

# **ENSAYO N° 13**

## **CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA**

Nombre: Javier Antonio Sanhueza Sandoval.

Asignatura: ICM 557 - 3

Dirigido a Cristóbal Galleguillos Ketterer

Tomás Herrera Muñoz

Fecha: 11 de Diciembre 2020.

## Contenido

1. Objetivos. ....	2
2. Trabajo de laboratorio. ....	2
3. Informe.....	2
Referencia: .....	14

## 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 estabilice 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 [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].

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:

- cpax altura piezométrica del manómetro de aspiración respecto del eje de la bomba
- cpdx altura piezométrica del manómetro de descarga respecto del eje de la bomba

El informe incluye el número del ensayo, la fecha, el título, los objetivos, enumeración y características de los instrumentos utilizados y los puntos siguientes.

## 3. Informe.

Objetivos:

- Caracterizar el comportamiento de una bomba centrífuga.
- Encontrar las principales curvas del equipo M18.

Instalación:

Se emplean dos arreglos para medir la presión por medio de transductores.



**Figura 1:** Arreglo para medir la presión en admisión.



**Figura 2:** Arreglo para medir la presión en escape.



**Figura 3:** válvula de compuerta en escape, regula el caudal de la bomba.



**Figura 4:** Venturímetro conectado a manómetro de columna de mercurio.



**Figura 5:** Motor corriente continua con brazo para medir torque (ventilación no conectada a eje motriz).

### 3.1 Tablas de valores medidos:

Valores medidos						
Nº ensayo	$n_x$ [rpm]	$p_x$ [%]	$p_d$ [%]	$\Delta h_x$ [mmHg]	$F_x$ [kp]	$T$ [°C]
1	3075	89,5	6,5	146	1,54	16
2	3076	92	13,6	133	1,68	16
3	3076	94,8	19,4	118	1,79	16
4	3076	97	24,5	104	1,85	16
5	3077	99,4	29,1	91	1,89	16
6	3078	101,7	34,4	76	1,91	16
7	3078	105,2	41,3	59	1,92	16
8	3078	107,6	46,2	45	1,89	16
9	3078	110	49,2	32	1,83	16
10	3077	112,5	54,4	17	1,69	16
11	3078	114,3	56,9	9	1,55	16
12	3078	120,5	62,1	0	1,13	16

**Tabla 1.** Valores medidos con eje rotando a 3070 rpm.

Valores medidos						
N° ensayo	nx	pax	pdx	$\Delta h_x$	Fx	T
	[rpm]	[%]	[%]	[mmHg]	[kp]	[°C]
1	2903	91,5	6,2	134	1,37	16
2	2903	93,9	12,7	121	1,47	16,5
3	2903	96,3	16,4	109	1,55	16,5
4	2903	98,7	21,4	95	1,62	17
5	2903	100,5	26,1	82	1,65	17
6	2902	103,4	30,5	70	1,68	17
7	2904	105,6	35,5	56	1,69	17
8	2902	108,1	40,2	43	1,68	17
9	2903	110	44,3	30	1,6	17
10	2903	112,3	48,1	17	1,49	17
11	2904	114,6	51,2	8	1,37	17
12	2904	119,5	56,1	0	0,94	17

**Tabla 2.** Valores medidos con eje rotando a 2900 rpm.

Valores medidos						
N° ensayo	nx	pax	pdx	$\Delta h_x$	Fx	T
	[rpm]	[%]	[%]	[mmHg]	[kp]	[°C]
1	2702	94,3	5,8	118	1,16	17
2	2703	96,8	10,5	106	1,24	17
3	2703	98,5	14,5	95	1,3	17
4	2703	100	18,1	84	1,34	17
5	2702	102,4	22,6	72	1,38	17
6	2703	104,8	26,9	60	1,4	17
7	2703	107,1	32,1	47	1,4	17
8	2702	109,1	36,1	35	1,38	17
9	2702	111,3	39,9	23	1,3	17
10	2703	113,6	43,5	11	1,18	17
11	2703	114,9	45,3	5	1,05	17
12	2703	119,6	49,1	0	0,78	17

**Tabla 3.** Valores medidos con eje rotando a 2700 rpm.

### 3.2 Fórmulas:

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:

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

$cpax = 115 \text{ [mm]}$

Presión de descarga:

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

cpdx=165 [mm]

Altura:

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

Altura corregida:

