

Informe N° 9:

## Ensayo de Curvas Características de una Bomba Centrífuga

Laboratorio de Máquinas (ICM 557)  
Segundo Semestre 2020

Profesores: Cristóbal Galleguillos

Tomas Herrera

Ayudante: Ignacio Ramos

Paralelo: 1

Nombre: Cristian Cárdenas

## Indice

Introducción.....	3
Metodología/Procedimientos. ....	4
Resultados. ....	5
Anexos. ....	10
Conclusión.....	14
Referencias. ....	14

## Introducción

En este informe se analizará el comportamiento de una bomba centrífuga sometida a distintas velocidades de funcionamiento: 2700, 2900 y 3090 rpm. Se procederá a obtener gráficas que nos ayudarán a comprender de mejor manera el funcionamiento de este equipo.

## Objetivo.

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

## Metodología/Procedimientos.

Los procedimientos a realizar en laboratorio son:

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 estabilice su funcionamiento, tome las siguientes medidas:

- $n$ : velocidad de ensayo, [rpm].
- $n_x$ : velocidad de la bomba, [rpm].
- $p_{ax}\%$ : presión de aspiración, [%].
- $p_{dx}\%$ : presión de descarga, [%].
- $\Delta h_x$ : caudal de la bomba, presión diferencial del venturímetro, [mmHg].
- $F_x$ : fuerza medida en la balanza, [kp].
- $t_a$ : temperatura de agua en el estanque, [°C].
- $P_{atm}$ : presión atmosférica, [mmHg].

Manteniendo la velocidad constante, repetir las mediciones tantas veces como fuera necesario para recorrer completamente 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].

## Resultados.

### 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]	[%]	[%]	[mmHg]	[kp]	[°C]	[mmHg]
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]	[%]	[%]	[mmHg]	[kp]	[°C]	[mmHg]
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										
	2700 [rpm]									
	n	cpax	cpdx	nx	pax	pdx	$\Delta h_x$	Fx	T	P <sub>atm</sub>
	[rpm]	[mm]	[mm]	[rpm]	[%]	[%]	[mmHg]	[kp]	[°C]	[mmHg]
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
12	2700	115	165	2703	119.6	49.1	0	0.78	17	758.7
13										

