

Informe 9 Laboratorio de máquinas

Antonio Parraguez Rojas
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

11 de Diciembre del 2020



1. Introducción

Las bombas son elementos con amplio campo de aplicaciones en diversas industrias y vitales para el funcionamiento de muchas maquinarias, es por ello que es de vital importancia el conocimiento del funcionamiento de estas, y es que mediante este informe podremos observar su comportamiento y la manera de identificar el tipo de bomba utilizada.

2. Objetivos

Analizar el comportamiento de una bomba centrífuga mediante sus curvas características

3. Instrumentos utilizados



Figura 1: Estanque de acumulación de agua (1)



Figura 2: Bulbo de un termómetro para conocer la temperatura del agua (1)



Figura 3: Válvula (1)



Figura 4: Arreglo para medir la presión de aspiración de la Bomba (1)



Figura 5: Sensor de presión en la aspiración (1)

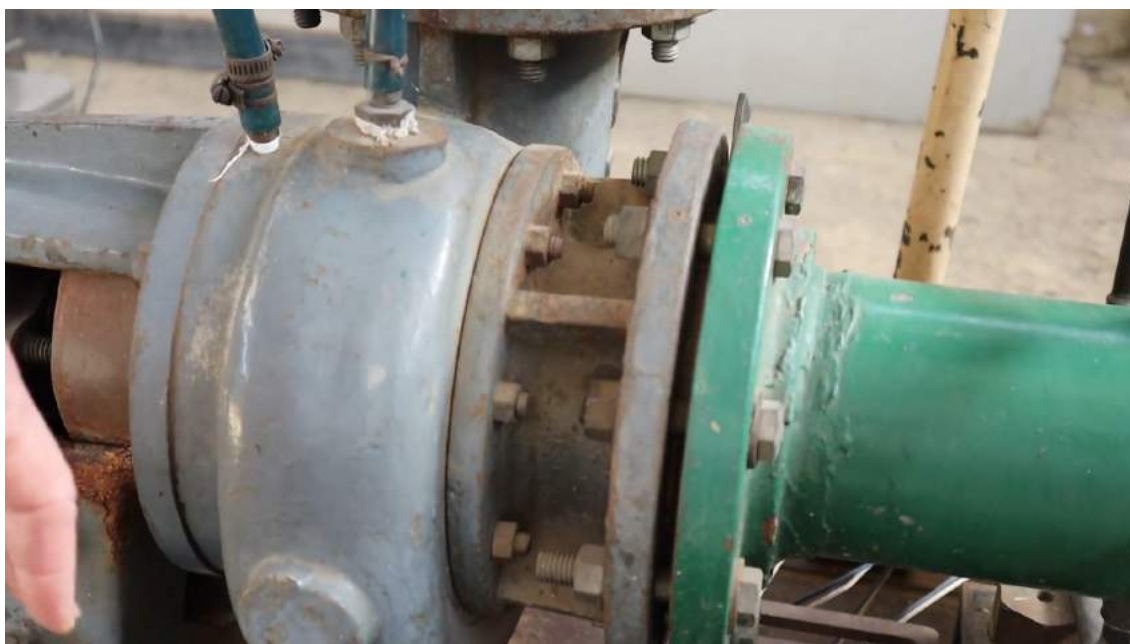


Figura 6: Bomba centrífuga (1)



Figura 7: Arreglo para medir la presión en la descarga con su respectivo sensor (1)



Figura 8: Válvula de descarga de la bomba (1)



Figura 9: Venturimetro utilizado para medir el caudal (1)



Figura 10: Manómetro de columna de mercurio conectado al venturimetro (1)



Figura 11: Motor de corriente continua basculante (1)



Figura 12: Brazo que se carga sobre la balanza (1)

