

Sesión N° 10

Ensayo de Cavitación

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 del ensayo de cavitación.

- Al analizar los valores calculados se ratifica que se estudia una bomba Francis Helicoidal.
- El NPSH de una bomba centrífuga es generalmente estable en el lado izquierdo del eje, donde una bomba produce la presión más alta y el caudal más bajo.
- Después del Punto de mejor eficiencia, la curva NPSH aumenta constantemente antes de aumentar bruscamente al final de la curva de rendimiento donde la bomba cavitará si se opera.

2 Índice

Contenido

1 Resumen	2
2 Índice	3
3 Introducción	4
4 Objetivos.....	5
5 Metodología/Procedimientos.....	6
6 Resultados.....	8
6.1 Altura vs Caudal.	8
6.2 Curvas de N , N_e , η_{gl} y CNSPD	9
6.3 CNSPR vs Caudal.....	10
7 Conclusión.	12
8 Referencias.....	13
9 Anexo	14
9.1 Formulas:	14
9.1.1 Velocidad:.....	14
9.1.2 Columna neta de succión positiva disponible, CNSPD:.....	14
9.1.3 Columna neta de succión positiva disponible, CNSPR:.....	14
9.1.4 Error experimental (2):	14
9.2 Tablas	15
9.2.1 Datos del ensayo de una bomba centrífuga.	15
9.2.2 Datos calculados.....	17
9.2.3 Gráfico del venturímetro.....	19

3 Introducción

En el presente informe se estudiará el punto en el cual se genera la cavitación de una bomba centrífuga a partir de la grafica CNSPR.

4 Objetivos

Determinar la curva de columna neta de succión positiva requerida, CNSPR, de una bomba centrífuga.

Preguntas a responder:

- Con los valores del ensayo anterior, trace la curva característica de la bomba para la velocidad ensayada y sobreponga los nuevos valores de altura y caudal obtenidos.
- ¿Qué significan las desviaciones que se producen?
- Trace tantos gráficos como series de mediciones se hayan realizado. En la ordenada H , N_e en [%] respecto al valor sin cavitación y η_{gl} , y en la abscisa la CNSPD.
- ¿Cómo determina la CNSPD crítica y qué representa?
- Grafique la CNSPR en función del caudal
 - ¿La curva obtenida tiene la forma característica?
 - ¿De acuerdo a la velocidad específica de esta bomba los valores de la CNSPR son apropiados?

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, esperar un tiempo prudente para que se estabilice la operación de la bomba, estrangular, parcialmente, la descarga para situarse en un punto de la curva característica de la bomba ligeramente separada de su extremo derecho. A continuación, tome las siguientes medidas:

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 en el venturímetro [mm_{Hg}]

F_x : fuerza medidas en la balanza [Kp]

t_a : temperatura de agua en el estanque [$^{\circ}C$]

P_{atm} : presión atmosférica [mm_{Hg}]

Finalizada esta, estrangular la válvula de aspiración haciendo disminuir la presión de aspiración y el caudal en un valor indicado por el profesor. A continuación, restablecer el caudal al valor original abriendo la válvula de descarga. Y se realizan las mediciones efectuadas anteriormente.

El procedimiento se repite tantas veces como sea necesario hasta alcanzar plena cavitación.

Terminado lo anterior, se procede de igual manera para otros puntos de curva convenientemente seleccionados.

- Medición de los valores siguientes:
 - cp_{ax} : altura piezométrica del manómetro de aspiración respecto del eje de la bomba, en [mm].
 - cp_{dx} : 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 Altura vs Caudal.

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

Se observan desviaciones en los diferentes puntos analizados, esto se debe a pérdidas de potencia debido a cavitaciones. Las secciones donde la presión absoluta son muy bajas generan una vaporización instantánea del fluido de trabajo, seguida rápidamente por una condensación. Las burbujas que se crean por este suceso terminan erosionando el interior afectando a las partes mecánicas debido a las altas presiones.