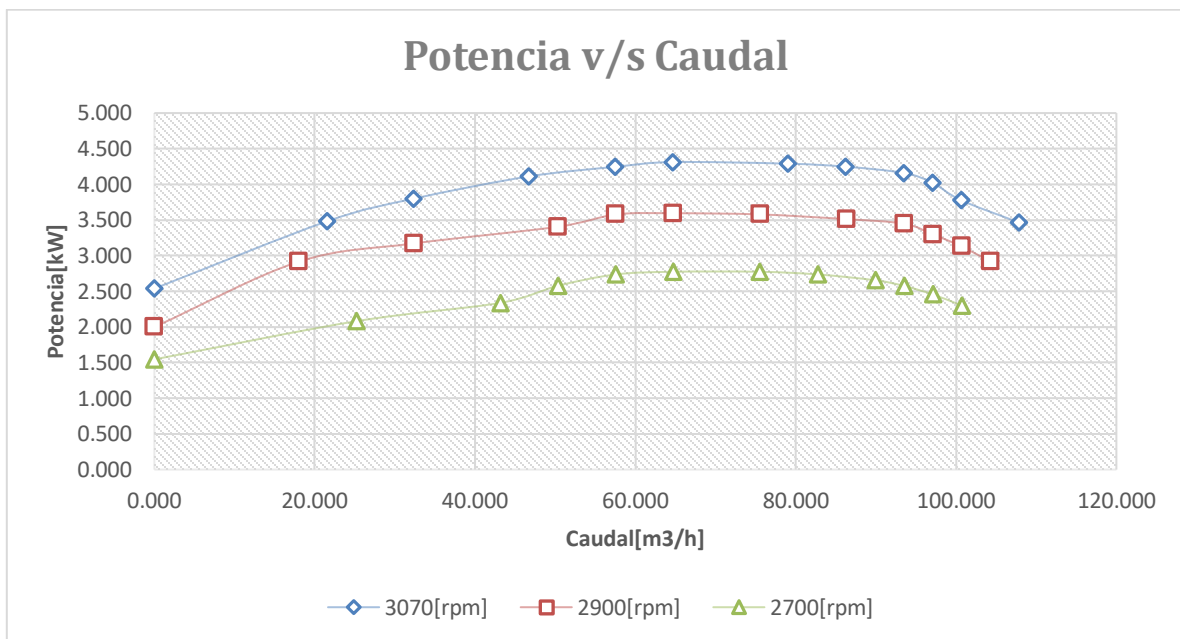
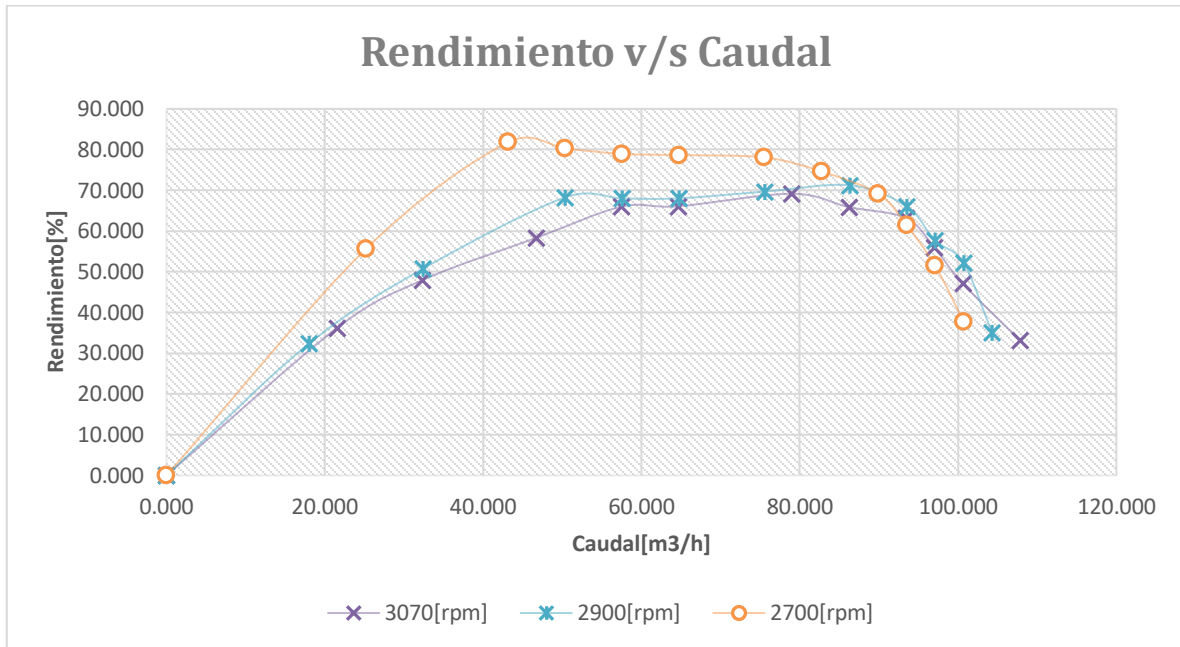
# Valores Calculados:

VALORES CALCULADOS														
3070 [rpm]														
	Qx	Q	pax	pdx	Hx	H	Nex	Ne	Nh	$\eta_{ge}$	$U_2$	$cm_2$	$\Phi$	$\Psi$
	[m³/h]	[m³/h]	[mca]	[mca]	[mca]	[mca]	[kW]	[kW]	[kW]	[-]	[m/s]	[m/s]	[-]	[-]
1	108	107.824	-1.17	2.77	3.930	3.917	3.483	3.466	1.150	33.174	21.701	2.906	0.134	0.163
2	100.8	100.603	-0.91	5.61	6.520	6.495	3.801	3.779	1.779	47.071	21.701	2.712	0.125	0.270
3	97.2	97.010	-0.64	7.93	8.560	8.527	4.050	4.026	2.252	55.930	21.701	2.615	0.120	0.355
4	93.6	93.417	-0.41	9.97	10.380	10.340	4.185	4.161	2.629	63.191	21.701	2.518	0.116	0.431
5	86.4	86.203	-0.17	11.81	11.980	11.926	4.277	4.248	2.799	65.875	21.701	2.323	0.107	0.497
6	79.2	78.994	0.06	13.93	13.870	13.798	4.324	4.290	2.967	69.158	21.701	2.129	0.098	0.575
7	64.8	64.632	0.41	16.69	16.280	16.195	4.347	4.313	2.849	66.069	21.701	1.742	0.080	0.675
8	57.6	57.450	0.65	18.65	18.000	17.907	4.279	4.245	2.800	65.964	21.701	1.548	0.071	0.746
9	46.8	46.678	0.89	19.85	18.960	18.862	4.143	4.111	2.397	58.305	21.701	1.258	0.058	0.786
10	32.4	32.326	1.14	21.93	20.790	20.696	3.825	3.799	1.821	47.943	21.701	0.871	0.040	0.862
11	21.6	21.544	1.32	22.93	21.610	21.498	3.509	3.482	1.261	36.212	21.701	0.581	0.027	0.895
12	0	0.000	1.94	25.01	23.070	22.950	2.558	2.538	0.000	0.000	21.701	0.000	0.000	0.956
13														

