



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, [%].
- Δh_x : caudal de la bomba, presión diferencial del venturímetro, [mm_{Hg}].
- F_x : fuerza medida en la balanza, [kp].
- t_a : temperatura de agua en el estanque, [°C].
- P_{atm} : presión atmosférica, [mm_{Hg}].

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:

- c_{pax} : altura piezométrica del manómetro de aspiración respecto del eje de la bomba, en [mm].
- c_{pdx} : 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 | Δhx | Fx | 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 |
| 13 | | | | | | | | | | |

| VALORES MEDIDOS | | | | | | | | | | |
|-----------------|------------|------|------|-------|-------|------|--------|------|------|------------------|
| | 2900 [rpm] | | | | | | | | | |
| | n | cpax | cpdx | nx | pax | pdx | Δhx | Fx | 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 |
| 13 | | | | | | | | | | |

| VALORES MEDIDOS | | | | | | | | | | |
|-----------------|------------|------|------|-------|-------|------|--------|------|------|------------------|
| | 2700 [rpm] | | | | | | | | | |
| | n | cpax | cpdx | nx | pax | pdx | Δhx | 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 |
| 13 | | | | | | | | | | |

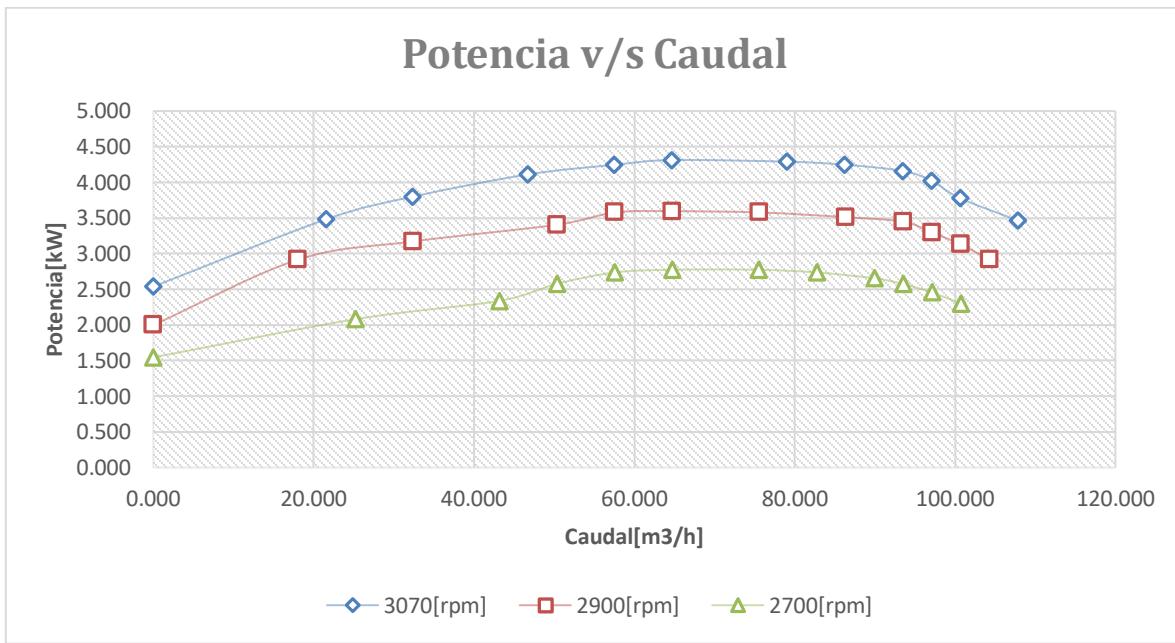
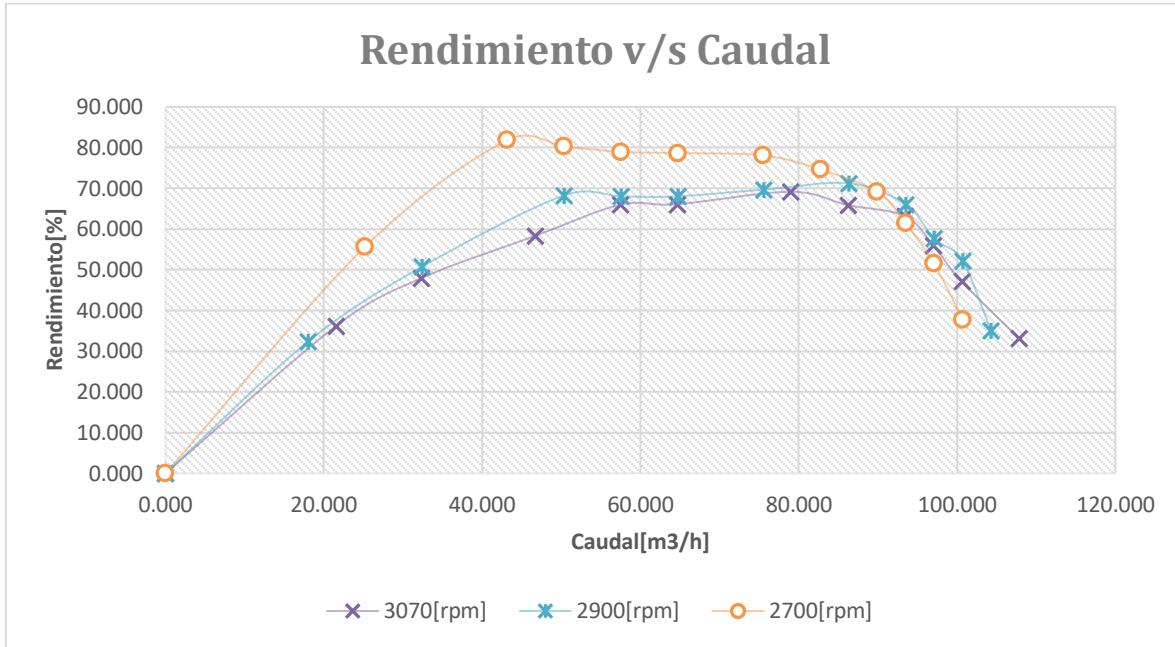
Valores Calculados:

