

# Informe 09 Laboratorio de máquinas:

## Curvas características de una bomba centrífuga

Felipe Eduardo Trujillo Preuss  
Escuela de Ingeniería Mecánica  
[felipe.trujillo.p@mail.pucv.cl](mailto:felipe.trujillo.p@mail.pucv.cl)

11 de Diciembre de 2020

### 1. Introducción

En ese informe se ejecuta un análisis exhaustivo del funcionamiento de una bomba centrífuga marca Leader modelo M18, con el objetivo de obtener sus curvas características según su operación en distintos regímenes establecidos y medir propiedades de interés como la Presión, Velocidad de rotación, Temperaturas, entre otros.

### 2. Procedimiento del Ensayo

[a] 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.

[b] Luego de inspeccionar los instrumentos y su operación, se espera un tiempo prudente para que se estabilice su funcionamiento. Tomar las siguientes mediciones:

- $n$  Velocidad de ensayo, [rpm].
- $n_x$  Velocidad de la bomba, [rpm].
- $pax\%$  Presión de aspiración, [%].
- $pdx\%$  Presión de descarga, [%].
- $\Delta hx$  Caudal de la bomba, presión diferencial en el venturímetro en [mmHg].
- $F_x$  Fuerza medidas en la balanza, en [kp].
- $t_a$  Temperatura de agua en el estanque, en [°C].
- $P_{atm}$  Presión atmosférica, en [mmHg].

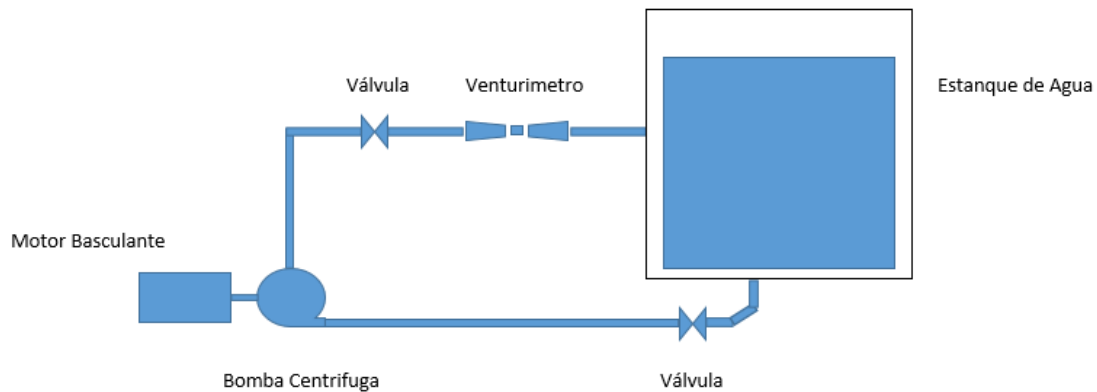
[c] Manteniendo la velocidad constante, repetir las mediciones tantas veces como fuera necesario para recorrer completamente la curva característica de la bomba y tener los valores apropiados para trazar las curvas que se indican. Para obtener las distintas condiciones de operación, se modifica la curva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

[d] Se repite lo anterior para otras dos velocidades de ensayo.

### 3. Instalación

El sistema contempla un estanque por el que se succiona agua a través de una bomba, la cual es alimentada por un motor de corriente continua del tipo basculante. A este motor se le puede regular la velocidad de rotación con la variación de la intensidad de corriente suministrada, desde un panel de control. Adicionalmente, el motor posee un brazo conectado a una balanza que permite medir la fuerza  $F_x$  del par generado. En la salida del estanque se encuentra una válvula siempre abierta, en cambio, en la descarga de la bomba existe una válvula de compuerta que regula el caudal de agua. Esta última va variando su apertura a través del ensayo, hasta quedar completamente cerrada.

A continuación de la válvula en la descarga de la bomba, se encuentra un Venturímetro, encargado de medir el caudal por medio de un cambio en la presión que se traduce en una variación de altura. Finalmente, se regresa al estanque para suministrarle el agua a la misma altura a la que fue succionada, vale decir, se tiene una columna estática total igual a cero, ya que el nivel de suministro de agua es el mismo nivel de descarga.