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

Potencia en el eje de la bomba:

$$Nex = 0,0007355 Fxnx \quad [kW]$$

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/m³]

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:

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

### 3.3 Tabla de valores calculados:

Valores calculados 3070 RPM						
Nº ensayo	Qx	Q	Pax	Pdx	Hx	H
	m <sup>3</sup> / h	m <sup>3</sup> / h	m.c.a	m.c.a	m.c.a	m.c.a
1	111,96	111,78	-1,17	2,77	3,93	3,92
2	107,28	107,07	-0,91	5,61	6,52	6,49
3	101,16	100,96	-0,64	7,93	8,56	8,53
4	96,48	96,29	-0,41	9,97	10,38	10,34
5	89,28	89,08	-0,17	11,81	11,98	11,93
6	79,92	79,71	0,06	13,93	13,87	13,80
7	70,20	70,02	0,41	16,69	16,28	16,20
8	61,92	61,76	0,65	18,65	18,00	17,91
9	54,72	54,58	0,89	19,85	18,96	18,86
10	39,60	39,51	1,14	21,93	20,79	20,70
11	28,80	28,73	1,32	22,93	21,61	21,50

**Tabla 4.1.** Valores calculados a 3070 rpm.

Valores calculados 3070 RPM								
Nº ensayo	Nex	Ne	NH	hgl	U2	cm2	phi	psi
	kW	kW	kW	%	m / s	m / s	-	-
1	3,48	3,47	1,19	34,39	21,69	3,01	0,139	0,163
2	3,80	3,78	1,89	50,10	21,69	2,89	0,133	0,271
3	4,05	4,03	2,34	58,21	21,69	2,72	0,126	0,355
4	4,19	4,16	2,71	65,14	21,69	2,60	0,120	0,431
5	4,28	4,25	2,89	68,07	21,69	2,40	0,111	0,497
6	4,32	4,29	2,99	69,79	21,69	2,15	0,099	0,575
7	4,35	4,31	3,09	71,58	21,69	1,89	0,087	0,675
8	4,28	4,25	3,01	70,91	21,69	1,67	0,077	0,747
9	4,14	4,11	2,80	68,17	21,69	1,47	0,068	0,786
10	3,82	3,80	2,23	58,60	21,69	1,07	0,049	0,863
11	3,51	3,48	1,68	48,28	21,69	0,77	0,036	0,896

**Tabla 4.2.** Valores calculados a 3070 rpm. Continuación.



N° ensayo	Qx	Q	Pax	Pdx	Hx	H
	m <sup>3</sup> / h	m <sup>3</sup> / h	m.c.a	m.c.a	m.c.a	m.c.a
1	109,08	108,97	-0,97	2,65	3,61	3,60
2	100,80	100,70	-0,72	5,25	5,97	5,96
3	96,48	96,38	-0,48	6,73	7,21	7,20
4	90,00	89,91	-0,24	8,73	8,97	8,95
5	83,52	83,43	-0,06	10,61	10,67	10,65
6	77,40	77,35	0,23	12,37	12,14	12,12
7	69,48	69,38	0,45	14,37	13,92	13,88
8	61,20	61,16	0,70	16,25	15,55	15,53
9	52,20	52,15	0,89	17,89	17,00	16,96
10	37,08	37,04	1,12	19,41	18,29	18,25
11	26,28	26,24	1,35	20,65	19,30	19,25
12	0,00	0,00	1,84	22,61	20,77	20,71

**Tabla 5.1.** Valores calculados a 2900 rpm.

N° ensayo	Nex	Ne	NH	hgl	U2	cm2	phi	psi
	kW	kW	kW	%	m / s	m / s	-	-
1	2,93	2,92	1,07	36,65	20,49	2,94	0,143	0,168
2	3,14	3,13	1,63	52,19	20,49	2,72	0,133	0,278
3	3,31	3,30	1,89	57,22	20,49	2,60	0,127	0,336
4	3,46	3,45	2,19	63,54	20,49	2,42	0,118	0,418
5	3,52	3,51	2,42	68,86	20,49	2,25	0,110	0,498
6	3,59	3,58	2,55	71,33	20,49	2,09	0,102	0,566
7	3,61	3,59	2,62	72,94	20,49	1,87	0,091	0,649
8	3,59	3,58	2,59	72,25	20,49	1,65	0,080	0,726
9	3,42	3,41	2,41	70,71	20,49	1,41	0,069	0,793
10	3,18	3,17	1,84	58,03	20,49	1,00	0,049	0,853
11	2,93	2,91	1,38	47,19	20,49	0,71	0,035	0,899
12	2,01	2,00	0,00	0,00	20,49	0,00	0,000	0,968