| VALORES CALCULADOS 3070 [rpm] | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|-------|-------|------------|----------------|-----------------|-------|-------|
| | Qx | Q | pax | pdx | Hx | H | Nex | Ne | Nh | η_{g} | U ₂ | cm ₂ | Φ | Ψ |
| | [m ³ /h] | [m ³ /h] | [m _{ca}] | [m _{ca}] | [m _{ca}] | [m _{ca}] | [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 | η_{g} | U ₂ | cm ₂ | Φ | Ψ |
| | [m ³ /h] | [m ³ /h] | [m _{ca}] | [m _{ca}] | [m _{ca}] | [m _{ca}] | [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 | η_{g} | U ₂ | cm ₂ | Φ | Ψ |
| | [m ³ /h] | [m ³ /h] | [m _{ca}] | [m _{ca}] | [m _{ca}] | [m _{ca}] | [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.

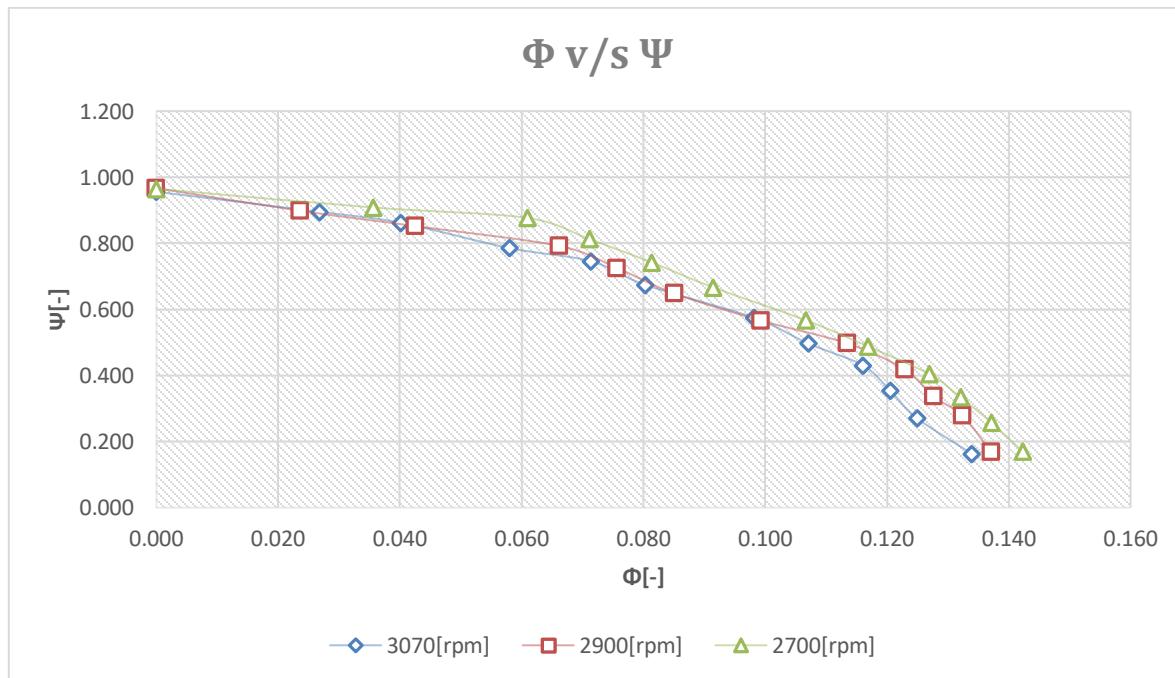
c. ¿Cuál es la potencia máxima consumida?

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[m³/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 Ψ vs Φ .



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:

$$p_{ax} = 0,1 p_{ax\%} - 10 - \frac{cp_{ax}}{1000} [m_{ca}]$$

$cp_{ax} = 115 \text{ [mm]}$

Presión de descarga:

$$p_{dx} = 0,4 p_{dx\%} + \frac{cp_{dx}}{1000} [m_{ca}]$$

$cp_{dx} = 165 \text{ [mm]}$

Altura:

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

Altura corregida:

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

Potencia en el eje de la bomba:

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

Potencia en el eje de la bomba corregida:

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

Potencia hidráulica:

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

γ peso específico del agua
en [N/m³]

Rendimiento global:

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

Velocidad tangencial del rodete en la descarga:

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

Velocidad meridional de descarga:

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

D₂ diámetro exterior del rodete

B₂ ancho exterior del rodete

Phi:

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

Psi:

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

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.

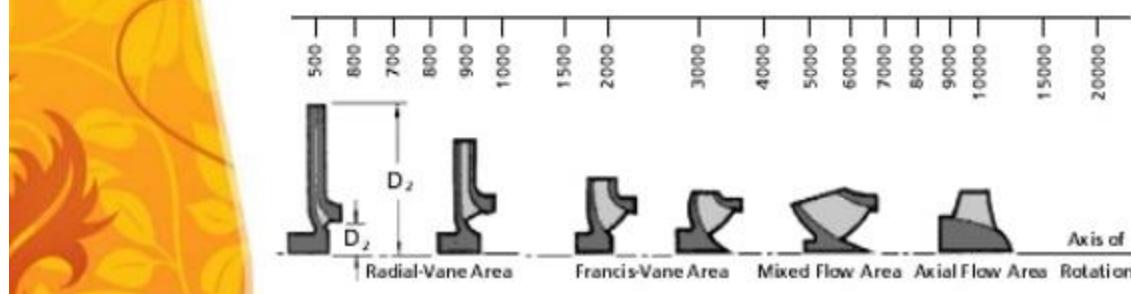
N_s de 10 a 20: Bombas radiales o centrífugas.

