

Sesión N° 9

Ensayo curvas características de una bomba
centrifuga

Laboratorio de Máquinas (ICM 557)

Segundo Semestre 2020

Profesores: Cristóbal Galleguillos

Tomas Herrera

Ayudante: Ignacio Ramos

Paralelo: 3

Nombre: 8501

Fecha:

11 de diciembre del 2020

1 Resumen

Se presenta un resumen de las conclusiones del análisis obtenido de una bomba centrífuga.

- Se estudia una bomba Francis Helicoidal.
- El máximo rendimiento se obtiene cuando la bomba opera a 2700 [rpm] con un caudal de $43,15[\frac{m^3}{h}]$ obteniéndose un Isorendimiento de 81,81%.
- Se sugiere un funcionamiento de la bomba lo mas cerca posible de su mejor punto de eficiencia, de esta forma se maximiza la vida útil de los componentes y obtener un desgaste mínimo.

2 Índice

Contenido

1 Resumen	3
2 Índice	4
3 Introducción	5
4 Objetivos.....	6
5 Metodología/Procedimientos.....	7
6 Resultados.....	8
6.1 Isorendimiento vs Caudal.	8
6.2 Curva de potencia vs caudal	9
6.3 Φ v/s Ψ	10
6.4 Velocidad especifica.....	11
7 Conclusión.	12
8 Referencias.....	13
9 Anexo	14
9.1 Formulas:	14
9.2 Tablas	16
9.2.1 Datos del ensayo de una bomba centrifuga.	16
9.2.2 Datos calculados.....	18
9.2.3 Gráfico del venturímetro.....	20

3 Introducción

El presente informe busca analizar el comportamiento de una bomba centrífuga a distintas RPM.

El estudio y posterior análisis de una de las bombas más solicitadas en la industria se logrará mediante los datos proporcionados en la experiencia previa.

4 Objetivos

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

Preguntas a responder:

- Graficar: De isorendimiento y potencia vs caudal.
 - ¿Cuáles son las condiciones óptimas de operación de esta bomba?
 - ¿Las curvas tiene la forma esperada?
 - ¿Cuál es la potencia máxima consumida?
 - ¿Qué tipo de curvas son?
- Graficar: Curva Ψ vs Φ
 - ¿La nube de puntos que conforman esta curva son muy dispersos?
 - Al observar todas las curvas anteriores ¿Qué tipo de bomba centrífuga es? Justifíquelo.
 - 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.

5 Metodología/Procedimientos.

Para la realización de la experiencia se siguieron los siguientes pasos:

- 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 del ensayo [rpm]

n_x : velocidad de la bomba [rpm]

pax%: presión de aspiración [%]

pdx%: presión de descarga [%]

Δh_x : caudal de la bomba, presión diferencial en el venturímetro [mm_{Hg}]

Fx: fuerza medidas 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.

Medición de los valores siguientes:

cpax: altura piezométrica del manómetro de aspiración respecto del eje de la bomba, en [mm].

cpdx: altura piezométrica del manómetro de descarga respecto del eje de la bomba, en [mm].

Para los cálculos correspondientes se utilizaron las fórmulas del anexo 9.1 y las tablas del anexo 9.2.

6 Resultados.

En esta sección se presentarán los resultados obtenidos del ensayo realizado a una bomba centrífuga sometida a distintas condiciones de operación.

6.1 Isorendimiento vs Caudal.

En la Grafico1 se representan la Isodermico vs Caudal₁ para distintos valores de rpm.

Para 3070 [rpm]:

- En este se aprecia que el máximo rendimiento se alcanza a los 69,19% a un caudal de $78,99[\frac{m^3}{h}]$.

Para 2900 [rpm]:

- En este se aprecia que el máximo rendimiento se alcanza a los 71,23% a un caudal de $86,31[\frac{m^3}{h}]$.

Para 2700 [rpm]:

- En este se aprecia que el máximo rendimiento se alcanza a los 81,81% a un caudal de $43,15[\frac{m^3}{h}]$.

Se observa que el máximo rendimiento se obtiene cuando la bomba opera a 2700 [rpm] con un caudal de $43,15[\frac{m^3}{h}]$ obteniéndose un Isorendimiento de 81,81%.

Se observa una curva con trayectoria parabólica, la cual al llegar a su punto de máximo rendimiento desciende. Su apariencia se debe a la disminución del caudal contra la presión.

Se observa que las curvas obtenidas son las esperadas. Las variaciones generadas son producto de la variación de la altura respecto al caudal Qx obtenidas del grafico del Venturimetro¹.