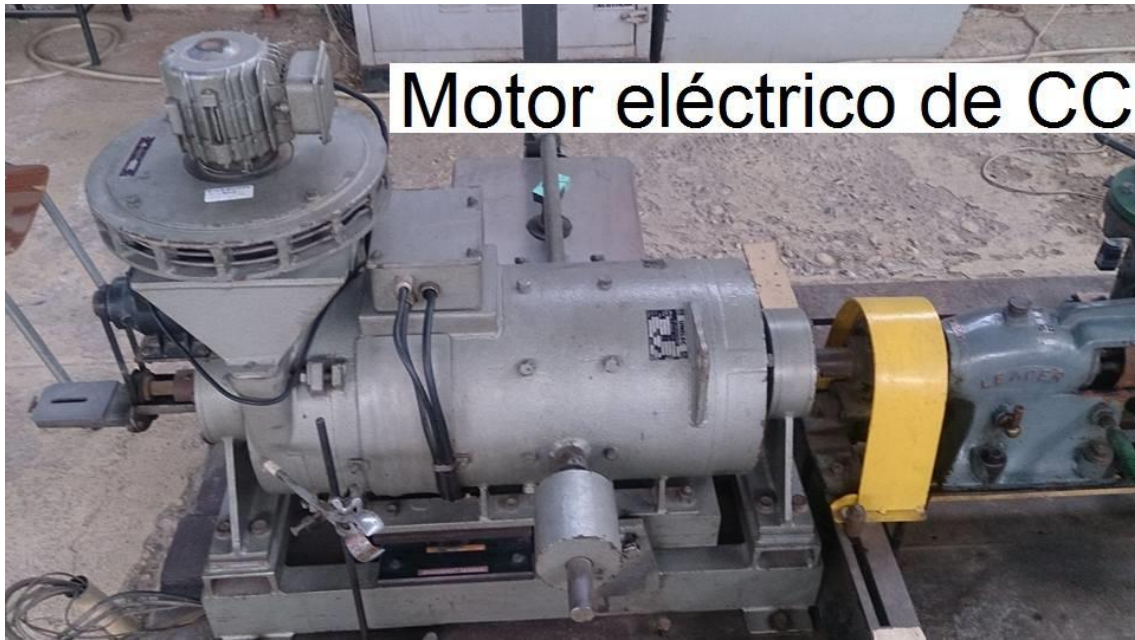


Tubería de salida estanque



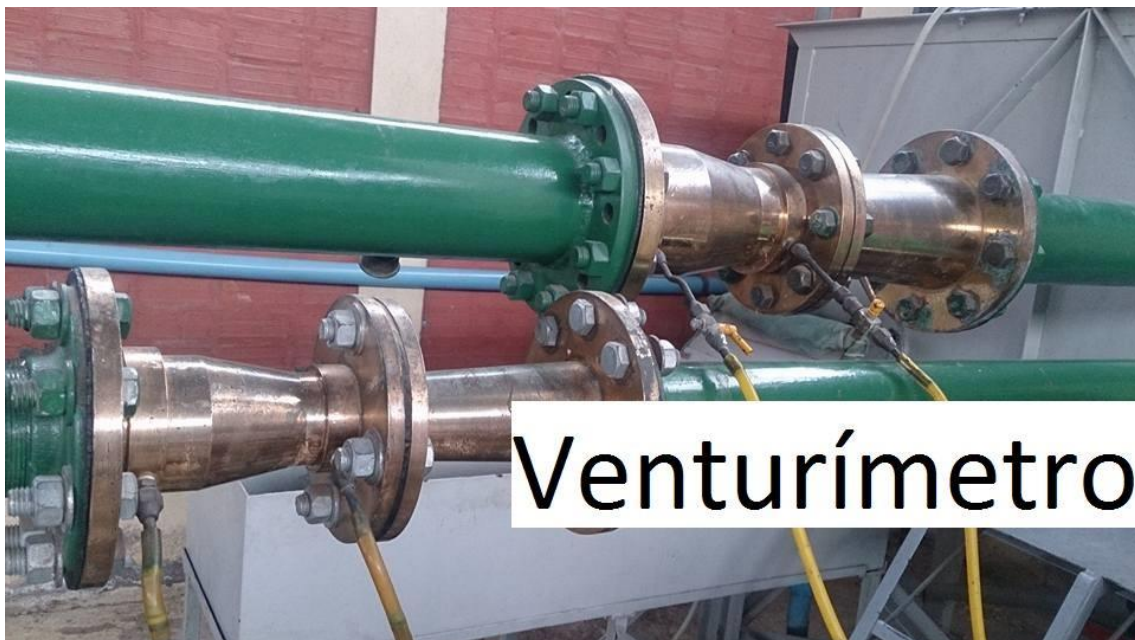
Bomba centrífuga  
Marca Leader –M18







Válvula de  
compuerta



Venturímetro





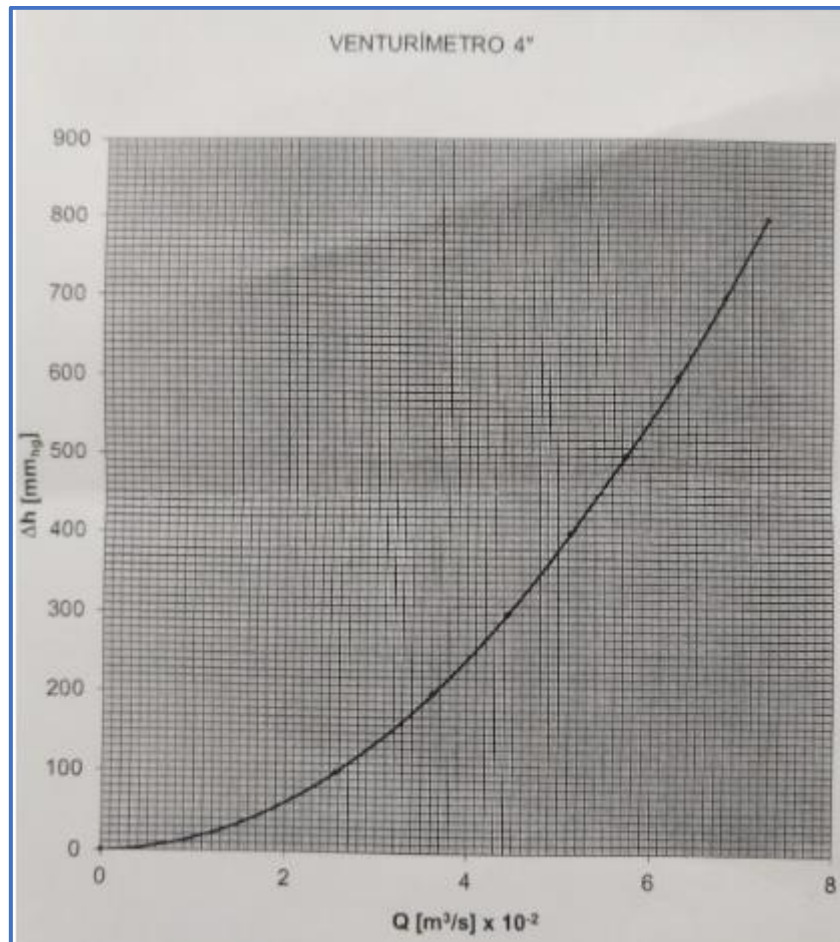
#### 4. Tabla de valores medidos

VALORES MEDIDOS							
n	nx	pax	pdx	$\Delta h_x$	Fx	T	P <sub>atm</sub>
[rpm]	[rpm]	[%]	[%]	[mmHg]	[kp]	[°C]	[mmHg]
3070	3075	89,5	6,5	146	1,54	16	758,7
	3076	92	13,6	133	1,68		
	3076	94,8	19,4	118	1,79		
	3076	97	24,5	104	1,85		
	3077	99,4	29,1	91	1,89		
	3078	101,7	34,4	76	1,91		
	3078	105,2	41,3	59	1,92		
	3078	107,6	46,2	45	1,89		
	3078	110	49,2	32	1,83		
	3077	112,5	54,4	17	1,69		
	3078	114,3	56,9	9	1,55		
	3078	120,5	62,1	0	1,13		
2900	2903	91,5	6,2	134	1,37	17	758,7
	2903	93,9	12,7	121	1,47		
	2903	96,3	16,4	109	1,55		
	2903	98,7	21,4	95	1,62		
	2903	100,5	26,1	82	1,65		
	2902	103,4	30,5	70	1,68		
	2904	105,6	35,5	56	1,69		
	2902	108,1	40,2	43	1,68		
