



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE
VALPARAÍSO

Informe N°10: Cavitación

Laboratorio de Máquinas

Profesores

Cristóbal Galleguillos Ketterer

Tomás Herrera Muñoz

Alumno

Héctor Muzio Harris

Resumen

En este ensayo se buscó generar cavitación en una bomba centrífuga, para ello se aumentaron las pérdidas de carga en la entrada, con el paulatino cierre de una válvula. Gracias a esto se midieron 3 puntos de funcionamiento en donde la bomba cavitará para de esta manera poder obtener la CNSPR del sistema ensayado.

Índice

Introducción	4
Objetivo.....	5
Trabajo de laboratorio	5
Tabla de valores medidos.....	6
Fórmulas.....	8
Tabla de valores calculados.....	11
Desarrollo	13
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.....	13
¿Qué significan las desviaciones que se producen?	14
Trace tantos gráficos como series de mediciones se hayan realizado. En la ordenada H, Ne en [%] respecto al valor sin cavitación y η_{gl} , y en la abscisa la CNSPD.	14
¿Cómo determina la CNSPD crítica y qué representa?	16
Grafique la CNSPR en función del caudal	16
¿La curva obtenida tiene la forma característica?	16
¿De acuerdo a la velocidad específica de esta bomba los valores de la CNSPR son apropiados? ..	17
Conclusión	18
Referencias.....	19

Introducción

La cavitación es un fenómeno que puede ocurrir en las bombas centrífugas, y consiste a que por bajas temperaturas o presiones (en este caso presiones), en la entrada de la bomba, el agua cambia de fase a gaseoso. Debido a la forma del rodete de las bombas esto ocurre cercano al eje de giro del rodete, pero debido a la acción centrífuga, las burbujas de gas se trasladan radialmente por el alabe hasta el extremo más lejano del eje del rodete, en donde la presión es mayor por lo que estas burbujas colapsan.

Esto fenómeno genera muchos problemas en la bomba, ya que aparte de generar daños físicos, afecta en sus parámetros de funcionamiento, como es el rendimiento altura de descarga, entre otros.

En este ensayo se buscará hacer cavitación la bomba con el fin de poder determinar la CNSPR, la cual indica las condiciones críticas de la bomba, en donde se encuentra el punto de inflexión de la cavitación.

Objetivo

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

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 establezca su funcionamiento, 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 velocidad de ensayo, [rpm].
- n_x velocidad de la bomba, en [rpm].
- p_{ax} presión de aspiración, en [%].
- p_{dx} presión de descarga, en [%].
- Δh_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].

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.

Mida 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].

Tabla de valores medidos

VALORES MEDIDOS 2900 (curva H vs Q)										
	n	cpax	cpdx	nx	pax	pdx	Δh_x	Fx	T	P _{atm}
	[rpm]	[m]	[m]	[rpm]	[%]	[%]	[mmHg]	[kp]	[°C]	[mmHg]
1	2900	0,115	0,165	2899	91,8	5,6	140	1,19	18	757,1
2	2900	0,115	0,165	2899	93,8	10,2	128	1,27	18	757,1
3	2900	0,115	0,165	2898	96,3	14,6	115	1,34	18	757,1
4	2900	0,115	0,165	2899	98,6	19,4	101	1,42	18	757,1
5	2900	0,115	0,165	2898	100,8	24	87	1,48	18	757,1
6	2900	0,115	0,165	2897	103,2	28,5	74	1,53	18	757,1
7	2900	0,115	0,165	2899	104,8	32,2	63	1,53	18	757,1
8	2900	0,115	0,165	2896	107,3	37,7	50	1,57	18	757,1
9	2900	0,115	0,165	2897	109,7	42,2	36	1,53	18	757,1
10	2900	0,115	0,165	2898	112,2	46,5	22	1,45	18	757,1
11	2900	0,115	0,165	2899	115,2	50,3	9	1,21	19	757,1
12	2900	0,115	0,165	2900	121,1	54,3	0	0,82	19	757,1