¹ Dato obtenido del Grafico 4, Aneo 2.

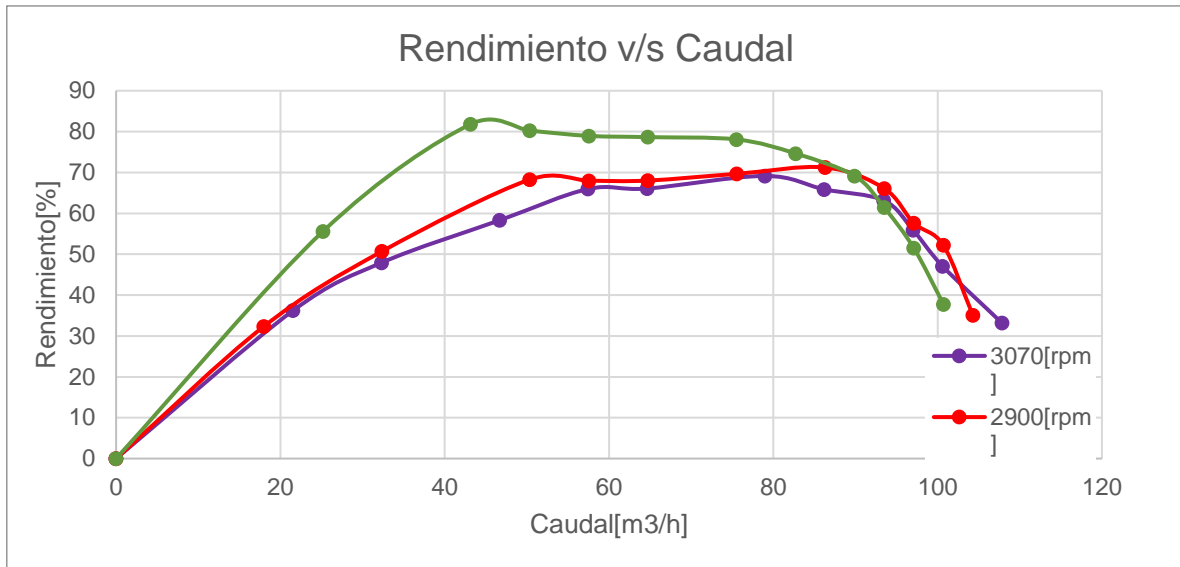


Gráfico1: Representación de Isorendimientos a determinados caudales para cada variación de rpm ensayado.

6.2 Curva de potencia vs caudal

En la Gráfico2 se representan la potencia vs Caudal₁ para distintos valores de rpm.

Para 3070 [rpm]:

- En este se aprecia que la potencia máxima se alcanza a los 4,31 [KW] a un caudal de 64,63 [$\frac{m^3}{h}$].

Para 2900 [rpm]:

- En este se aprecia que la potencia máxima se alcanza a los 3,59 [KW] a un caudal de 64,71 [$\frac{m^3}{h}$].

Para 2700 [rpm]:

- En este se aprecia que la potencia máxima se alcanza a los 2,77 [KW] a un caudal de 64,72 [$\frac{m^3}{h}$].

Se observa que el máximo rendimiento se obtiene cuando la bomba opera a 3070 [rpm] con un caudal de 64,63 [$\frac{m^3}{h}$] obteniéndose una potencia de 4,31[KW].

Se observa una curva con trayectoria parabólica, la cual al llegar a su punto de máxima potencia desciende. Su apariencia se debe a la disminución del caudal contra la presión.

