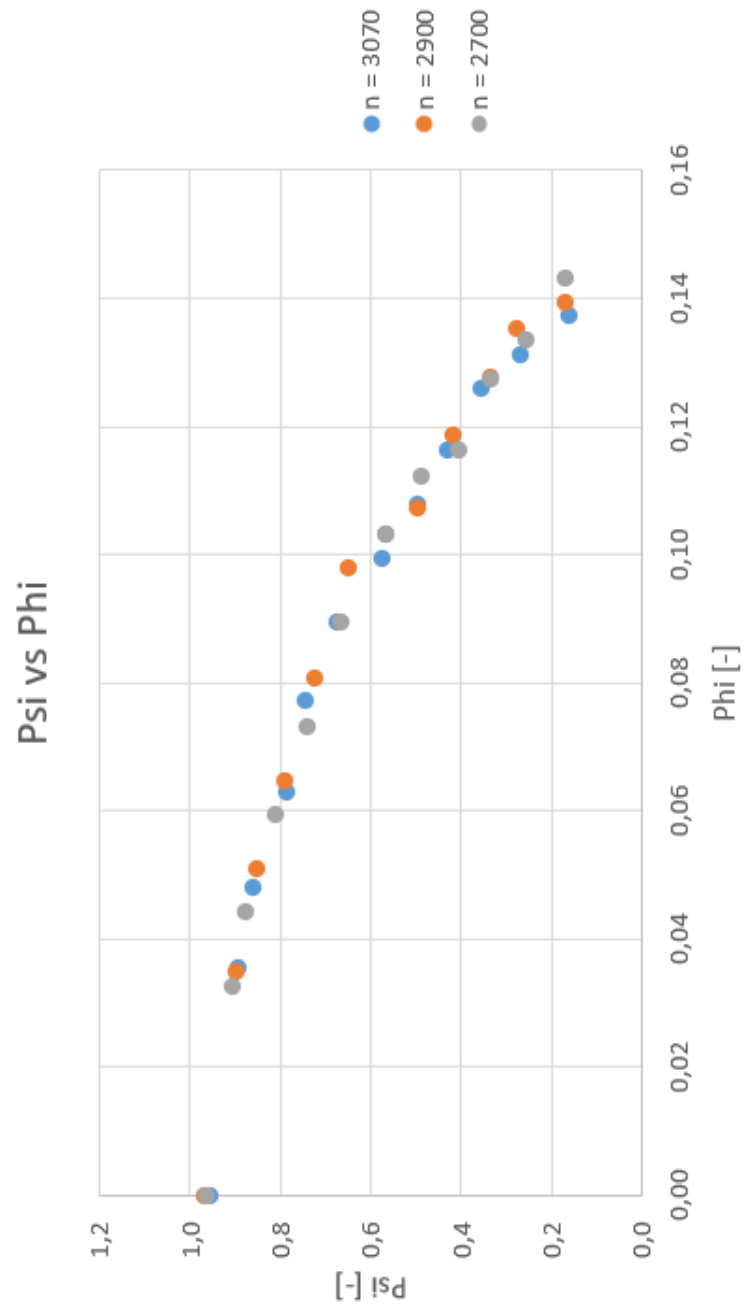
#### 3.4.1.4.¿Qué tipo de curvas son?

La primera curva presentada es la de Altura vs Caudal, en esta curva se puede observar que a medida que el caudal va aumentando la altura va disminuyendo, por lo que la curva presenta una descendencia.

La segunda curva representa la Potencia vs Caudal, en esta curva lo que se puede observar es que el valor máximo se obtiene cuando el rendimiento de la bomba alcanza su mayor valor.

Trace el siguiente gráfico en una hoja completa:

3.4.2. Curva  $\psi$  vs  $\phi$ .



3.4.2.1. ¿La nube de puntos que conforman esta curva son muy dispersos?

La nube de puntos que conforma esta curva no son muy dispersos, esto se debe principalmente que para los tres casos fue ocupada la misma máquina, por lo que no existieron cambios ni variaciones de parámetros en las mediciones efectuadas.

3.4.2.2. Al observar todas las curvas anteriores ¿Qué tipo de bomba centrífuga es? Justifíquelo.

Observando las curvas mostradas anteriormente se puede decir que la bomba centrífuga utilizada para este ensayo es una bomba de media velocidad.

La curva que nos entrega mayor información a cerca del tipo de bomba centrífuga es la curva de Altura vs Caudal, ya que para las bombas de media velocidad la curva presenta una tendencia ascendente.

3.4.2.3. Calcule la velocidad específica y determine si las características constructivas y operacionales son concordantes con esa velocidad específica y su respuesta 3.4.2.2.

Velocidad específica:

$$N_s = \frac{rpm \sqrt{gpm}}{H^{3/4}} \quad (14)$$

Donde:

$$rpm = 3070$$

$$gpm = 318,59$$

$$H = 53,13 \text{ [ft]}$$

Por lo tanto se tiene que:

$$N_s = 2784,515$$

Con el valor obtenido en la velocidad específica, se puede asegurar lo mencionado en la pregunta anterior, por lo que si se está en presencia de una bomba centrífuga de media velocidad.

#### 4. Anexos.

##### 4.1. Características de la bomba.

#### CARACTERÍSTICAS DE BOMBAS.

MARCA - MODELO	DN/DA	DN/D D	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>C</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	Z
	in	in	mm	mm	mm	mm	mm	°	°	-
Leader - M18	4	4	71	135	30	37	24.3	16	20	5
Leader - M19	5	5	100	165	47		24			7