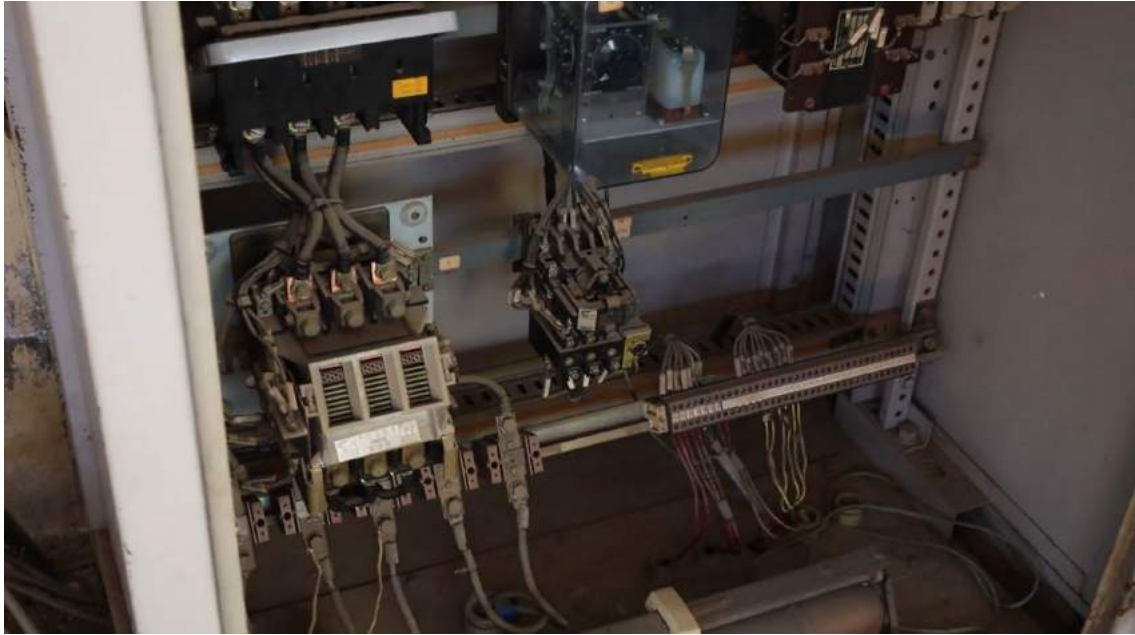


Figura 13: Panel en donde se encuentran elementos eléctricos como el rectificador, contactor, fusibles, etc. (1)



Figura 14: Generador que comanda el sistema de velocidad (1)



Figura 15: Panel de control del sistema eléctrico (1)

4. Tabla de valores medidos

VALORES MEDIDOS										
	n	cpax	cpdx	nx	pax	pdx	Δh_x	F _x	T	P _{atm}
	[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

Figura 16: Tabla de datos proporcionados para 3070 [rpm] (1)

VALORES MEDIDOS										
	n	cpax	cpdx	nx	pax	pdx	Δh_x	F _x	T	P _{atm}
	[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

Figura 17: Tabla de datos proporcionados para 2900 [rpm] (1)

VALORES MEDIDOS										
	n	cpax	cpdx	nx	2700 pax	[rpm] pdx	Δh_x	Fx	T	P _{atm}
	[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

Figura 18: Tabla de datos proporcionados para 2700 [rpm] (1)

5. Fórmulas

Caudal corregido:

$$Q = Q_x \cdot \left(\frac{n}{n_x} \right) \left[\frac{m^3}{h} \right] \quad (1)$$

Presión de aspiración:

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

Presión de descarga:

$$pdx = 0,4 \cdot pdx \% - 10 - \frac{cpdx}{1000} [m_{ca}] \quad (3)$$

Altura:

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

Altura corregida:

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

Potencia en el eje de la bomba:

$$N_{ex} = 0,0007355 \cdot Fx \cdot nx [KW] \quad (6)$$

Potencia en el eje de la bomba corregida:

$$N_x = N_{ex} \cdot \left(\frac{n}{n_x} \right)^3 [KW] \quad (7)$$

Potencia hidráulica:

$$N_h = \gamma \cdot \left(\frac{Q \cdot H}{3600} \right) [KW] \quad (8)$$

Rendimiento global:

$$\eta_{gl} = \frac{N_h}{N_e} \cdot 100 [\%] \quad (9)$$

Velocidad tangencial del rodete en la descarga:

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

Velocidad meridional de descarga:

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

Phi:

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

Psi:

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

6. Tabla de valores calculados

VALORES CALCULADOS													
n = 3070 [rpm]													
Qx	Q	pax	pdx	Hx	H	Nex	Ne	Nh	ngl	U2	cm2	φ	ψ
[m3/hr]	[m3/hr]	[mca]	[mca]	[mca]	[mca]	[KW]	[KW]	[KW]	[-]	[m/s]	[m/s]	[-]	[-]
1	111,6000	111,4185	-1,1650	2,7650	3,9300	3,9172	3,4830	3,4660	1,1882	34,1140	21,7006	3,0031	0,1384
2	106,2000	105,9928	-0,9150	5,6050	6,5200	6,4946	3,8008	3,7786	1,8740	49,3055	21,7006	2,8568	0,1316
3	100,8000	100,6034	-0,6350	7,9250	8,5600	8,5266	4,0497	4,0260	2,3353	57,6652	21,7006	2,7116	0,1250
4	95,4000	95,2139	-0,4150	9,9650	10,3800	10,3395	4,1854	4,1610	2,6801	64,0333	21,7006	2,5663	0,1183
5	90,0000	89,7953	-0,1750	11,8050	11,9800	11,9256	4,2773	4,2482	2,9153	68,1561	21,7006	2,4203	0,1115
6	79,2000	78,9942	0,0550	13,9250	13,8700	13,7980	4,3240	4,2904	2,9673	68,6233	21,7006	2,1291	0,0981
7	72,0000	71,8129	0,4050	16,6850	16,2800	16,1955	4,3466	4,3128	3,1662	72,8431	21,7006	1,9356	0,0892
8	63,0000	62,8363	0,6450	18,6450	18,0000	17,9066	4,2787	4,2454	3,0631	71,5903	21,7006	1,6936	0,0780
9	50,4000	50,2690	0,8850	19,8450	18,9600	18,8616	4,1429	4,1107	2,5812	62,3047	21,7006	1,3549	0,0624
10	39,6000	39,5099	1,1350	21,9250	20,7900	20,6955	3,8247	3,7987	2,2260	58,2010	21,7006	1,0649	0,0491
11	28,8000	28,7251	1,3150	22,9250	21,6100	21,4978	3,5090	3,4817	1,6811	47,9092	21,7006	0,7742	0,0357
12	0,0000	0,0000	1,9350	25,0050	23,0700	22,9502	2,5582	2,5383	0,0000	0,0000	21,7006	0,0000	0,0000

Figura 19: Tabla de valores calculados para 3070 [rpm] (2)

VALORES CALCULADOS													
n = 2900 [rpm]													
Qx	Q	pax	pdx	Hx	H	Nex	Ne	Nh	ngl	U2	cm2	φ	ψ
[m3/hr]	[m3/hr]	[mca]	[mca]	[mca]	[mca]	[KW]	[KW]	[KW]	[-]	[m/s]	[m/s]	[-]	[-]
1	106,2	106,0903	-0,9650	2,6450	3,6100	3,6025	2,9252	2,9161	1,0405	35,5696	20,4989	2,8595	0,1395
2	100,8	100,6958	-0,7250	5,2450	5,9700	5,9577	3,1387	3,1290	1,6332	52,0338	20,4989	2,7141	0,1324
3	96,48	96,3803	-0,4850	6,7250	7,2100	7,1951	3,3095	3,2992	1,8879	57,0439	20,4989	2,5977	0,1267
4	91,08	90,9859	-0,2450	8,7250	8,9700	8,9515	3,4590	3,4482	2,2172	64,1016	20,4989	2,4523	0,1196
5	82,8	82,7144	-0,0650	10,6050	10,6700	10,6480	3,5230	3,5121	2,3977	68,0580	20,4989	2,2294	0,1088
6	77,4	77,3467	0,2250	12,3650	12,1400	12,1233	3,5858	3,5784	2,5527	71,1897	20,4989	2,0847	0,1017
7	68,4	68,3058	0,4450	14,3650	13,9200	13,8817	3,6097	3,5948	2,5813	71,5119	20,4989	1,8410	0,0898
8	63	62,9566	0,6950	16,2450	15,5500	15,5286	3,5858	3,5784	2,6614	74,2213	20,4989	1,6969	0,0828
9	50,4	50,3479	0,8850	17,8850	17,0000	16,9649	3,4163	3,4057	2,3253	68,0656	20,4989	1,3570	0,0662
10	37,8	37,7609	1,1150	19,4050	18,2900	18,2522	3,1814	3,1715	1,8763	58,9776	20,4989	1,0178	0,0497
11	25,2	25,1653	1,3450	20,6450	19,3000	19,2469	2,9262	2,9141	1,3186	45,0617	20,4989	0,6783	0,0331
12	0	0,0000	1,8350	22,6050	20,7700	20,7128	2,0077	1,9995	0,0000	0,0000	20,4989	0,0000	0,0000

Figura 20: Tabla de valores calculados para 2900 [rpm] (2)