**Tabla 5.2.** Valores calculados a 2900 rpm. Continuación.

N° ensayo	Qx	Q	Pax	Pdx	Hx	H
	m <sup>3</sup> / h	m <sup>3</sup> / h	m.c.a	m.c.a	m.c.a	m.c.a
1	100,80	100,73	-0,69	2,49	3,17	3,17
2	96,12	96,01	-0,44	4,37	4,80	4,79
3	90,72	90,62	-0,26	5,97	6,23	6,22
4	85,68	85,58	-0,12	7,41	7,52	7,50
5	79,92	79,86	0,13	9,21	9,08	9,07
6	72,72	72,64	0,37	10,93	10,56	10,54
7	63,00	62,93	0,60	13,01	12,41	12,38
8	54,72	54,68	0,80	14,61	13,81	13,79
9	46,80	46,77	1,02	16,13	15,11	15,09
10	29,88	29,85	1,25	17,57	16,32	16,28
11	21,60	21,58	1,38	18,29	16,91	16,87
12	0,00	0,00	1,85	19,81	17,96	17,92

**Tabla 6.1.** Valores calculados a 2700 rpm.

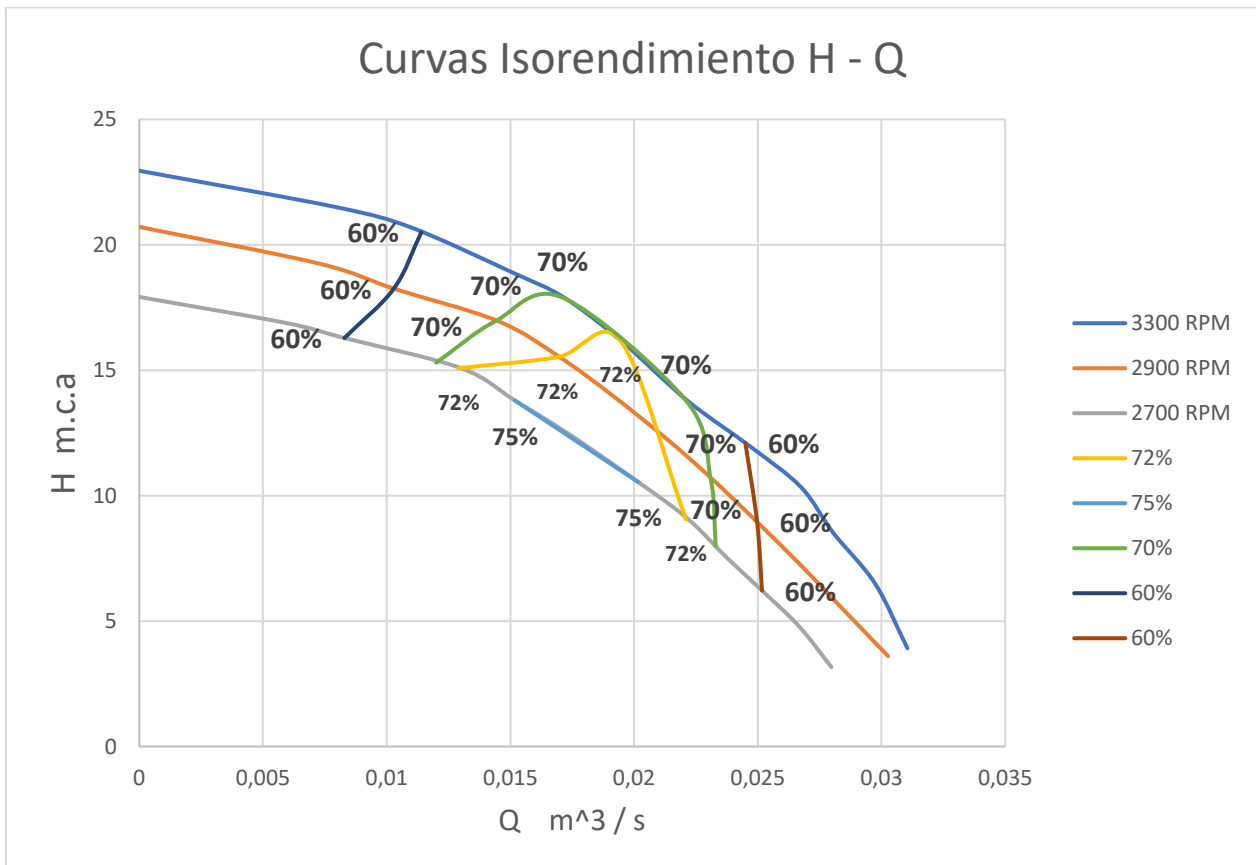
N° ensayo	Nex	Ne	NH	hgl	U2	cm2	phi	psi
	kW	kW	kW	%	m / s	m / s	-	-
1	2,31	2,30	0,87	37,73	19,08	2,72	0,142	0,171
2	2,47	2,46	1,25	50,95	19,08	2,59	0,136	0,258
3	2,58	2,58	1,53	59,53	19,08	2,44	0,128	0,335
4	2,66	2,66	1,75	65,84	19,08	2,31	0,121	0,404
5	2,74	2,74	1,97	72,03	19,08	2,15	0,113	0,489
6	2,78	2,77	2,08	75,11	19,08	1,96	0,103	0,568
7	2,78	2,77	2,12	76,47	19,08	1,70	0,089	0,667
8	2,74	2,74	2,05	75,01	19,08	1,47	0,077	0,743
9	2,58	2,58	1,92	74,51	19,08	1,26	0,066	0,813
10	2,35	2,34	1,32	56,59	19,08	0,80	0,042	0,878
11	2,09	2,08	0,99	47,63	19,08	0,58	0,031	0,909
12	1,55	1,55	0,00	0,00	19,08	0,00	0,000	0,966