	2903	110	44,3	30	1,6		
	2903	112,3	48,1	17	1,49		
	2904	114,6	51,2	8	1,37		
	2904	119,5	56,1	0	0,94		
2700	2702	94,3	5,8	118	1,16	17	758,7
	2703	96,8	10,5	106	1,24		
	2703	98,5	14,5	95	1,3		
	2703	100	18,1	84	1,34		
	2702	102,4	22,6	72	1,38		
	2703	104,8	26,9	60	1,4		
	2703	107,1	32,1	47	1,4		
	2702	109,1	36,1	35	1,38		
	2702	111,3	39,9	23	1,3		
	2703	113,6	43,5	11	1,18		
	2703	114,9	45,3	5	1,05		
	2703	119,6	49,1	0	0,78		

## 5. Fórmulas

### Caudal $Q_x$ :

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



### Caudal Corregido $Q$ :

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

### Presión de aspiración:

$$pax = 0.1 \cdot pax\% - 10 - \frac{cpax}{1000} [mca]$$

$$cpax = 115 [mm]$$

### Presión de descarga:

$$pdx = 0.4 \cdot pdx\% + \frac{cpdx}{1000} [mca]$$

$$cpdx = 165 [mm]$$



**Altura:**

$$Hx = -pax + pdx \quad [mca]$$

**Altura Corregida:**

$$H = Hx \cdot \left(\frac{n}{n_x}\right)^2 \quad [mca]$$