VALORES CALCULADOS													
n = 2700 [rpm]													
Qx	Q	pax	pdx	Hx	H	Nex	Ne	Nh	ngl	U2	cm2	φ	ψ
[m3/hr]	[m3/hr]	[mca]	[mca]	[mca]	[mca]	[KW]	[KW]	[KW]	[-]	[m/s]	[m/s]	[-]	[-]
1	100,08	100,0059	-0,6850	2,4850	3,1700	3,1653	2,3053	2,3002	0,8618	37,3819	19,0852	2,6955	0,1412
2	95,4	95,2941	-0,4350	4,3650	4,8000	4,7894	2,4652	2,4570	1,2425	50,4008	19,0852	2,5685	0,1346
3	91,08	90,9789	-0,2650	5,9650	6,2300	6,2162	2,5845	2,5759	1,5396	59,5713	19,0852	2,4522	0,1285
4	84,6	84,5061	-0,1150	7,4050	7,5200	7,5033	2,6640	2,6551	1,7262	64,7967	19,0852	2,2777	0,1193
5	79,2	79,1414	0,1250	9,2050	9,0800	9,0666	2,7425	2,7364	1,9534	71,2269	19,0852	2,1331	0,1118
6	72	71,9201	0,3650	10,9250	10,5600	10,5366	2,7833	2,7740	2,0630	74,1204	19,0852	1,9385	0,1016
7	61,92	61,8513	0,5950	13,0050	12,4100	12,3825	2,7833	2,7740	2,0850	74,9108	19,0852	1,6671	0,0873
8	54	53,9600	0,7950	14,6050	13,8100	13,7896	2,7425	2,7364	2,0257	73,8619	19,0852	1,4544	0,0762
9	43,2	43,1680	1,0150	16,1250	15,1100	15,0876	2,5835	2,5778	1,7731	68,6305	19,0852	1,1635	0,0610
10	27	26,9700	1,2450	17,5650	16,3200	16,2838	2,3459	2,3381	1,1956	50,9649	19,0852	0,7269	0,0381
11	18	17,9800	1,3750	18,2850	16,9100	16,8725	2,0875	2,0805	0,8259	39,5636	19,0852	0,4846	0,0254
12	0	0,0000	1,8450	19,8050	17,9600	17,9202	1,5507	1,5455	0,0000	0,0000	19,0852	0,0000	0,0000

Figura 21: Tabla de valores calculados para 2700 [rpm] (2)

7. Gráficos

7.1. Trazado de los gráficos de isorendimiento y potencia vs caudal.

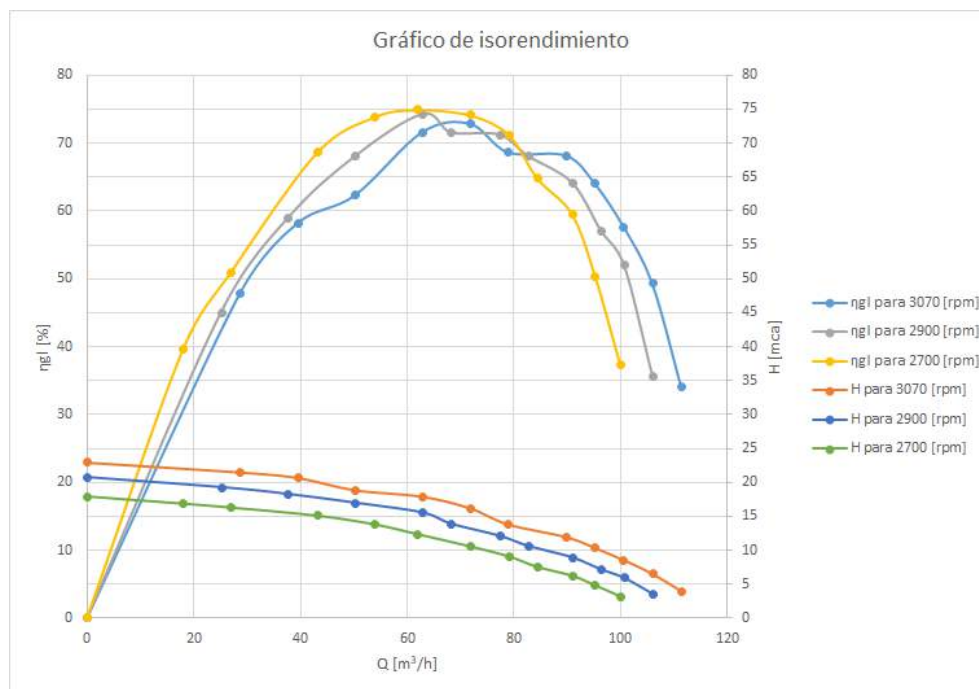


Figura 22: Gráfico de isorendimiento para diferentes rpm (2)