Tabla 1

PUNTO 1										
	n	cpax	cpdx	nx	pax	pdx	Δh_x	Fx	T	P _{atm}
	[rpm]	[m]	[m]	[rpm]	[%]	[%]	[mmHg]	[kp]	[°C]	[mmHg]
1	2900	0,115	0,165	2908	97,4	17,6	105	1,4	16	757,1
2	2900	0,115	0,165	2912	79,5	12,8	105	1,4	16	757,1
3	2900	0,115	0,165	2912	63	8,6	105	1,4	16	757,1
4	2900	0,115	0,165	2913	53,5	5,2	105	1,38	16	757,1
5	2900	0,115	0,165	2916	50,4	5	98	1,35	16	757,1
6	2900	0,115	0,165	2917	39,4	4,9	89	1,4	16,5	757,1
7	2900	0,115	0,165	2916	36,2	4,7	79	1,4	17	757,1

Tabla 2

PUNTO 2										
	n	cpax	cpdx	nx	pax	pdx	Δh_x	Fx	T	P _{atm}
	[rpm]	[m]	[m]	[rpm]	[%]	[%]	[mmHg]	[kp]	[°C]	[mmHg]
1	2900	0,115	0,165	2917	102,3	27,8	78	1,52	17	757,1
2	2900	0,115	0,165	2917	74	20,5	78	1,52	17	757,1
3	2900	0,115	0,165	2917	48,4	10,6	78	1,48	17	757,1
4	2900	0,115	0,165	2917	37,7	4,7	78	1,41	17,5	757,1
5	2900	0,115	0,165	2915	35,9	4,6	73	1,4	17,5	757,1
6	2900	0,115	0,165	2917	35,8	4,7	69	1,38	18	757,1
7	2900	0,115	0,165	2916	36,1	4,4	64	1,35	18	757,1

Tabla 3

PUNTO 3										
	n	cpax	cpdx	nx	pax	pdx	Δh_x	Fx	T	P _{atm}
	[rpm]	[m]	[m]	[rpm]	[%]	[%]	[mmHg]	[kp]	[°C]	[mmHg]
1	2900	0,115	0,165	2916	109,8	43,8	35	1,49	18	757,1
2	2900	0,115	0,165	2917	86,1	36,8	35	1,55	18	757,1
3	2900	0,115	0,165	2918	26,8	4	35	1,28	18	757,1
4	2900	0,115	0,165	2918	27,8	3,7	34	1,25	18,5	757,1
5	2900	0,115	0,165	2917	29,3	3,6	31	1,2	18,5	757,1

Tabla 4

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:

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

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

Presión de descarga:

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

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

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:

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

Potencia hidráulica:

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

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:

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

Velocidad:

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

$$D_A = 0,1023 \text{ [m]}$$

Columna neta de succión positiva disponible, CNSPD.

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

Pv = presión de vapor
del líquido bombeado en [mca]

Columna neta de succión positiva requerida ,CNSPR.

$$CNSPR = CNSPD_{CRITICA}$$

Tabla de valores calculados

VALORES Obtenidos 2900 (curva H vs Q)													
	Qx	Q	pax	pdx	Hx	H	Nex	Ne	Nh	ngl	V	Pv	CNSPD
N°	m3/h	m3/h	mca	mca	mca	mca	Kw	Kw	Kw	-	m/s	mca	mca
1	115,2	115,240	-0,820	2,240	3,060	3,062	2,537	2,540	0,961	37,823	3,8945619	0,210568	83,61759
2	104,4	104,436	-0,620	4,080	4,700	4,704	2,708	2,711	1,337	49,330	3,5294467	0,210568	70,522008
3	93,6	93,665	-0,370	5,840	6,210	6,219	2,856	2,862	1,586	55,402	3,1654235	0,210568	58,818088
4	90	90,031	-0,140	7,760	7,900	7,906	3,028	3,031	1,938	63,928	3,0426265	0,210568	55,308861
5	86,4	86,460	0,080	9,600	9,520	9,533	3,155	3,161	2,244	70,981	2,9219293	0,210568	51,997728
6	72	72,075	0,320	11,400	11,080	11,103	3,260	3,270	2,178	66,617	2,4357816	0,210568	39,461973
7	68,4	68,424	0,480	12,880	12,400	12,409	3,262	3,266	2,311	70,776	2,3123961	0,210568	36,748349
8	61,2	61,285	0,730	15,080	14,350	14,390	3,344	3,358	2,401	71,492	2,0711293	0,210568	31,810824
9	46,8	46,848	0,970	16,880	15,910	15,943	3,260	3,270	2,033	62,176	1,5832581	0,210568	23,305844
10	32,4	32,422	1,220	18,600	17,380	17,404	3,091	3,097	1,536	49,599	1,0957235	0,210568	17,149443
11	25,2	25,209	1,520	20,120	18,600	18,613	2,580	2,583	1,277	49,457	0,8519354	0,22413	15,106908
12	0	0,000	2,110	21,720	19,610	19,610	1,749	1,749	0,000	0,000	0	0,22413	12,136889