**Tabla 6.2.** Valores calculados a 2700 rpm. Continuación.

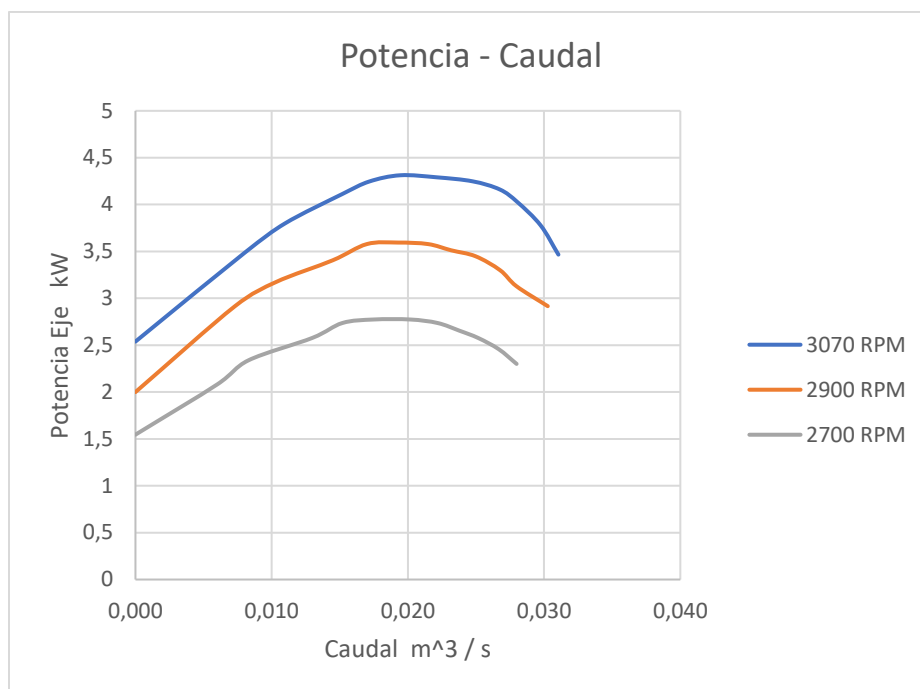
### 3.4 Gráficos.

Trace los siguientes gráficos en una hoja completa:

#### 3.4.1 De isorendimiento y potencia vs caudal.



**Gráfico 1.** Curvas isorendimiento H – Q.



**Gráfico 2.** Curvas de potencia a 3070,2900,2700 RPM,  $P - Q$ .

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

La bomba alcanza la mayor eficiencia operando a 2700 RPM con caudales entre 0.015 – 0.020 m³/s.