**Potencia en el eje de la bomba:**

$$Nex = 0.0007355 \cdot Fx \cdot nx \quad [kW]$$

**Potencia en el eje de la bomba corregida:**

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

**Potencia hidráulica:**

$$Nh = \gamma \cdot \frac{Q \cdot H}{3600} \quad [kW]$$

$$\gamma : \text{Peso específico del agua} \left[ \frac{N}{m^3} \right]$$

**Rendimiento global:**

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

**Velocidad Tangencial del rodete de descarga:**

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

**Velocidad meridional de descarga:**

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

$D_2$  : diámetro exterior del rodete

$B_2$  : ancho exterior del rodete

**Coefficiente adimensional de velocidades:**

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

**Coefficiente adimensional de altura respecto a la velocidad tangencial:**

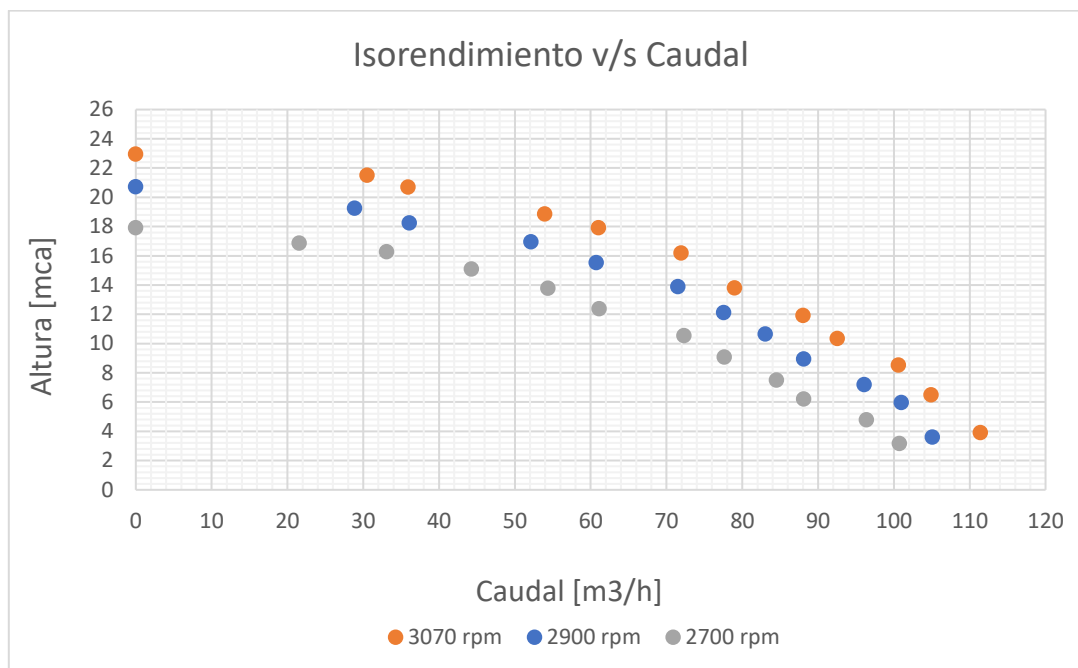
$$\psi = \frac{2 \cdot g \cdot H}{U_2^2} \quad [-]$$