VALORES CALCULADOS														
2900 [rpm]														
	Qx	Q	pax	pdx	Hx	H	Nex	Ne	Nh	$\eta_{ge}$	$U_2$	$cm_2$	$\Phi$	$\Psi$
	[m³/h]	[m³/h]	[mca]	[mca]	[mca]	[mca]	[kW]	[kW]	[kW]	[-]	[m/s]	[m/s]	[-]	[-]
1	104.4	104.292	-0.97	2.645	3.61	3.603	2.925	2.916	1.023	35.074	20.499	2.811	0.137	0.168
2	100.8	100.696	-0.72	5.245	5.97	5.958	3.139	3.129	1.633	52.193	20.499	2.714	0.132	0.278
3	97.2	97.100	-0.48	6.725	7.21	7.195	3.309	3.299	1.902	57.645	20.499	2.617	0.128	0.336
4	93.6	93.503	-0.24	8.725	8.97	8.951	3.459	3.448	2.278	66.077	20.499	2.520	0.123	0.418
5	86.4	86.311	-0.06	10.605	10.67	10.648	3.523	3.512	2.502	71.234	20.499	2.326	0.113	0.497
6	75.6	75.548	0.23	12.365	12.14	12.123	3.586	3.578	2.493	69.675	20.499	2.036	0.099	0.566
7	64.8	64.711	0.45	14.365	13.92	13.882	3.610	3.595	2.445	68.026	20.499	1.744	0.085	0.648
8	57.6	57.560	0.70	16.245	15.55	15.529	3.586	3.578	2.433	67.997	20.499	1.551	0.076	0.725
9	50.4	50.348	0.89	17.885	17	16.965	3.416	3.406	2.325	68.274	20.499	1.357	0.066	0.792
10	32.4	32.367	1.12	19.405	18.29	18.252	3.181	3.172	1.608	50.707	20.499	0.872	0.043	0.852
11	18	17.975	1.35	20.645	19.3	19.247	2.926	2.914	0.942	32.319	20.499	0.484	0.024	0.898
12	0	0.000	1.84	22.605	20.77	20.713	2.008	1.999	0.000	0.000	20.499	0.000	0.000	0.967
13														

VALORES CALCULADOS														
2700 [rpm]														
	Qx	Q	pax	pdx	Hx	H	Nex	Ne	Nh	$\eta_{ge}$	$U_2$	$cm_2$	$\Phi$	$\Psi$
	[m³/h]	[m³/h]	[mca]	[mca]	[mca]	[mca]	[kW]	[kW]	[kW]	[-]	[m/s]	[m/s]	[-]	[-]
1	100.8	100.725	-0.69	2.485	3.17	3.165	2.305	2.300	0.868	37.733	19.085	2.715	0.142	0.170
2	97.2	97.092	-0.44	4.365	4.8	4.789	2.465	2.457	1.266	51.521	19.085	2.617	0.137	0.258
3	93.6	93.496	-0.26	5.965	6.23	6.216	2.584	2.576	1.582	61.421	19.085	2.520	0.132	0.335
4	90	89.900	-0.12	7.405	7.52	7.503	2.664	2.655	1.836	69.159	19.085	2.423	0.127	0.404
5	82.8	82.739	0.13	9.205	9.08	9.067	2.743	2.736	2.042	74.626	19.085	2.230	0.117	0.488
6	75.6	75.516	0.37	10.925	10.56	10.537	2.783	2.774	2.166	78.082	19.085	2.035	0.107	0.567
7	64.8	64.728	0.60	13.005	12.41	12.382	2.783	2.774	2.182	78.653	19.085	1.745	0.091	0.667
8	57.6	57.557	0.80	14.605	13.81	13.790	2.743	2.736	2.161	78.957	19.085	1.551	0.081	0.743
9	50.4	50.363	1.02	16.125	15.11	15.088	2.584	2.578	2.068	80.243	19.085	1.357	0.071	0.812
10	43.2	43.152	1.25	17.565	16.32	16.284	2.346	2.338	1.913	81.812	19.085	1.163	0.061	0.877
11	25.2	25.172	1.38	18.285	16.91	16.872	2.087	2.081	1.156	55.571	19.085	0.678	0.036	0.909
12	0	0.000	1.85	19.805	17.96	17.920	1.551	1.546	0.000	0.000	19.085	0.000	0.000	0.965
13														