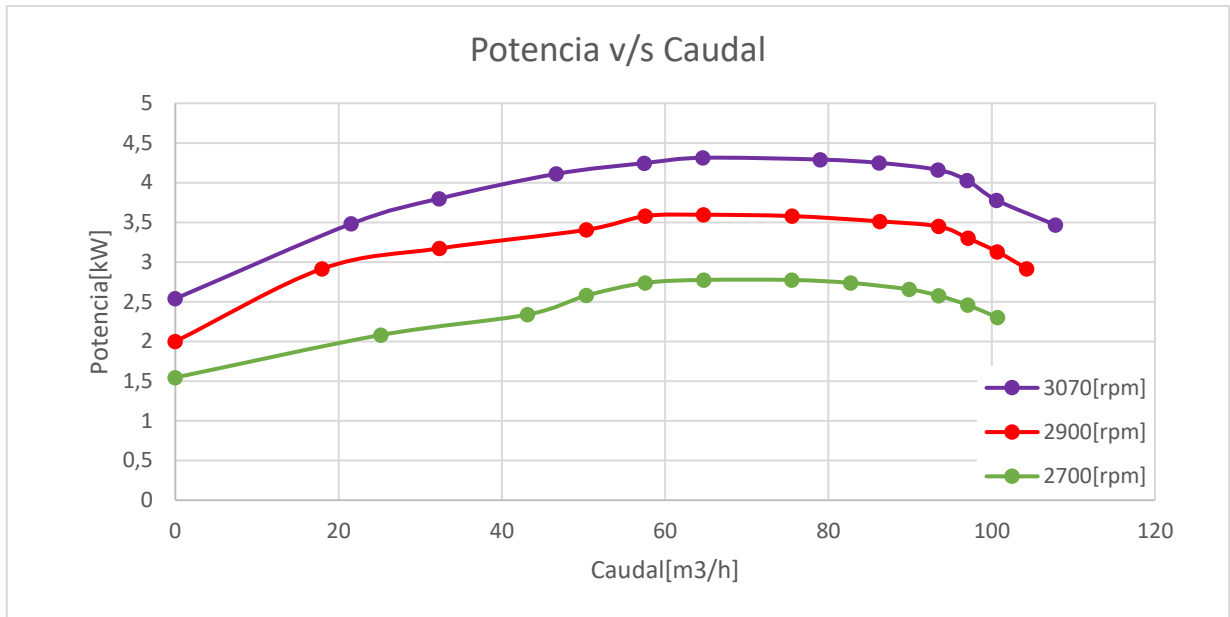


Grafico2: Representación de potencia eléctrica a determinados caudales para cada variación de rpm ensayado.

6.3 Φ v/s Ψ

En la Grafico3 se representan la Φ v/s Ψ para distintos valores de rpm.

Los coeficientes de carga y capacidad para los distintos rpm estudiados son coincidentes. Muestran una dispersión no mayor a 0,084[-] entre las curvas lo cual era de esperar al tratarse del mismo fluido de trabajo.

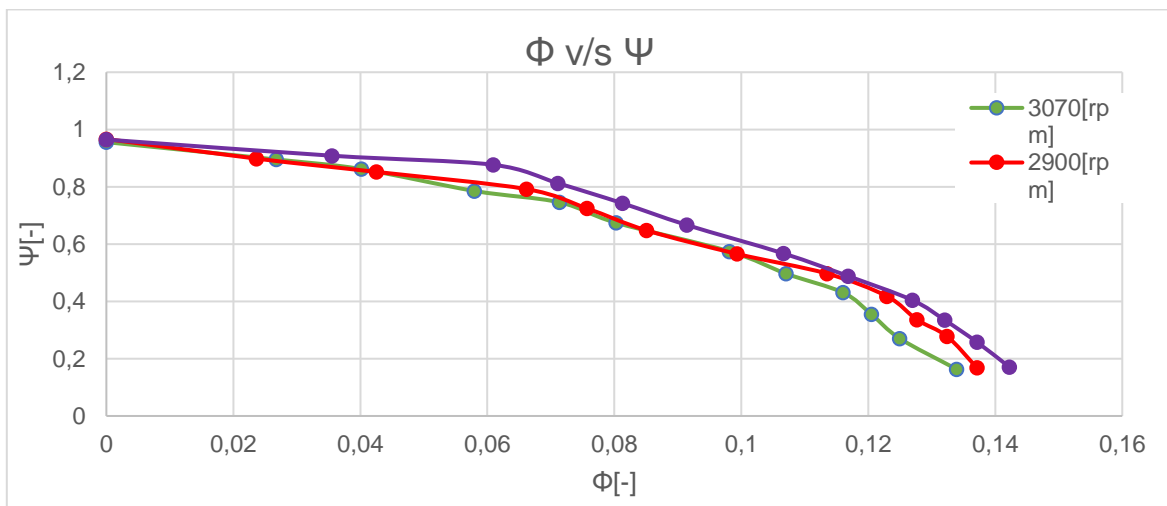


Grafico3: Representación Φ v/s Ψ para cada variación de rpm ensayado.

6.4 Velocidad específica

En la tabla 3 se ven representados diversas velocidades específicas para las variaciones de rpm analizadas.

Se observa a partir del Grafico 1 que el punto óptimo se logra a los 2700[rpm]. En la tabla 3 la velocidad específica para el punto óptimo en la columna correspondiente a los rpm dichos es de 75,33.