Se observa que las cavitaciones surgen a medida que se sigue estrangulando la válvula de descarga. Este estrangulamiento genera inestabilidad en el caudal propiciando el inicio de la cavitación.

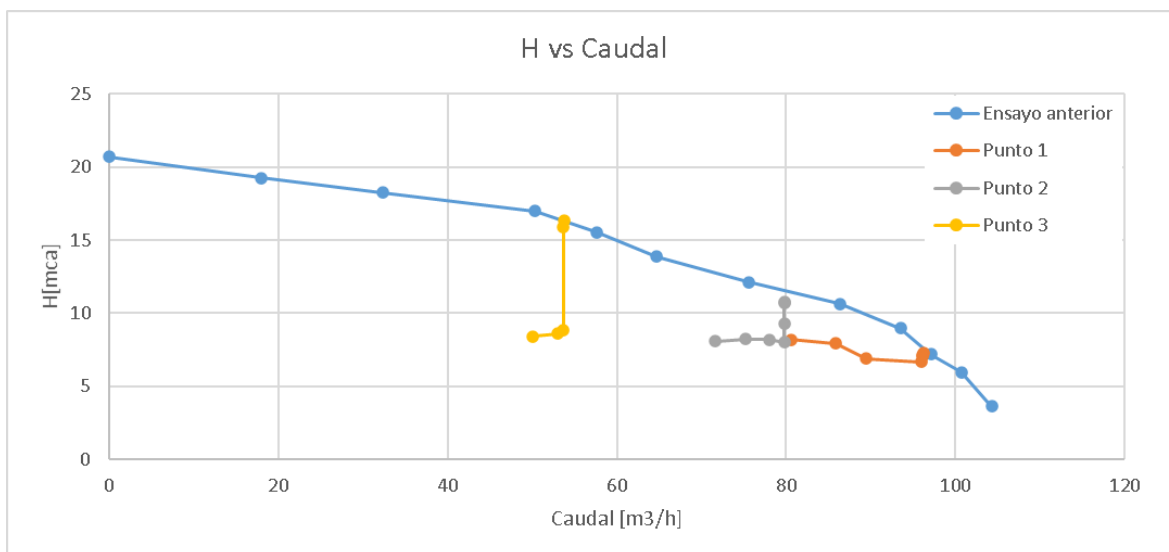


Grafico1: Representación de valores calculados en el ensayo anterior y los valores sobrepuestos de altura vs caudal.

6.2 Curvas de N, Ne, η_{gl} y CNSPD

En los Grafico 2, 3 y 4 se representan el porcentaje de N, Ne, η_{gl} vs CNSPD para cada punto estudiado.

Se observan los puntos de inflexión en donde el caudal deja de ser contante para cada medición realizada. Estos puntos señalan el valor limite de cada caso para evitar la cavitación.

Se observa en los gráficos estudiados que el cambio de dirección marca CSPD crítico.