## 6. Tabla de valores calculados

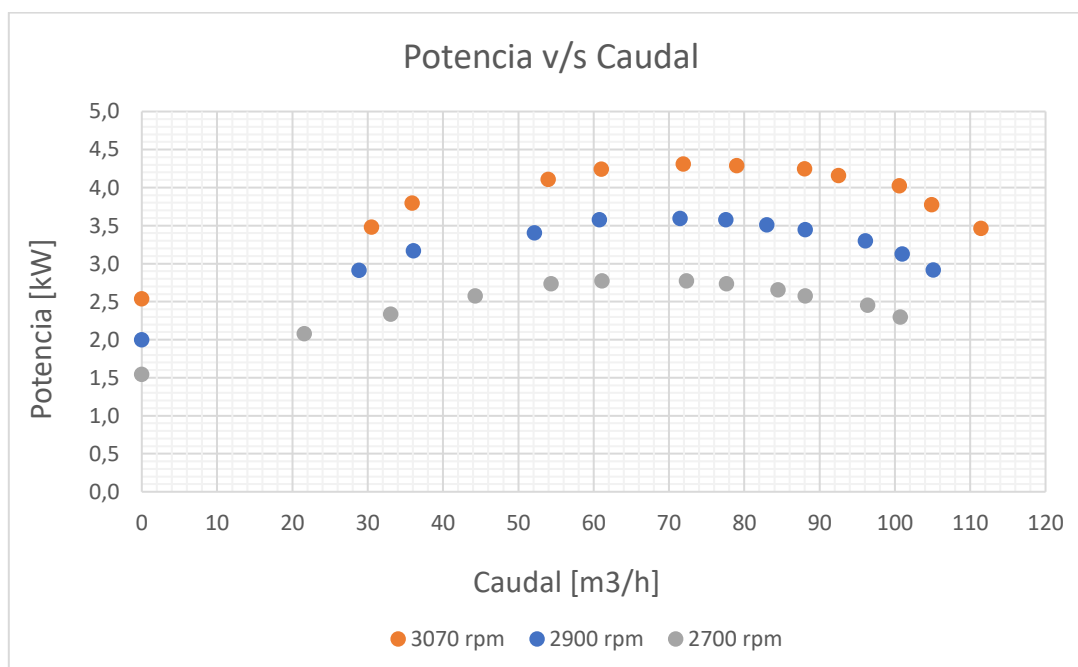
VALORES CALCULADOS													
3070 [rpm]													
Qx	Q	pax	pdx	Hx	H	Nex	Ne	Nh	ηgl	U2	cm2	Φ	ψ
[m3/h]	[m3/h]	[mca]	[mca]	[mca]	[mca]	[kW]	[kW]	[kW]	[%]	[m/s]	[m/s]	[-]	[-]
111,60	111,42	-1,17	2,77	3,93	3,92	3,48	3,47	1,19	34,28	21,74	3,00	0,14	0,16
105,10	104,89	-0,91	5,61	6,52	6,49	3,80	3,78	1,85	49,08	21,74	2,83	0,13	0,27
100,80	100,60	-0,64	7,93	8,56	8,53	4,05	4,03	2,34	58,00	21,74	2,71	0,12	0,35
92,70	92,52	-0,41	9,97	10,38	10,34	4,19	4,16	2,60	62,58	21,74	2,49	0,11	0,43
88,20	88,00	-0,17	11,81	11,98	11,93	4,28	4,25	2,86	67,25	21,75	2,37	0,11	0,49
79,20	78,99	0,06	13,93	13,87	13,80	4,32	4,29	2,97	69,16	21,76	2,13	0,10	0,57
72,10	71,91	0,41	16,69	16,28	16,20	4,35	4,31	3,17	73,51	21,76	1,94	0,09	0,67
61,20	61,04	0,65	18,65	18,00	17,91	4,28	4,25	2,98	70,09	21,76	1,65	0,08	0,74
54,10	53,96	0,89	19,85	18,96	18,86	4,14	4,11	2,77	67,40	21,76	1,45	0,07	0,78
36,00	35,92	1,14	21,93	20,79	20,70	3,82	3,80	2,02	53,27	21,75	0,97	0,04	0,86
30,60	30,52	1,32	22,93	21,61	21,50	3,51	3,48	1,79	51,30	21,76	0,82	0,04	0,89
0,00	0,00	1,94	25,01	23,07	22,95	2,56	2,54	0,00	0,00	21,76	0,00	0,00	0,95
2900 [rpm]													
105,20	105,09	-0,97	2,65	3,61	3,60	2,93	2,92	1,03	35,34	20,52	2,83	0,14	0,17
101,10	101,00	-0,72	5,25	5,97	5,96	3,14	3,13	1,64	52,35	20,52	2,72	0,13	0,28
96,20	96,10	-0,48	6,73	7,21	7,20	3,31	3,30	1,88	57,05	20,52	2,59	0,13	0,34
88,20	88,11	-0,24	8,73	8,97	8,95	3,46	3,45	2,15	62,26	20,52	2,37	0,12	0,42