# 1. De isorendimiento y potencia vs caudal.



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

El punto de óptima operación se da cuando el rendimiento es de casi 82%, y a una velocidad de 2700rpm. En este punto, el caudal es cercano a 43[m³/h].

b. ¿Las curvas tienen la forma esperada?

En general, la forma de las curvas es la esperada, con algunas variaciones. No debemos olvidar que siempre se producirán cambios debido a la precisión a la hora de medir los datos, particularmente en este caso, el Qx.

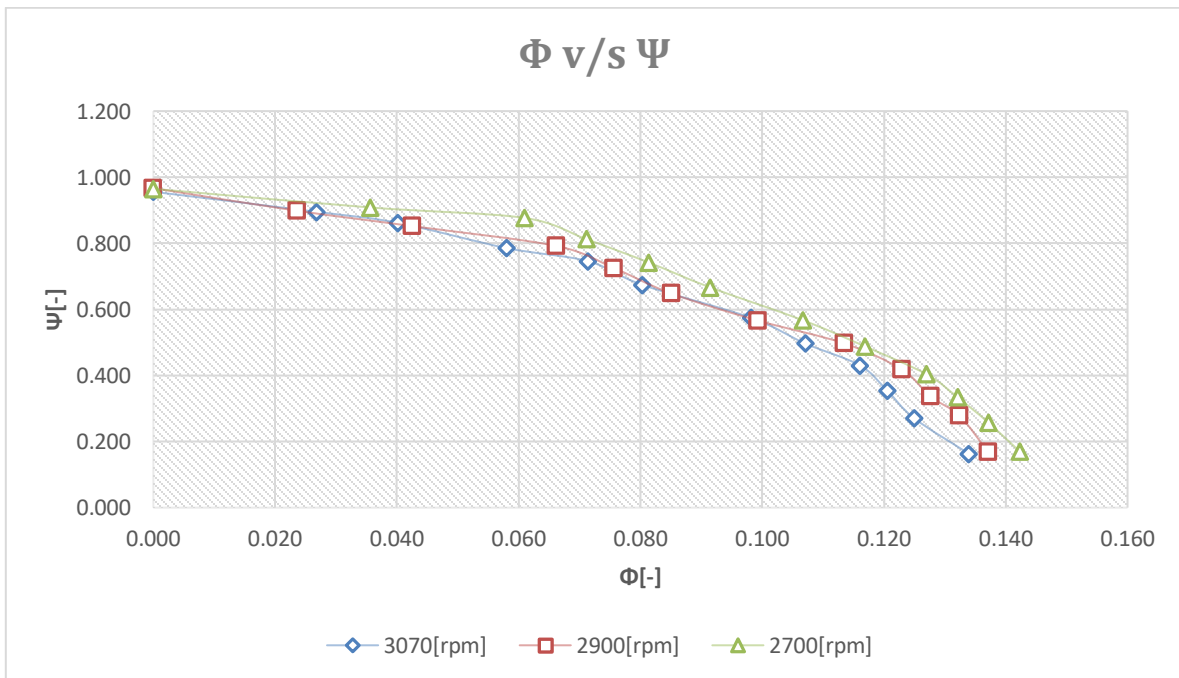
c. ¿Cuál es la potencia máxima consumida?

La potencia máxima consumida por el eje se da a los 3070[rpm] y en la 7ma medición. Su valor es de 4.313[kW] y en ese momento el caudal es 64.632[m<sup>3</sup>/h].

d. ¿Qué tipo de curvas son?