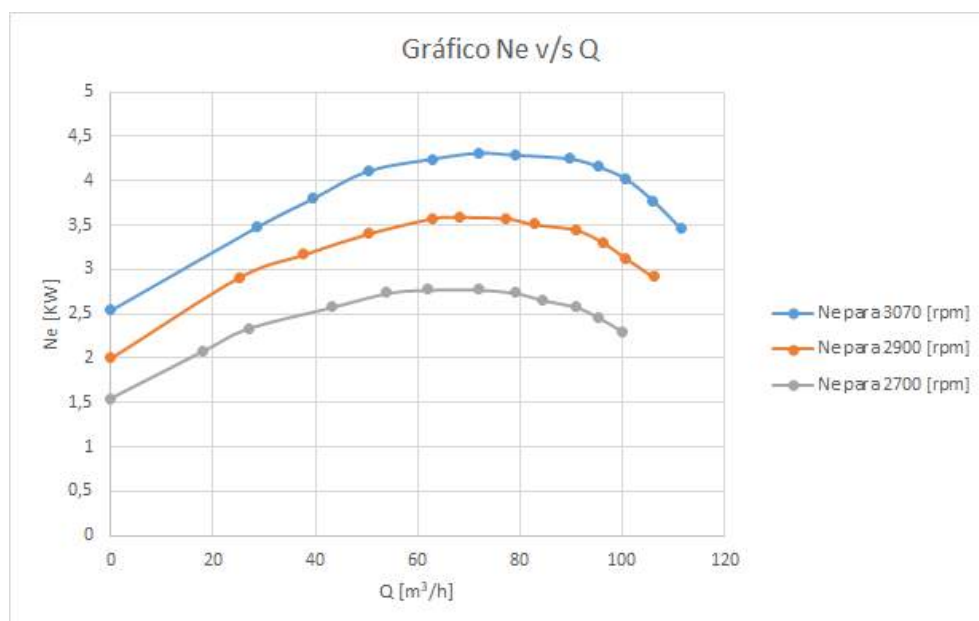


Figura 23: Gráfico potencia en el eje para diferentes rpm (2)

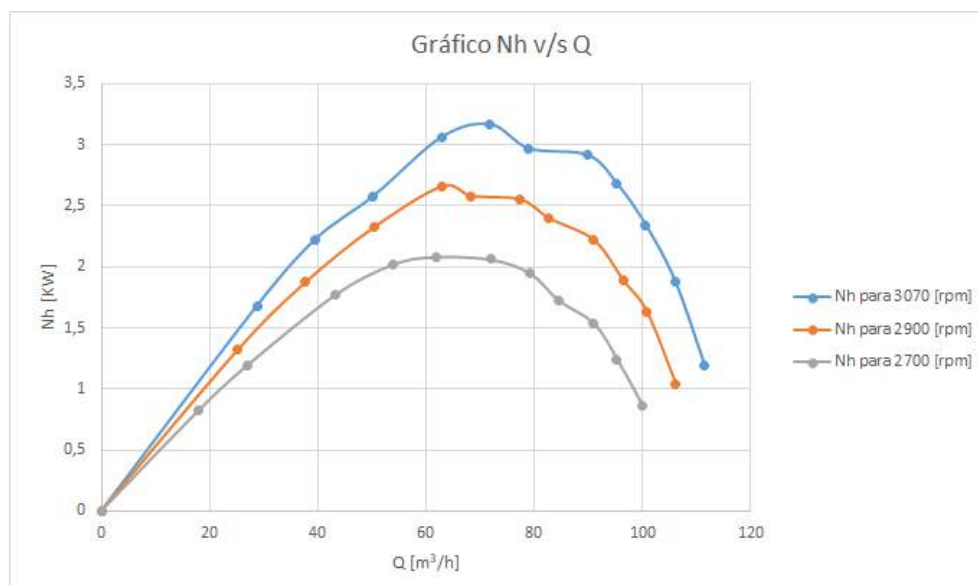


Figura 24: Gráfico potencia hidráulica para diferentes rpm (2)

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

Las condiciones óptimas de funcionamiento están dadas por el mayor valor de rendimiento global, en nuestro caso podemos observar que el punto óptimo se encuentra para un caudal de aproximadamente $61,8 \text{ [m}^3/\text{h}]$ y una velocidad de 2700 [rpm] , en el cual el valor obtenido de rendimiento sera de $74,91 \%$.