Se puede inferir de acuerdo a los datos obtenidos y según la clasificación de bombas según su N_s , que se estudia una bomba Francis Helicoidal.

N_s	N_s	N_s
3070[rpm]	2900[rpm]	2700[rpm]
135,39761	125,78761	115,09259
130,78526	123,59983	112,99777
128,42857	121,37262	110,88548
126,02783	119,10378	108,73216
121,06394	114,43121	104,31152
115,89107	107,05903	99,65467
104,82742	99,08327	92,26230
98,83224	93,44879	87,00182
89,08617	87,39828	81,38275
74,13622	70,07452	75,33185
60,52214	52,22147	57,53565
0,00000	0,00000	0,00000

Tabla3: Tabla de velocidades específicas para distintos rpm ensayados:

7 Conclusión.

- Al analizar los valores calculados se ratifica que se estudia una bomba Francis Helicoidal.
- El máximo rendimiento se obtiene cuando la bomba opera a 2700 [rpm] con un caudal de $43,15[\frac{m^3}{h}]$ obteniéndose un Isorendimiento de 81,81%.
- Se sugiere un funcionamiento de la bomba lo mas cerca posible de su mejor punto de eficiencia, de esta forma se maximiza la vida útil de los componentes y obtener un desgaste mínimo.
- El máximo rendimiento se obtiene cuando la bomba opera a 3070 [rpm] con un caudal de $64,63[\frac{m^3}{h}]$ obteniéndose una potencia de 4,31[KW].
- Los coeficientes de carga y capacidad nos brindan una comparación para resolver las limitantes existentes para calcular y diseñar bombas centrífugas en la manipulación de fluidos con propiedades diferentes a las del agua.

8 Referencias.

- Determinación de los coeficientes de carga y capacidad para bombas centrífugas que manipulan fluidos con propiedades diferentes a las del agua PPT IME 447 Ventilador Radial, proporcionado en clases. << Universidad Autónoma del Estado de México México>>
- Curva característica de la bomba centrífuga
 - <https://www.debem.com/es/curva-caracteristica-de-bomba-centrifuga/>
 - https://www.northridgepumps.com/article-261_como-leer-la-curva-de-rendimiento-de-una-bomba
- Texto guía:
 - Termodinámica 6th edición, Yunus A. Cengel.

9 Anexo

9.1 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:

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

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

Presión de descarga:

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

$cpdx = 165 \text{ [mm]}$

Altura:

$$H_x = -pax + pdx \left[m_{ca} \right]$$

Altura corregida:

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

Potencia en el eje de la bomba:

$$Nex = 0,0007355 F_x n_x \left[kW \right]$$

Potencia en el eje de la bomba corregida:

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

Potencia hidráulica:

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

γ 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:

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

Error experimental (2):

Para el cálculo de errores experimentales se utilizó la siguiente formula:

$$\text{Error} = \frac{\text{valor experimental} - \text{valor teorico}}{\text{valor teorico}} * 100$$

9.2 Tablas

9.2.1 Datos del ensayo de una bomba centrífuga.

3070 [rpm]										
	n	cpax	cpdx	nx	pax	pdx	Δh_x	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

2900 [rpm]										
	n	cpax	cpdx	nx	pax	pdx	Δh_x	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

2700 [rpm]										
	n	cpax	cpdx	nx	pax	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

Tabla1: Los valores medidos en la prueba de ensayo de una bomba centrífuga a distintos rpm.