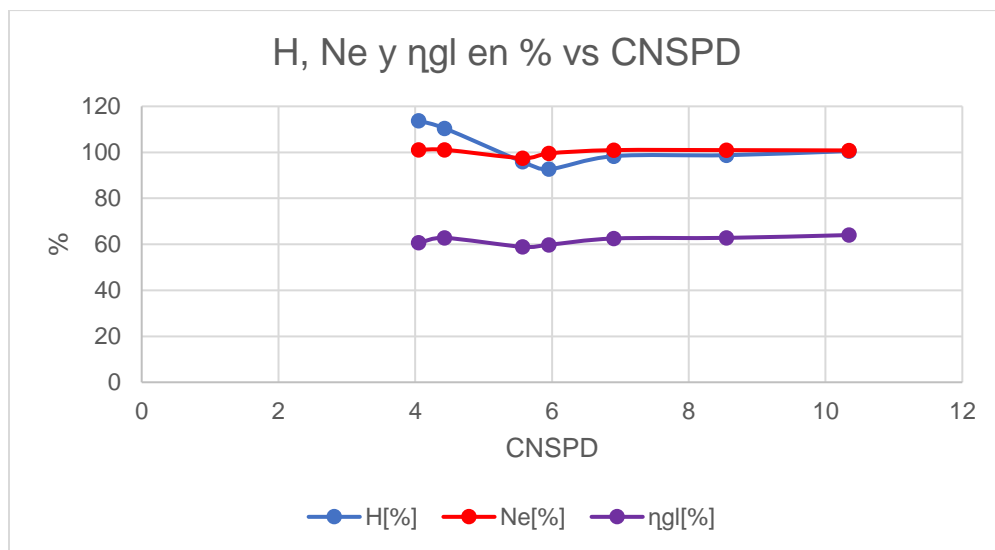


Grafico2: Representación en % de N, Ne, η_{gl} vs CNSPD en el punto 1.

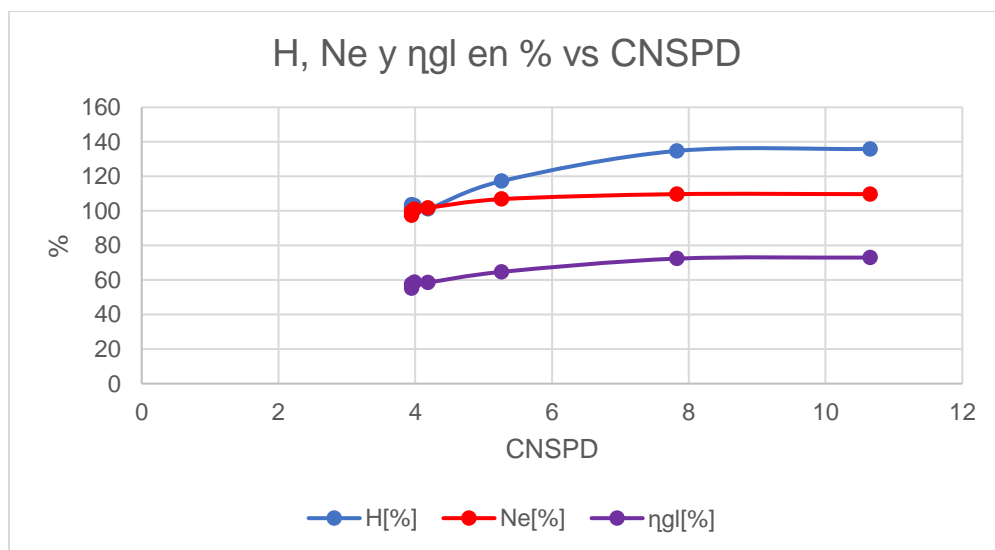


Grafico3: Representación en % de N, Ne, η_{gl} vs CNSPD en el punto 2.