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

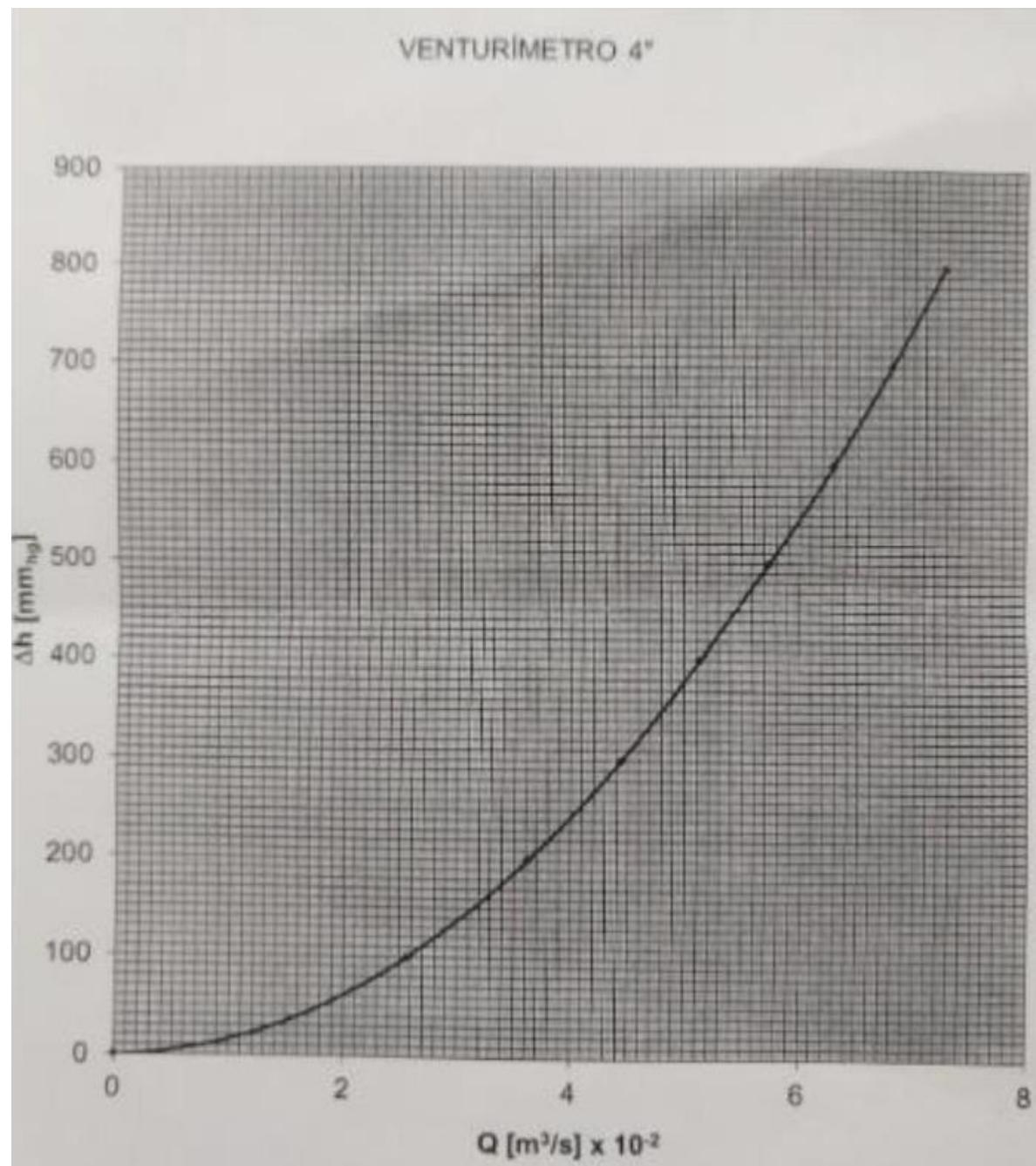
N_s de 35 a 80: Bombas Francis de tipo hélice o helicoidal.

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>