En ambos casos, las curvas ascienden hasta llegar a un valor máximo, para luego descender. Esta tendencia se nota más en la gráfica de potencia vs caudal.

## 2. Gráfica de $\Psi$ vs $\Phi$ .



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

Los datos tienden a desplazarse juntos. La curva que más se aleja es la de los 2700rpm. Sin embargo, no se visualiza una dispersión de los datos.



- b. ¿Al observar todas las bombas anteriores, qué tipo de bomba centrífuga es?

Al obtener una velocidad específica de 75.3m/s y gracias al anexo referente a la velocidad específica y las bombas, se puede concluir que se trata de una bomba tipo Francis helicoidal.

- c. 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.

Escogemos el punto de óptimo rendimiento, el cual se daba en los 2700rpm y en la iteración nº 10. En este punto, procedemos a calcular la velocidad específica, la cual resulta ser  $N_s=75.3\text{m/s}$ .

## Anexos.

### FORMULAS:

Caudal:

De gráfico del venturímetro adjunto se determina el caudal para cada línea de mediciones:  
 $Q_x$

Caudal corregido:

$$Q = Q_x \left( \frac{n}{n_x} \right) \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

Presión de aspiración:

$$p_{ax} = 0,1 p_{ax} \% - 10 - \frac{c_{pax}}{1000} \left[ m_{ca} \right]$$

$$c_{pax} = 115 \text{ [mm]}$$

Presión de descarga:

$$p_{dx} = 0,4 p_{dx} \% + \frac{c_{pdx}}{1000} \left[ m_{ca} \right]$$

$$c_{pdx} = 165 \text{ [mm]}$$

Altura:

$$H_x = -p_{ax} + p_{dx} \left[ m_{ca} \right]$$

Altura corregida:

$$H = H_x \left( \frac{n}{n_x} \right)^2 \left[ m_{ca} \right]$$

Potencia en el eje de la bomba:

$$N_{ex} = 0,0007355 F_x n_x \left[ kW \right]$$

Potencia en el eje de la  
bomba corregida:

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

Potencia hidráulica:

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

$\gamma$  peso específico del agua  
en  $[N/m^3]$

Rendimiento global:

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

Velocidad tangencial del rodete en  
la descarga:

$$U_2 = \frac{\pi}{60} n D_2 \quad \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Velocidad meridional de descarga:

$$cm_2 = \frac{Q}{3600 \pi D_2 B_2} \quad \left[ \frac{m}{s} \right]$$

$D_2$  diámetro exterior del rodete

$B_2$  ancho exterior del rodete

Phi:

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

Psi:

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

## CLASIFICACION DE BOMBAS SEGUN VELOCIDAD ESPECIFICA:

### CLASIFICACIÓN DE BOMBAS CENTRÍFUGAS.

Según la velocidad específica ( $N_s$ ).

Según el valor de  $N_s$ , pueden distinguirse varios tipo de bombas:

$N_s$  menor a 10. Bombas periféricas o tipo turbina.

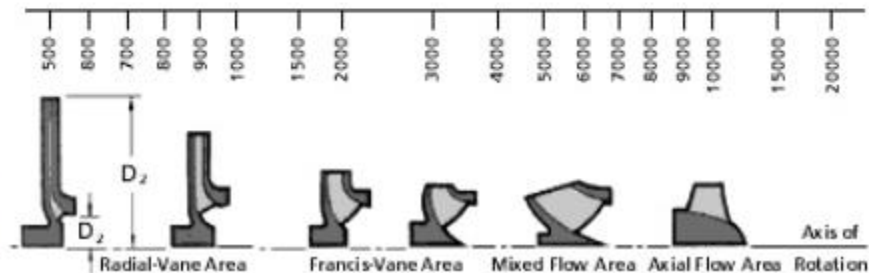
$N_s$  de 10 a 20: Bombas radiales o centrífugas.

$N_s$  de 20 a 35: Bombas de tipo radial o Francis.