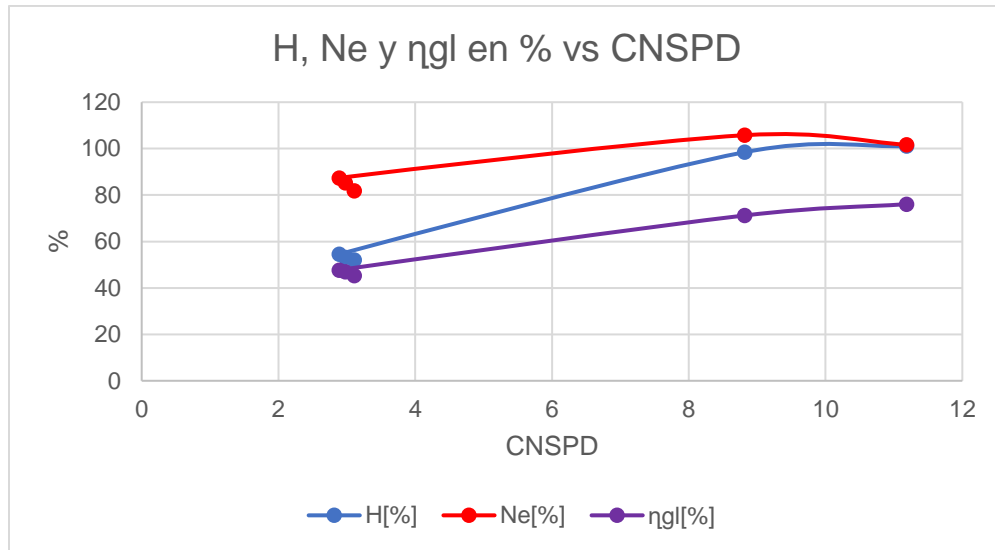


Grafico4: Representación en % de N, Ne, ηgl vs CNSPD en el punto 3.

6.3 CNSPR vs Caudal

En la Grafico5 se representan CNSPR vs Caudal para cada punto estudiado.

Valores de CNSPR para cada punto:

Punto 1: valor de CNSPR de 2,888[-]

Punto 2: valor de CNSPR de 3,949[-]

Punto 3: valor de CNSPR de 4,052[-]

Se observa la forma característica ascendente de este tipo de bombas.

Se observa un aumento drástico al final de la curva de rendimiento donde la bomba cavitará si se opera al comparar con los datos del ensayo anterior.

Se observa que la curva NPSH de la bomba, muestra la presión neta de succión positiva requerida en metros para poder alcanzar el punto de trabajo y al sobrepasar este punto optimo se genera la cavitación.

Se observa que los valores de velocidad específica al compararlos con los obtenidos para CNSPR son apropiados para un ensayo de bomba centrífuga

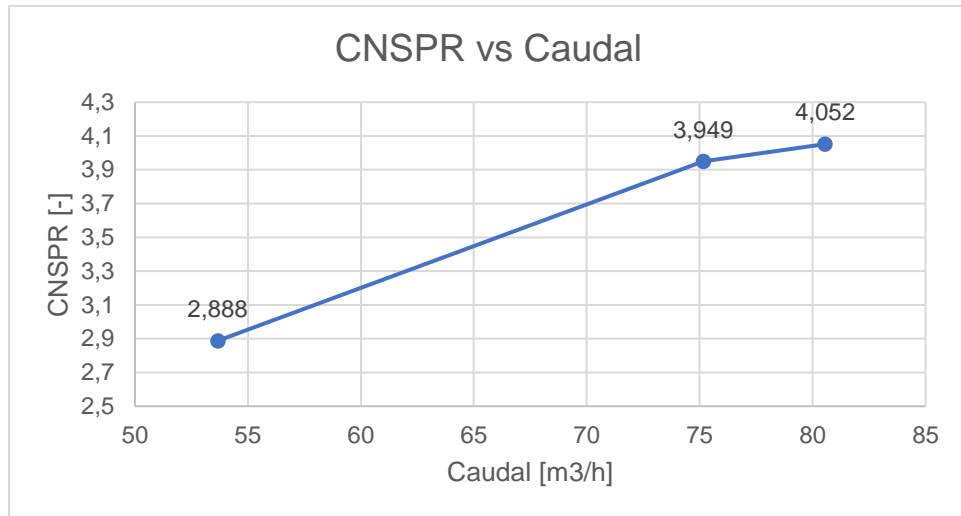


Grafico5: Representación CNSPR vs Caudal.

7 Conclusión.

- Al analizar los valores calculados se ratifica que se estudia una bomba Francis Helicoidal.
- El NPSH de una bomba centrífuga es generalmente estable en el lado izquierdo del eje, donde una bomba produce la presión más alta y el caudal más bajo.
- Después del Punto de mejor eficiencia, la curva NPSH aumenta constantemente antes de aumentar bruscamente al final de la curva de rendimiento donde la bomba cavitará si se opera.
- La curva NPSH es más relevante para las bombas centrífugas rotativas y menos relevante para las bombas de desplazamiento positivo puesto que estas tienen menos probabilidades de operar al final de la curva y cavitarse.
- El NPSH aumenta significativamente al final de la curva.