83,10	83,01	-0,06	10,61	10,67	10,65	3,52	3,51	2,41	68,51	20,52	2,24	0,11	0,50
77,60	77,55	0,23	12,37	12,14	12,12	3,59	3,58	2,56	71,52	20,51	2,09	0,10	0,57
71,60	71,50	0,45	14,37	13,92	13,88	3,61	3,59	2,70	75,16	20,53	1,93	0,09	0,65
60,80	60,76	0,70	16,25	15,55	15,53	3,59	3,58	2,57	71,77	20,51	1,64	0,08	0,72
52,20	52,15	0,89	17,89	17,00	16,96	3,42	3,41	2,41	70,71	20,52	1,41	0,07	0,79
36,10	36,06	1,12	19,41	18,29	18,25	3,18	3,17	1,79	56,50	20,52	0,97	0,05	0,85
28,90	28,86	1,35	20,65	19,30	19,25	2,93	2,91	1,51	51,89	20,53	0,78	0,04	0,90
0,00	0,00	1,84	22,61	20,77	20,71	2,01	2,00	0,00	0,00	20,53	0,00	0,00	0,96
2700 [rpm]													
100,80	100,73	-0,69	2,49	3,17	3,17	2,31	2,30	0,87	37,73	19,10	2,71	0,14	0,17
96,50	96,39	-0,44	4,37	4,80	4,79	2,47	2,46	1,26	51,15	19,11	2,60	0,14	0,26
88,20	88,10	-0,26	5,97	6,23	6,22	2,58	2,58	1,49	57,88	19,11	2,37	0,12	0,33
84,60	84,51	-0,12	7,41	7,52	7,50	2,66	2,66	1,73	65,01	19,11	2,28	0,12	0,40
77,70	77,64	0,13	9,21	9,08	9,07	2,74	2,74	1,92	70,03	19,10	2,09	0,11	0,49
72,40	72,32	0,37	10,93	10,56	10,54	2,78	2,77	2,07	74,78	19,11	1,95	0,10	0,57
61,20	61,13	0,60	13,01	12,41	12,38	2,78	2,77	2,06	74,28	19,11	1,65	0,09	0,67
54,40	54,36	0,80	14,61	13,81	13,79	2,74	2,74	2,04	74,57	19,10	1,47	0,08	0,74
44,30	44,27	1,02	16,13	15,11	15,09	2,58	2,58	1,82	70,53	19,10	1,19	0,06	0,81
33,10	33,06	1,25	17,57	16,32	16,28	2,35	2,34	1,47	62,68	19,11	0,89	0,05	0,88
21,60	21,58	1,38	18,29	16,91	16,87	2,09	2,08	0,99	47,63	19,11	0,58	0,03	0,91
0,00	0,00	1,85	19,81	17,96	17,92	1,55	1,55	0,00	0,00	19,11	0,00	0,00	0,96