3.4.1.2. ¿Las curvas tienen la forma esperada?

La forma de las curvas y las magnitudes son las esperadas de una bomba centrífuga, es importante notar que la condición de operación está fuera de la curva nominal a 2900 RPM situándose a una velocidad de 2700 RPM, a mis ojos esto se puede deber al desgaste del equipo que incurre en mayores pérdidas al incrementar la velocidad del eje motriz.

3.4.1.3. ¿Cuál es la potencia máxima consumida?

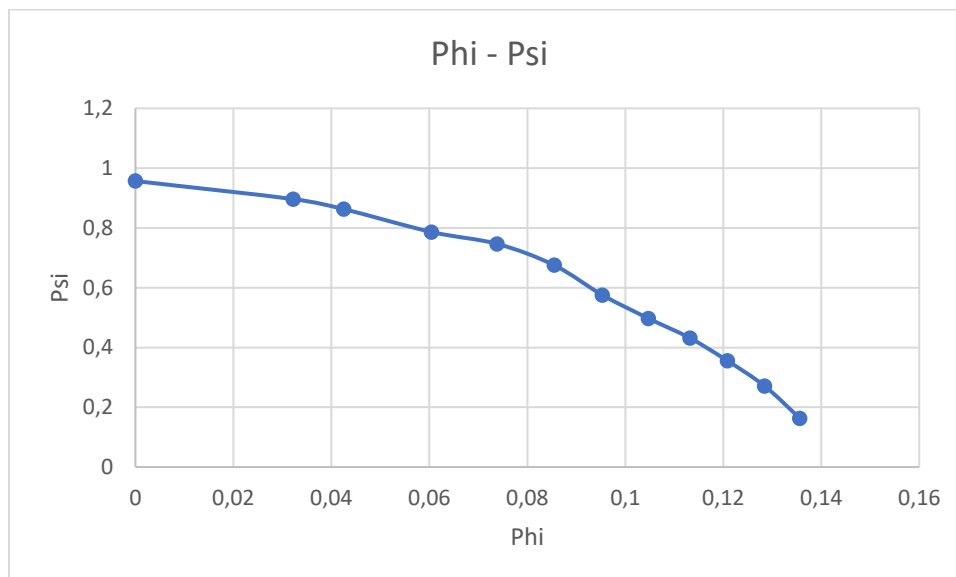
Es de esperar que el máximo consumo de potencia ocurra girando a 3070 RPM, se calcula que se consumen 4.31 kW como máximo en este respectivo ensayo.

3.4.1.4. ¿Qué tipo de curvas son?

Son curvas que se pueden describir por polinomios de orden superior, tienen forma paraboloide alcanzando un peak de performance en la zona cercana al máximo consumo de la bomba.

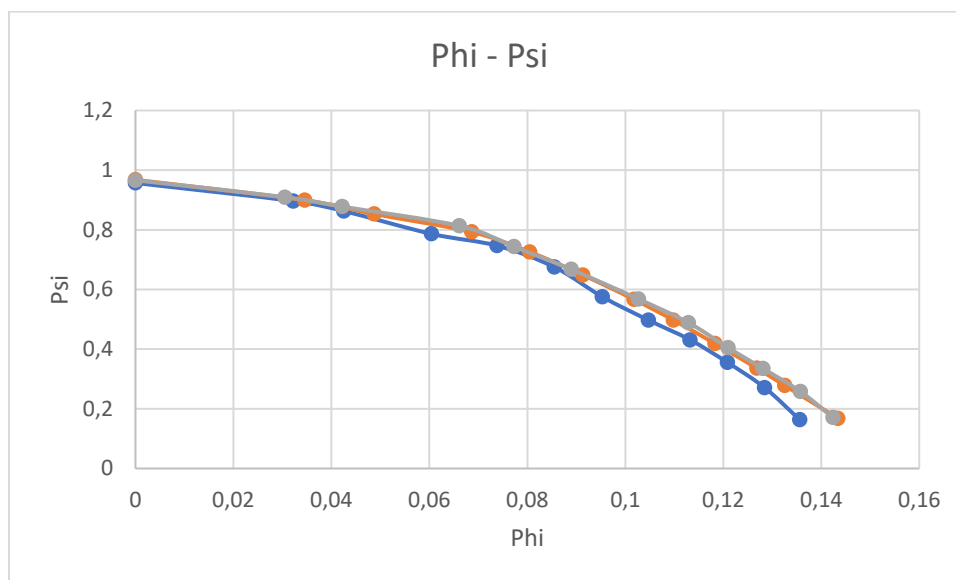
Trace el siguiente gráfico en una hoja completa:

### 3.4.2. Curva $\Psi$ vs $\Phi$ .



**Gráfico 3.1** Curvas  $\Phi$  –  $\Psi$  promedio.

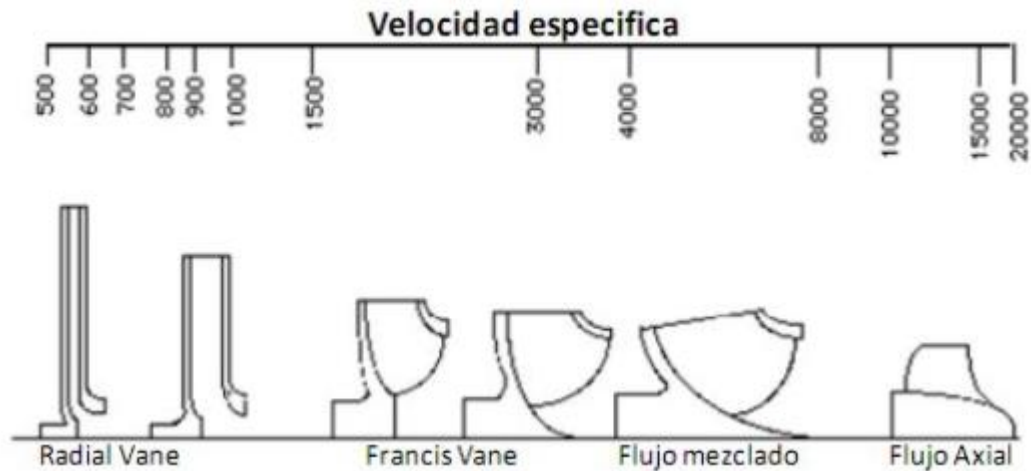
#### 3.4.2.1. ¿La nube de puntos que conforman esta curva son muy dispersos?



**Gráfico 3.1** Curvas  $\Phi$  –  $\Psi$  a distintas RPM, baja dispersión de datos.

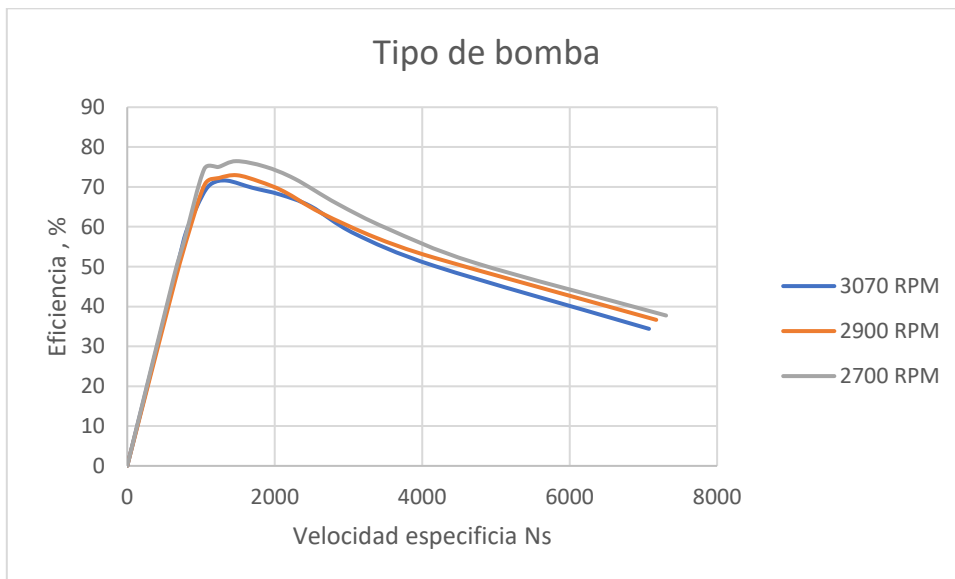
#### 3.4.2.2. Al observar todas las curvas anteriores ¿Qué tipo de bomba centrífuga es? Justifíquelo.