8 Referencias.

- Determinación de los coeficientes de carga y capacidad para bombas centrífugas que manipulan fluidos con propiedades diferentes a las del agua << 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:

9.1.1 Velocidad:

$$V = \frac{4Q}{3600 * \pi * D_A^2} \left[\frac{m}{s} \right]$$

Donde:

D_A : 0,1023 [m]

9.1.2 Columna neta de succión positiva disponible, CNSPD:

$$CNSPD = p_{ax} + \frac{13,54 * P_{atm}}{1000} + \frac{V^2}{2 * g} - P_v [m_{ca}]$$

Donde:

P_v : Presión de vapor del líquido bombeado en [m_{ca}]

9.1.3 Columna neta de succión positiva disponible, CNSPR:

$$CNSPD = CNSPD_{critica}$$

9.1.4 Error experimental (2):

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

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

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	ψ
[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m _{ca}]	[m _{ca}]	[m _{ca}]	[m _{ca}]	[kW]	[kW]	[kW]	[%]	[m/s]	[m/s]	[-]
1	108	107,8244	-1,1650	3,93	3,91723	3,48296	3,46600	1,4979	33,17351	21,70055	2,9619	0,13392
2	100,8	100,6034	-0,9150	6,52	6,49459	3,80083	3,77863	1,7864	47,07100	21,70055	2,71157	0,12495
3	97,2	97,0104	-0,6350	8,56	8,52664	4,04969	4,02604	2,2575	55,92958	21,70055	2,61472	0,12049
4	93,6	93,4174	-0,4150	10,38	10,33955	4,18544	4,16099	2,62938	63,19112	21,70055	2,51788	0,11603
5	86,4	86,2034	-0,1750	11,98	11,92555	4,27732	4,24820	2,79851	65,87523	21,70055	2,32344	0,10707
6	79,2	78,9942	0,0550	13,87	13,79799	4,32399	4,29036	2,96712	69,15770	21,70055	2,12913	0,09811
7	64,8	64,6316	0,4050	16,28	16,19548	4,34663	4,31282	2,84946	66,06941	21,70055	1,74202	0,08028
8	57,6	57,4503	0,6450	18	17,90655	4,27871	4,24544	2,80045	65,96377	21,70055	1,54846	0,07136
9	46,8	46,6784	0,8850	18,96	18,86157	4,14288	4,11066	2,39672	58,30494	21,70055	1,25812	0,05798
10	32,4	32,3263	1,1350	20,79	20,69552	3,82470	3,79865	1,82119	47,94311	21,70055	0,87129	0,04015
11	21,6	21,5439	1,3150	21,61	21,49781	3,50900	3,48171	1,26079	36,21172	21,70055	0,58067	0,02676
12	0	0,0000	1,9350	23,07	22,95023	2,55817	2,53828	0,00000	0,00000	21,70055	0,00000	0,00000
2900 [rpm]												
Qx	Q	pax	pdx	Hx	H	Nex	Ne	Nh	η_{el}	U_2	cm_2	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	104,292112	-0,965	3,61	3,60254	2,92516	2,91611	1,02278	35,07365	20,49889	2,81099	0,13713
2	100,8	100,695832	-0,725	5,97	5,95767	3,13868	3,12896	1,63309	52,19290	20,49889	2,71406	0,13240
3	97,2	97,0995522	-0,485	7,21	7,19511	3,30949	3,29924	1,90186	57,64527	20,49889	2,61713	0,12767
4	93,6	93,5032725	-0,245	8,75	8,95147	3,45895	3,44824	2,27848	66,07652	20,49889	2,52020	0,12294
5	86,4	86,3107131	-0,065	10,67	10,64796	3,52301	3,51210	2,50181	71,23412	20,49889	2,32634	0,11349
6	75,6	75,547898	0,225	12,365	12,12327	3,58583	3,57842	2,49325	69,67463	20,49889	2,03624	0,09933
7	64,8	64,7107438	0,445	14,365	13,88168	3,60966	3,59476	2,44536	68,02551	20,49889	1,74415	0,08509
8	57,6	57,5602032	0,695	16,245	15,52857	3,58583	3,57842	2,43320	67,99658	20,49889	1,55142	0,07568
9	50,4	50,3479159	0,885	17,885	16,96488	3,41625	3,40567	2,32518	68,27368	20,49889	1,35703	0,06620
10	32,4	32,3665174	1,115	19,405	18,25222	3,18138	3,17153	1,60818	50,70681	20,49889	0,87238	0,04256
11	18	17,9752066	1,345	20,645	19,24687	2,92617	2,91410	0,94180	32,31867	20,49889	0,48449	0,02363
12	0	0	1,835	22,605	20,71282	2,00774	1,99945	0,00000	0,00000	20,49889	0,00000	0,00000