## 7. Gráficos

### 7.1a Isorendimiento v/s Caudal



### 7.1b Potencia v/s Caudal





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

Las condiciones óptimas se alcanzan en el máximo rendimiento global obtenido, en este caso, corresponde a 75,16% a una velocidad de rotación de 2900 [rpm], con un caudal de 71,5 [ $m^3/h$ ], altura de 13,88 [mca] y potencia en el eje de la bomba de 3,58 [kW].

Es necesario destacar que es posible determinar una zona de rendimiento óptimo, en la cual se puede asegurar un rendimiento global superior o igual al 70%, correlacionada con las tres velocidades de rotación medidas.

### 7.1.2 ¿Las curvas tienen la forma esperada?

Efectivamente poseen la forma adecuada, de manera que el ensayo se efectuó de manera satisfactoria. Ahora bien, cabe mencionar que, para una misma altura, se obtienen diferentes caudales dependiendo de la velocidad medida. El caudal se comporta directamente proporcional a la velocidad y se aprecia que el punto de operación óptima seleccionado coincide con la máxima potencia en el eje de la bomba para su velocidad especificada.

### 7.1.3 ¿Cuál es la potencia máxima consumida?

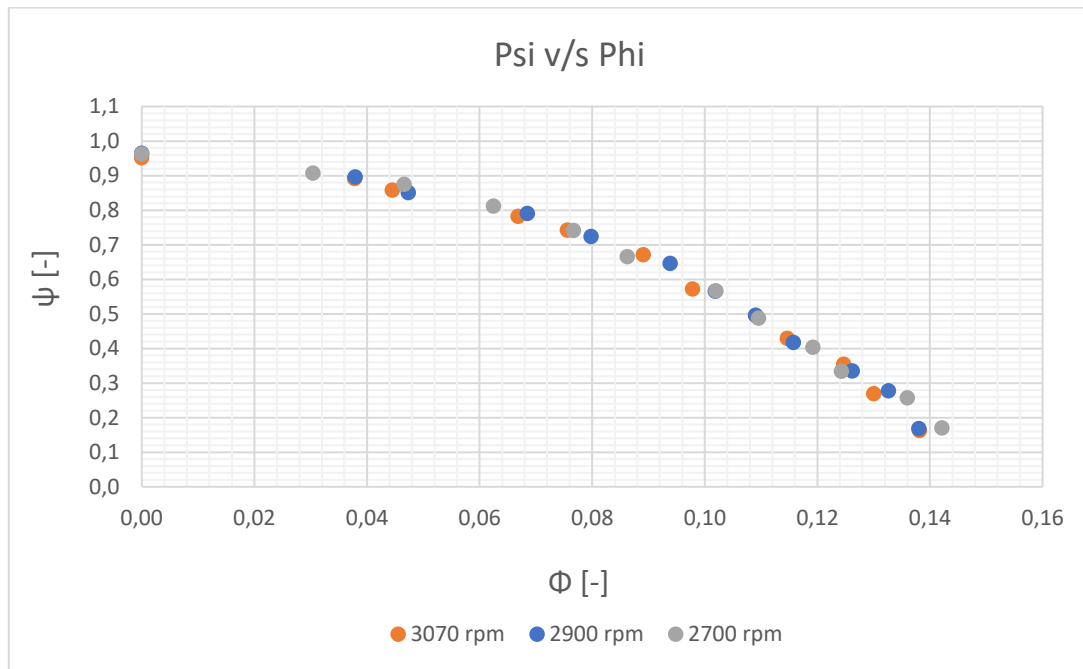
Se obtiene con la magnitud superior de la potencia en el eje de la bomba, coincidiendo con la velocidad mayor en la medición: 3070 [rpm], 16,2 [mca], caudal de 71,91 [ $m^3/h$ ], obteniéndose un valor de potencia correspondiente a 4,31 [kW].