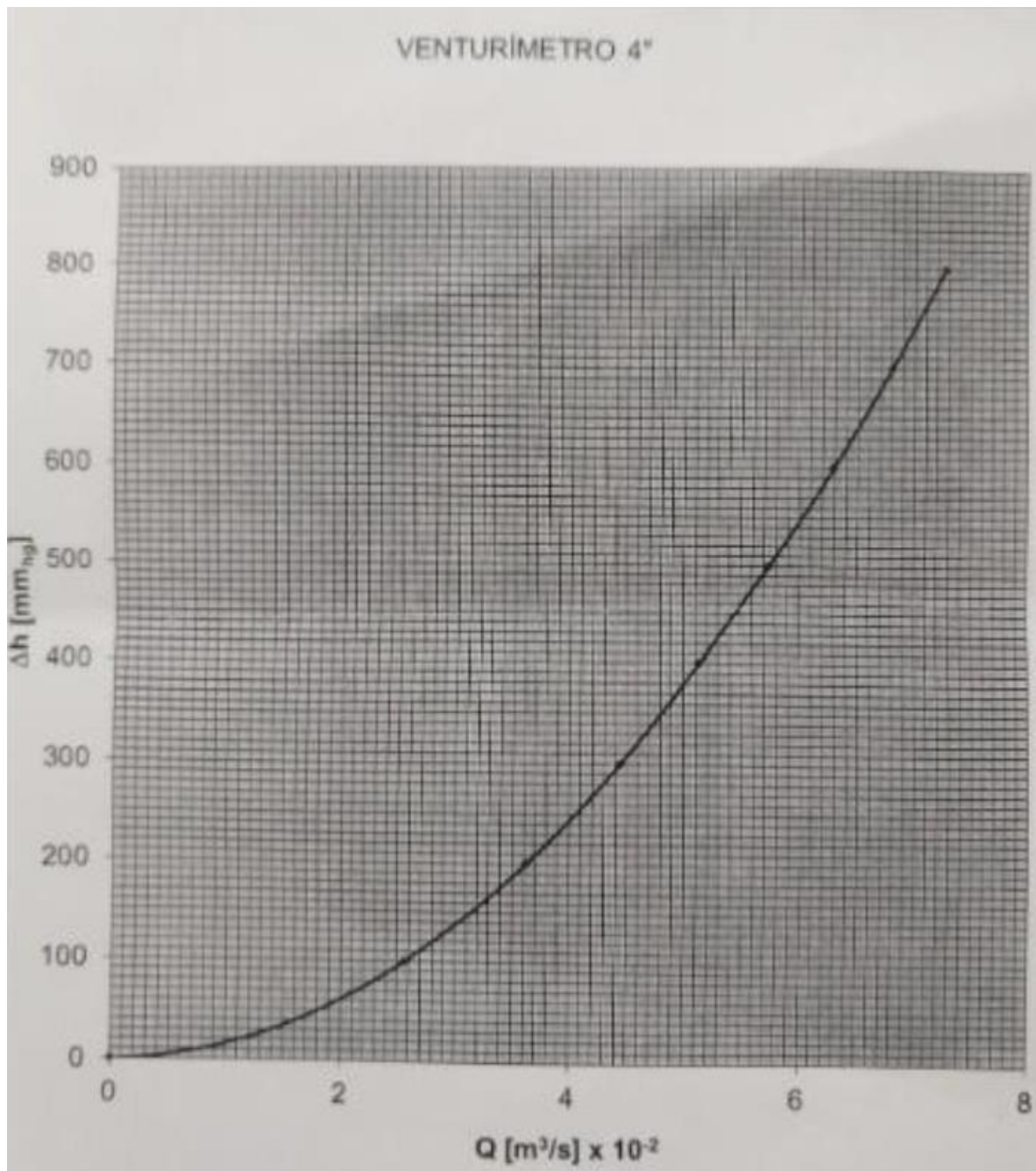
$N_s$  de 35 a 80: Bombas Francis de tipo hélice o helicoidal.

$N_s$  de 80 a 135: Bombas de flujo mixto.

$N_s$  de 135 a 270: Bombas de flujo a axial o de propela.



VENTURIMETRO PARA CALCULO DEL CAUDAL:



## Conclusión.

Gracias a la realización de este primer ensayo referente a las bombas centrífugas se pudo comprender de mejor manera su funcionamiento, sometiéndola a distintas velocidades rpm.

Se logra determinar que la bomba se trataría de una tipo Francis Helicoidal.

Finalmente, gracias a la obtención de distintos gráficos se pudo apreciar cómo se comportan estas bombas a distintas condiciones.

.

## Referencias.

-Valores suministrados por el profesor en Aula Virtual

-PPT en Aula Virtual, Autor Tomás Herrera.

- <https://es.slideshare.net/eylinmachuca7/presentacin-bombas-centrifugas>