9.2.2 Datos calculados.

3070 [rpm]														
	Qx	Q	pax	pdx	Hx	H	Nex	Ne	Nh	η_{el}	U_2	cm_2	Φ	ψ
	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[mca]	[mca]	[mca]	[mca]	[kW]	[kW]	[kW]	[%]	[m/s]	[m/s]	[-]	[-]
1	108	107,8244	-1,1650	2,765	3,93	3,91723	3,48296	3,46600	1,14979	33,17351	21,70055	2,90619	0,13392	0,16315
2	100,8	100,6034	-0,9150	5,605	6,52	6,49459	3,80083	3,77863	1,77864	47,07100	21,70055	2,71157	0,12495	0,27050
3	97,2	97,0104	-0,6350	7,925	8,56	8,52664	4,04969	4,02604	2,25175	55,92958	21,70055	2,61472	0,12049	0,35513
4	93,6	93,4174	-0,4150	9,965	10,38	10,33955	4,18344	4,16099	2,62938	63,19112	21,70055	2,51788	0,11603	0,43064
5	86,4	86,2034	-0,1750	11,805	11,98	11,92555	4,27732	4,24820	2,79851	65,87523	21,70055	2,32344	0,10707	0,49669
6	79,2	78,9942	0,0850	13,925	13,87	13,79799	4,32399	4,29036	2,96712	69,15770	21,70055	2,12913	0,09811	0,57468
7	64,8	64,6316	0,4050	16,685	16,28	16,19548	4,34663	4,31282	2,84946	66,06941	21,70055	1,74202	0,08028	0,67453
8	57,6	57,4503	0,6450	18,645	18	17,90655	4,27871	4,24544	2,80045	65,96377	21,70055	1,54846	0,07136	0,74580
9	46,8	46,6784	0,8850	19,845	18,96	18,86157	4,14288	4,11066	2,39672	58,30494	21,70055	1,25812	0,05798	0,78557
10	32,4	32,3263	1,1350	21,925	20,79	20,69552	3,82470	3,79865	1,82119	47,94311	21,70055	0,87129	0,04015	0,86196
11	21,6	21,5439	1,3150	22,925	21,61	21,49781	3,50900	3,48171	1,26079	36,21172	21,70055	0,58067	0,02676	0,89537
12	0	0,00000	1,9950	25,005	23,07	22,95023	2,55817	2,53828	0,00000	0,00000	21,70055	0,00000	0,00000	0,95586
2900 [rpm]														
	Qx	Q	pax	pdx	Hx	H	Nex	Ne	Nh	η_{el}	U_2	cm_2	Φ	ψ
	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[mca]	[mca]	[mca]	[mca]	[kW]	[kW]	[kW]	[%]	[m/s]	[m/s]	[-]	[-]
1	104,4	104,292112	-0,965	2,645	3,61	3,60254	2,92516	2,91611	1,02278	35,07365	20,49889	2,81099	0,13713	0,16815
2	100,8	100,695832	-0,725	5,245	5,97	5,95767	3,13868	3,12896	1,63309	52,19290	20,49889	2,71406	0,13240	0,27808
3	97,2	97,0995522	-0,485	6,725	7,21	7,19511	3,30949	3,29924	1,90186	57,64527	20,49889	2,61713	0,12767	0,33584
4	93,6	93,5032725	-0,245	8,725	8,97	8,95147	3,45895	3,44824	2,27848	66,07652	20,49889	2,52020	0,12294	0,41782
5	86,4	86,3107131	-0,065	10,605	10,67	10,64796	3,52301	3,51210	2,50181	71,23412	20,49889	2,32634	0,11349	0,49700
6	75,6	75,547898	0,225	12,365	12,14	12,12327	3,58583	3,57842	2,49325	69,67463	20,49889	2,03624	0,09933	0,56586
7	64,8	64,7107438	0,445	14,365	13,92	13,88168	3,60966	3,59476	2,44536	68,07551	20,49889	1,74415	0,08509	0,64794
8	57,6	57,5603032	0,695	16,245	15,55	15,52857	3,58583	3,57842	2,43320	67,99658	20,49889	1,55142	0,07568	0,72481
9	50,4	50,3479159	0,885	17,885	17	16,96488	3,41825	3,40567	2,32518	68,27368	20,49889	1,35703	0,06620	0,79185
10	32,4	32,3665174	1,115	19,405	18,29	18,25222	3,18138	3,17153	1,60818	50,70681	20,49889	0,87238	0,04256	0,85193
11	18	17,9752066	1,345	20,645	19,3	19,24687	2,92617	2,91410	0,94180	32,31867	20,49889	0,48449	0,02363	0,89836
12	0	0	1,835	22,605	20,77	20,71282	2,00774	1,99945	0,00000	0,00000	20,49889	0,00000	0,00000	0,96678