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.

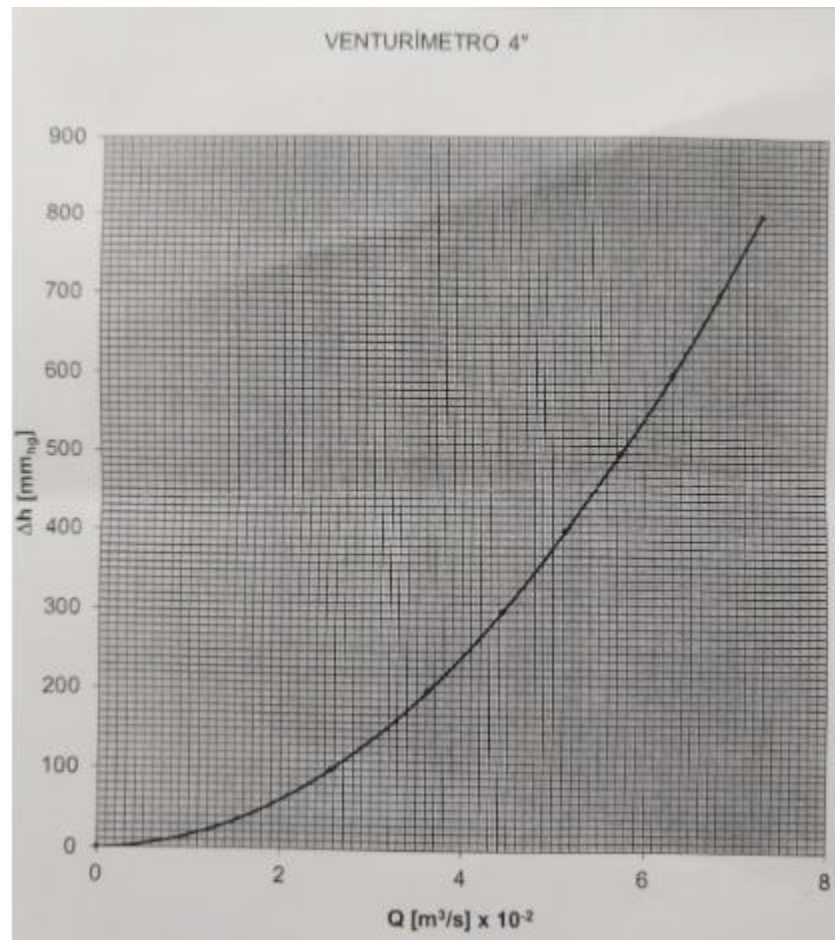


Grafico4: Diferencia de alturas vs caudal.