Se ha de indicar que debido a que los valores del caudal Q_x fueron obtenidos por gráfico es posible que exista una pequeña variación y podría darse el caso que para un caudal similar al anterior mencionado tal como se puede apreciar en el gráfico se obtenga un valor muy cercano de rendimiento global al del anterior propuesto como óptimo, pero esta vez para una velocidad de 1900 [rpm] .

7.3. ¿Las curvas tiene la forma esperada?

Las curvas tienen la forma esperada tal y como fueron indicada en su momento en clase, si bien presentan algunas desviaciones en sus puntos como se puede apreciar en la curva de rendimiento global versus caudal, estas son debidas a pequeños errores obtenidos durante las mediciones, pero en general la forma de las curvas es la correcta.

7.4. ¿Cuál es la potencia máxima consumida?

Del gráfico de potencia en el eje versus caudal (N_e vs Q) es posible apreciar que la potencia máxima que es consumida durante el ensayo corresponde a un valor de $4,31 \text{ [KW]}$ para una velocidad de 3070 [rpm] .

7.5. ¿Qué tipo de curvas son?

Las curvas correspondientes a potencia en el eje versus caudal (N_e vs Q), son curvas de tipo ascendente pues al impulsar un caudal de líquido mayor, la energía que es necesaria aplicar al eje de la bomba será mayor. Además, ya que la potencia máxima en el eje coincide aproximadamente con el punto óptimo de rendimiento en las tres curvas, nos indica que se encuentra trabajando sin sobrecarga.

La curva de rendimiento global tiene una forma ascendente-descendente en el cual llega a un punto de mayor eficiencia (punto óptimo).

7.6. Curva Ψ vs Φ

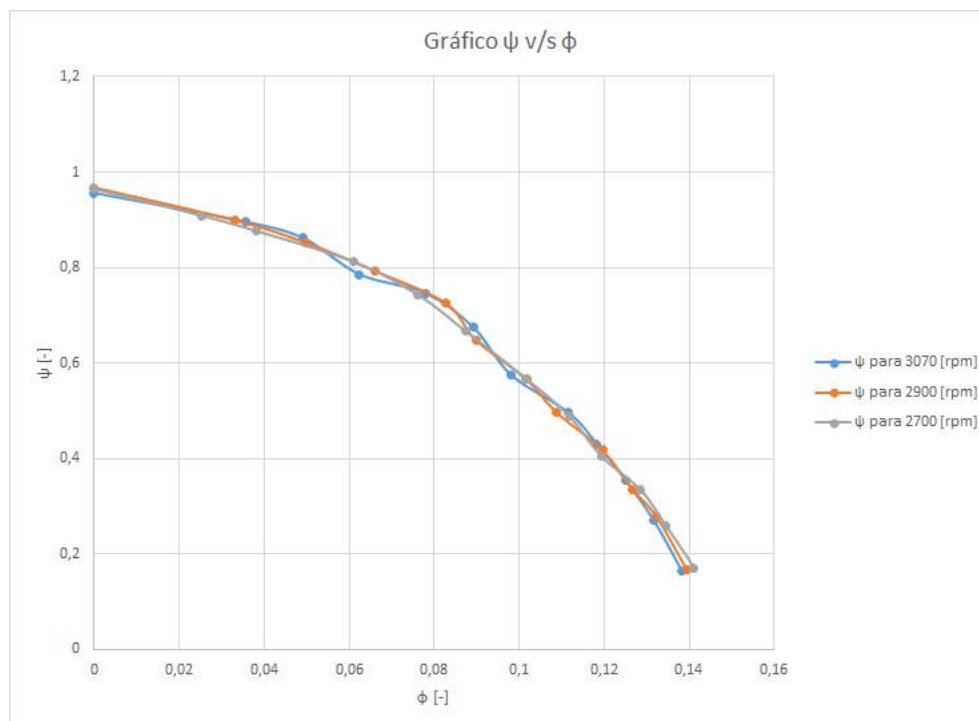


Figura 25: Gráfico Ψ vs Φ para diferentes rpm (2)

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

La nube de puntos de gráfico no es muy dispersa debido a que estos factores son en su mayoría puramente geométricos y para las diferentes rpm medidas los valores de caudal presentan variaciones muy pequeñas según las distintas mediciones.