2700 [rpm]														
	Qx [m ³ /h]	Q [m ³ /h]	pax [m _{ca}]	pdx [m _{ca}]	Hx [m _{ca}]	H [m _{ca}]	Nex [kW]	Ne [kW]	Nh [kW]	η _d [%]	U ₂ [m/s]	cm ₂ [m/s]	Φ [-]	ψ [-]
1	100,8	100,725389	-0,685	2,485	3,17	3,16531	2,30529	2,30018	0,86792	37,73265	19,08518	2,71485	0,14225	0,17044
2	97,2	97,0921199	-0,435	4,365	4,8	4,78935	2,46519	2,45699	1,26586	51,52057	19,08518	2,61693	0,13712	0,25789
3	93,6	93,4961154	-0,265	5,965	6,23	6,21618	2,58447	2,57588	1,58212	61,42079	19,08518	2,52000	0,13204	0,33472
4	90	89,900111	-0,115	7,405	7,52	7,50332	2,66400	2,65514	1,83627	69,15927	19,08518	2,42308	0,12696	0,40403
5	82,8	82,7387121	0,125	9,205	9,08	9,06656	2,74250	2,73642	2,04209	74,62643	19,08518	2,23006	0,11685	0,48820
6	75,6	75,5160932	0,365	10,925	10,56	10,53657	2,78328	2,77402	2,16602	78,08229	19,08518	2,03539	0,10665	0,56736
7	64,8	64,7280799	0,595	13,005	12,41	12,38247	2,78328	2,77402	2,18184	78,65269	19,08518	1,74462	0,09141	0,66675
8	57,6	57,5573649	0,795	14,605	13,81	13,78956	2,74250	2,73642	2,16060	78,95736	19,08518	1,55135	0,08129	0,74252
9	50,4	50,3626943	1,015	16,125	15,11	15,08764	2,58352	2,57778	2,06849	80,24301	19,08518	1,35743	0,07112	0,81242
10	43,2	43,1520533	1,245	17,565	16,32	16,28379	2,34591	2,33810	1,91285	81,81195	19,08518	1,16308	0,06094	0,87683
11	25,2	25,1720311	1,375	18,285	16,91	16,87248	2,08746	2,08052	1,15617	55,57119	19,08518	0,67846	0,03555	0,90853
12	0	0	1,845	19,805	17,96	17,92016	1,55068	1,54553	0,00000	0,00000	19,08518	0,00000	0,00000	0,96494

Tabla2: Datos calculados que representan los distintos valores con sus respectivas normalizaciones.

9.2.3 Gráfico del venturímetro.

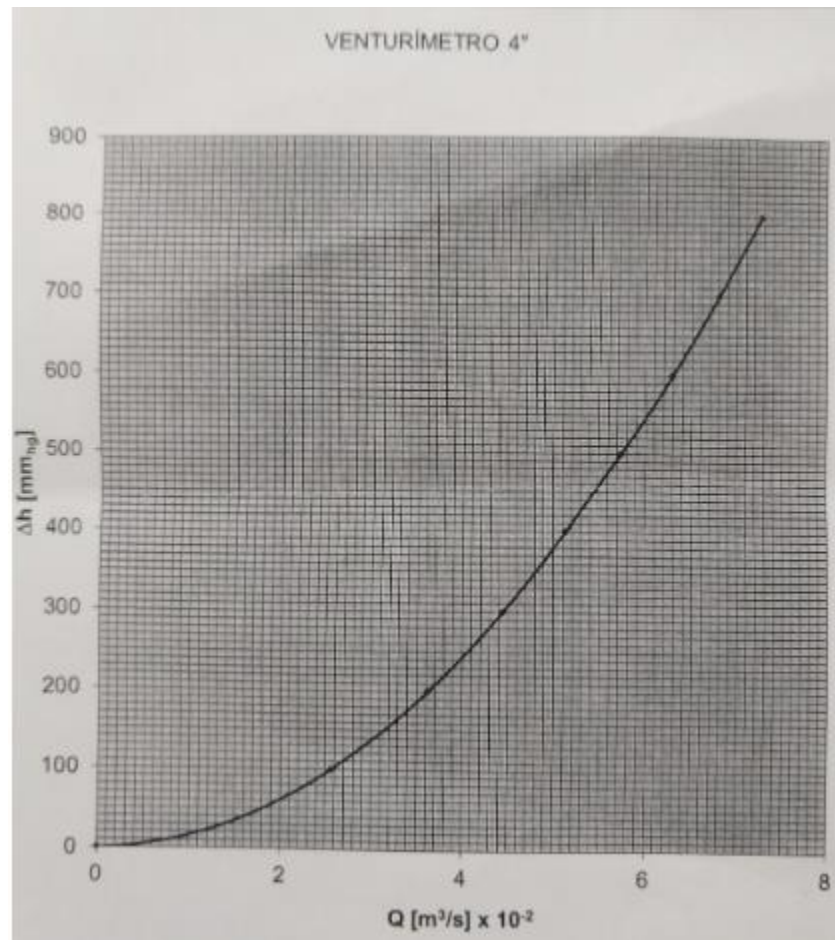


Grafico4: Diferencia de alturas vs caudal.