### 7.1.4 ¿Qué tipo de curvas son?

Las curvas Ne-Q se presentan sin sobrecarga, ya que la potencia máxima necesaria se produce en la condición de óptimo rendimiento, por lo que, si existe un incremento o decremento en el caudal, la potencia requerida disminuye a partir de ese punto de referencia.

Las curvas H-Q son ascendentes, vale decir, la altura incrementa siempre a medida que el caudal decrementa. Alcanza su valor máximo de altura con un caudal nulo.

## 7.2 Gráfico $\Psi$ vs $\Phi$



### 7.2.1 ¿La nube de puntos que conforman esta curva son muy dispersos?

No, debido a que estos datos se obtuvieron del mismo equipo, sin modificar la geometría de su rodete. Esto produce curvas similares, a pesar de que se varíe la velocidad de rotación. Previamente se tenía conocimiento de que estos parámetros adimensionales permiten comparar un equipo con otra máquina de prestaciones similares en cuanto a su geometría y comportamiento dinámico.

### 7.2.2 ¿Qué tipo de bomba centrífuga es? Justifique

Se trata de una bomba centrífuga de tipo radial y una sola etapa. Con respecto a su velocidad específica, sabemos que ante una baja velocidad específica se obtiene una altura considerable pero un caudal pequeño. Por lo tanto, debido a la forma ascendente de las curvas H-Q, la velocidad específica se aproxima más a la cota baja que a la cota alta, por lo cual es posible afirmar que se trata de una velocidad específica media debido a que, a pesar de no alcanzar una considerable magnitud en altura y caudal, son suficientes como para determinarlos dentro de un nivel medio.

### 7.2.3 Calcule la velocidad específica y determine si las características constructivas y operacionales son concordantes con la respuesta anterior.

$$Ns = \frac{n \cdot \sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

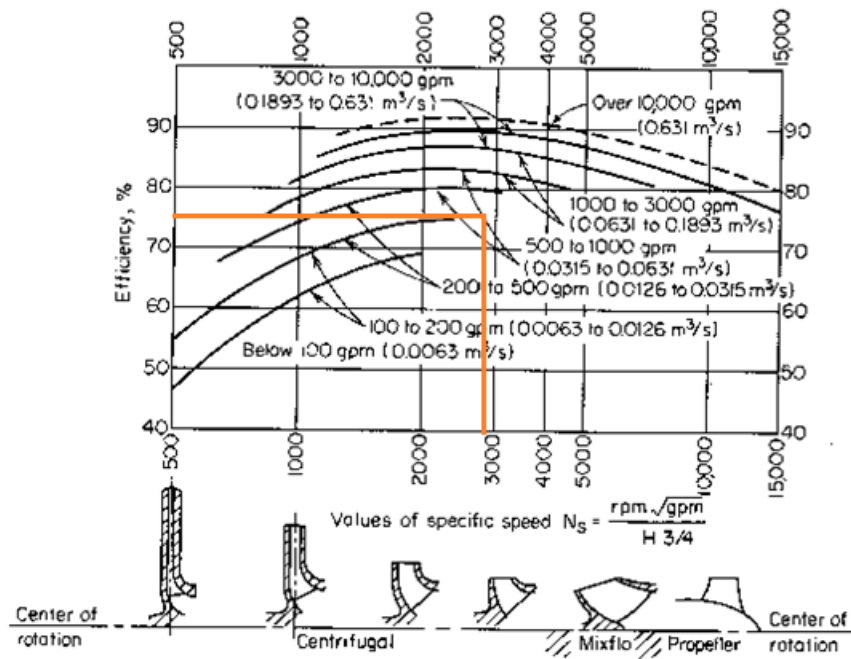
$$n = 2900 \text{ [rpm]}$$

$$Q = 71,5 \left[ \frac{m^3}{h} \right] = 314,81 \text{ [gpm]}$$

$$H = 13,88 \text{ [mca]} = 45,54 \text{ [ft]}$$

$$Ns = 2935,13$$

$$\eta = 75,16 \%$$



Efectivamente coincide el cálculo de velocidad específica con un valor medio correspondiente para una bomba centrífuga, validando lo comentado anteriormente.