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

Es posible indicar según el gráfico de isorendimiento y el caudal de operación podemos indicar que se trata de una bomba de un paso y de baja presión. Esto según los valores

referenciales de Redes industriales de tubería, bombas para agua, ventiladores y compresores Por Antoni Luszczewski”.

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

Para calcular la velocidad específica se hará según:

Rendimiento global:

$$n_{SQ1} = \frac{\sqrt{Q_{gmp}}}{H_{ft}^{3/4}} \cdot n [-] \quad (14)$$

para estos cálculos usaremos los siguientes datos: $Q_{gpm} = 272.32$ $H_{ft} = 40.62$ ft

$$n_{SQ1} = \frac{\sqrt{272,32}}{40,62^{3/4}} \cdot 2700 [-] \quad (15)$$

$$n_{SQ1} = 2769,16 [-] \quad (16)$$

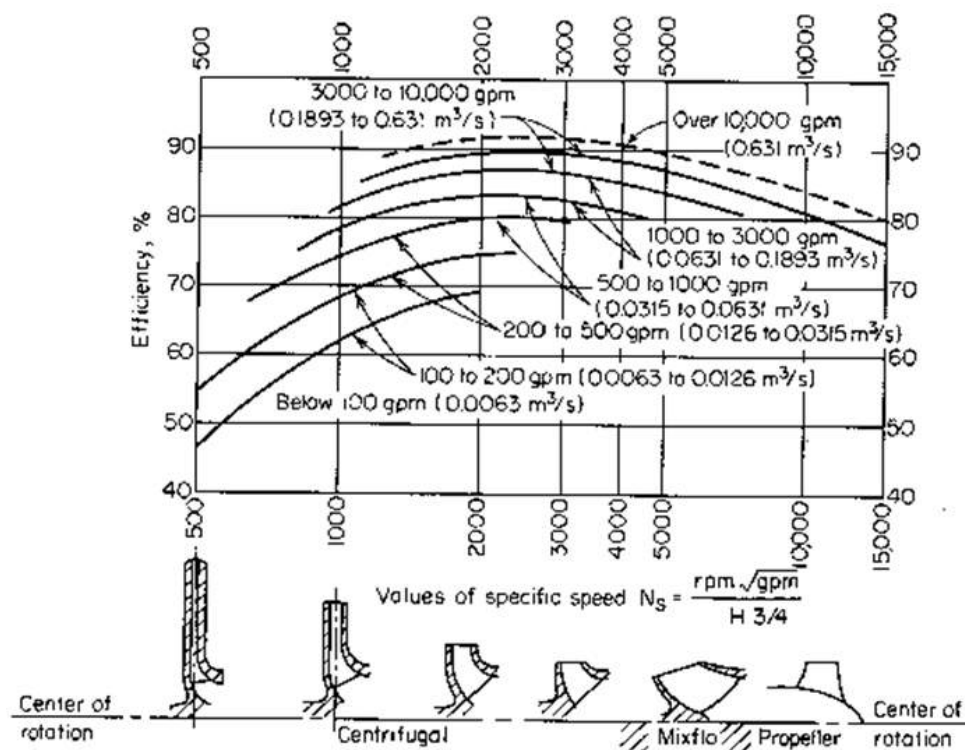


Figura 26: Gráfico de velocidad específica (2)

Se puede observar que según el valor obtenido anteriormente corresponde con la bomba indicada.

8. Conclusión

Las bombas son maquinas de una alta eficiencia y con una diversidad de clasificaciones según sus curvas de operación, es de vital importancia el conocimiento del tipo de bomba según los requerimientos que se tengan. Además estas maquinas presentan grandes variaciones según las rpm de trabajo por lo que es vital si se quiere trabajar de manera óptima realizar la observación de estas curvas.

Referencias

- [1] Profesores Cristóbal Galleguillos Ketterer y Tomás Herrera Muñoz.
- [2] Elaboración propia-Antonio Parraguez.
- [3] Bombas Centrifugas y Curvas de Bombas- Tecsup
- [4] Turbo maquinas-Manuel Polo Encinas
- [5] Redes industriales de tubería, bombas para agua, ventiladores y compresores Por Antoni Luszczewski