Dada la forma de las curvas calculadas y graficadas en el presente informe se infiere que el comportamiento de la bomba corresponde a una de alabes tipo francis, esto se justifica por el caudal movilizado, la eficiencia de la maquina y la velocidad específica, todas las curvas referentes al comportamiento de la maquina presentan poca dispersión respecto a la RPM del eje.

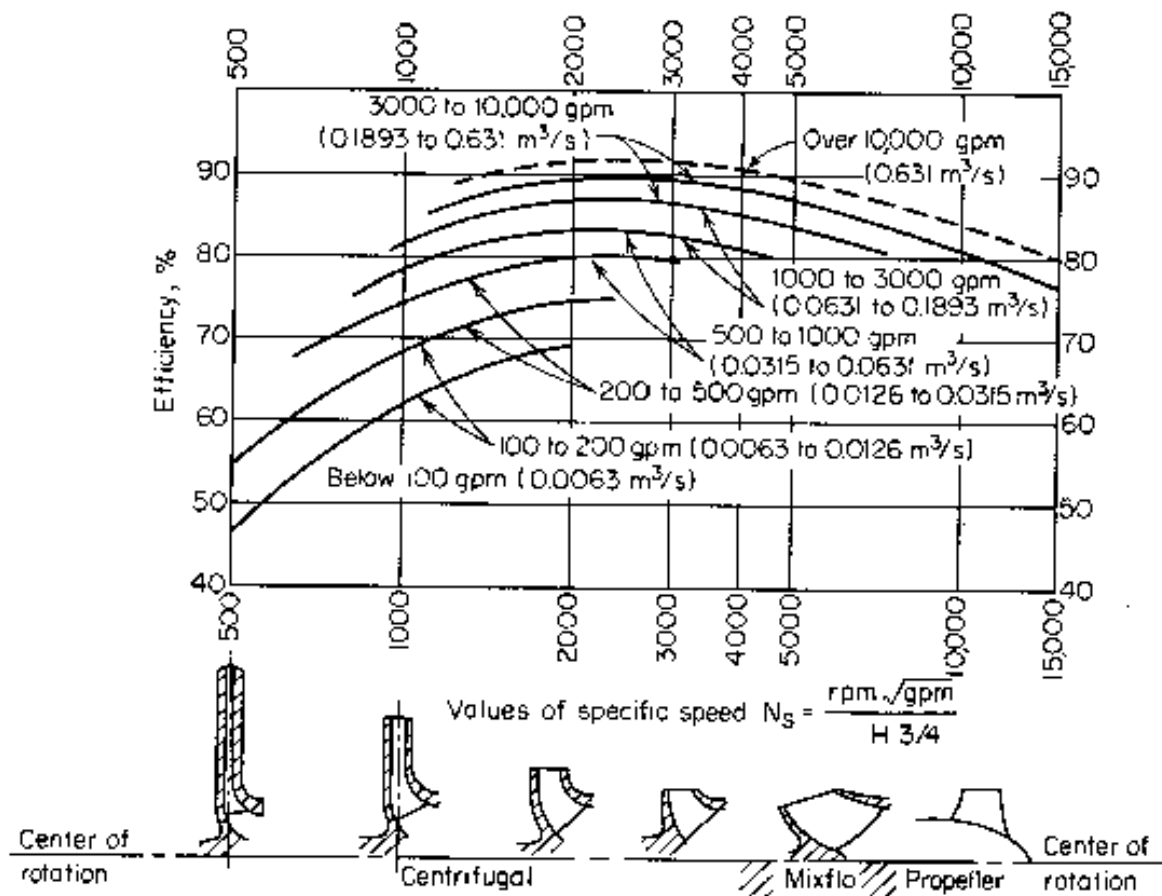


**Figura 6:** Clasificación de bombas centrífugas de acuerdo a la velocidad específica. Universidad Politécnica de Ingeniería Mecánica De Chiapas.

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 3.4.3.2.



**Gráfico 4.** Caracterización de bomba centrífugas de acuerdo a la velocidad específica y eficiencia.



**Figura 7:** Clasificación de bombas centrifugas de acuerdo a la velocidad específica y eficiencia.

Según los cálculos y gráficos todas las suposiciones de la geometría del alabe parecen ser correctas, siendo esta una bomba centrifuga tipo francis que alcanza una eficiencia de 75% operando con una  $N_s$  cercana a 1800.

## Referencia:

Apunte de bombas y piping. 2011. Universidad Politécnica de Ingeniería Mecánica De Chiapas.