Tabla 5

PUNTO 1													
	Qx	Q	pax	pdx	Hx	H	Nex	Ne	Nh	ngl	V	Pv	CNSPD
N°	m3/h	m3/h	mca	mca	mca	mca	Kw	Kw	Kw	-	m/s	mca	mca
1	90,72	90,470	-0,260	7,040	7,300	7,260	2,994	2,970	1,788	60,209	3,0574755	0,185585	55,658141
2	90,72	90,346	-2,050	5,120	7,170	7,111	2,998	2,962	1,749	59,056	3,0532757	0,185585	53,742259
3	90,72	90,346	-3,700	3,440	7,140	7,082	2,998	2,962	1,742	58,808	3,0532757	0,185585	52,092259
4	90,72	90,315	-4,650	2,080	6,730	6,670	2,957	2,917	1,640	56,216	3,0522275	0,185585	51,110869
5	89,64	89,148	-4,960	2,000	6,960	6,884	2,895	2,848	1,671	58,661	3,0127887	0,185585	49,627608
6	86,4	85,896	-6,060	1,960	8,020	7,927	3,004	2,951	1,854	62,803	2,9028972	0,1915	45,333034
7	82,8	82,346	-6,380	1,880	8,260	8,170	3,003	2,953	1,831	62,008	2,7828972	0,197822	41,660053

Tabla 6

PUNTO 2

Medicion N°	Qx m3/h	Q m3/h	pax mca	pdx mca	Hx mca	H mca	Nex Kw	Ne Kw	Nh Kw	ngl -	V m/s	Pv mca	CNSPD mca
1	82,8	82,317	0,230	11,120	10,890	10,764	3,261	3,204	2,412	75,271	2,7819432	0,197822	48,244012
2	82,8	82,317	-2,600	8,200	10,800	10,675	3,261	3,204	2,392	74,649	2,7819432	0,197822	45,414012
3	82,8	82,317	-5,160	4,240	9,400	9,291	3,175	3,120	2,082	66,729	2,7819432	0,197822	42,854012
4	82,8	82,317	-6,230	1,880	8,110	8,016	3,025	2,973	1,796	60,430	2,7819432	0,20394	41,777894
5	79,2	78,792	-6,410	1,840	8,250	8,166	3,002	2,955	1,751	59,261	2,6628149	0,20394	38,416388
6	72	71,580	-6,420	1,880	8,300	8,204	2,961	2,909	1,599	54,948	2,419081	0,210568	32,324281
7	68,4	68,025	-6,390	1,760	8,150	8,061	2,895	2,848	1,493	52,414	2,2989151	0,210568	29,573428

Tabla 7

PUNTO 3

Medicion N°	Qx m3/h	Q m3/h	pax mca	pdx mca	Hx mca	H mca	Nex Kw	Ne Kw	Nh Kw	ngl -	V m/s	Pv mca	CNSPD mca
1	48,6	48,333	0,980	17,520	16,540	16,359	3,196	3,143	2,152	68,477	1,6334397	0,210568	24,107605
2	48,6	48,317	-1,390	14,720	16,110	15,923	3,325	3,268	2,094	64,093	1,6328797	0,210568	21,728633
3	48,6	48,300	-7,320	1,600	8,920	8,811	2,747	2,697	1,158	42,960	1,6323201	0,210568	15,789671
4	48,24	47,942	-7,220	1,480	8,700	8,593	2,683	2,633	1,122	42,588	1,6202288	0,217247	15,690091
5	46,8	46,527	-7,070	1,440	8,510	8,411	2,575	2,530	1,065	42,113	1,5724027	0,217247	15,09114

Tabla 8

Desarrollo

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

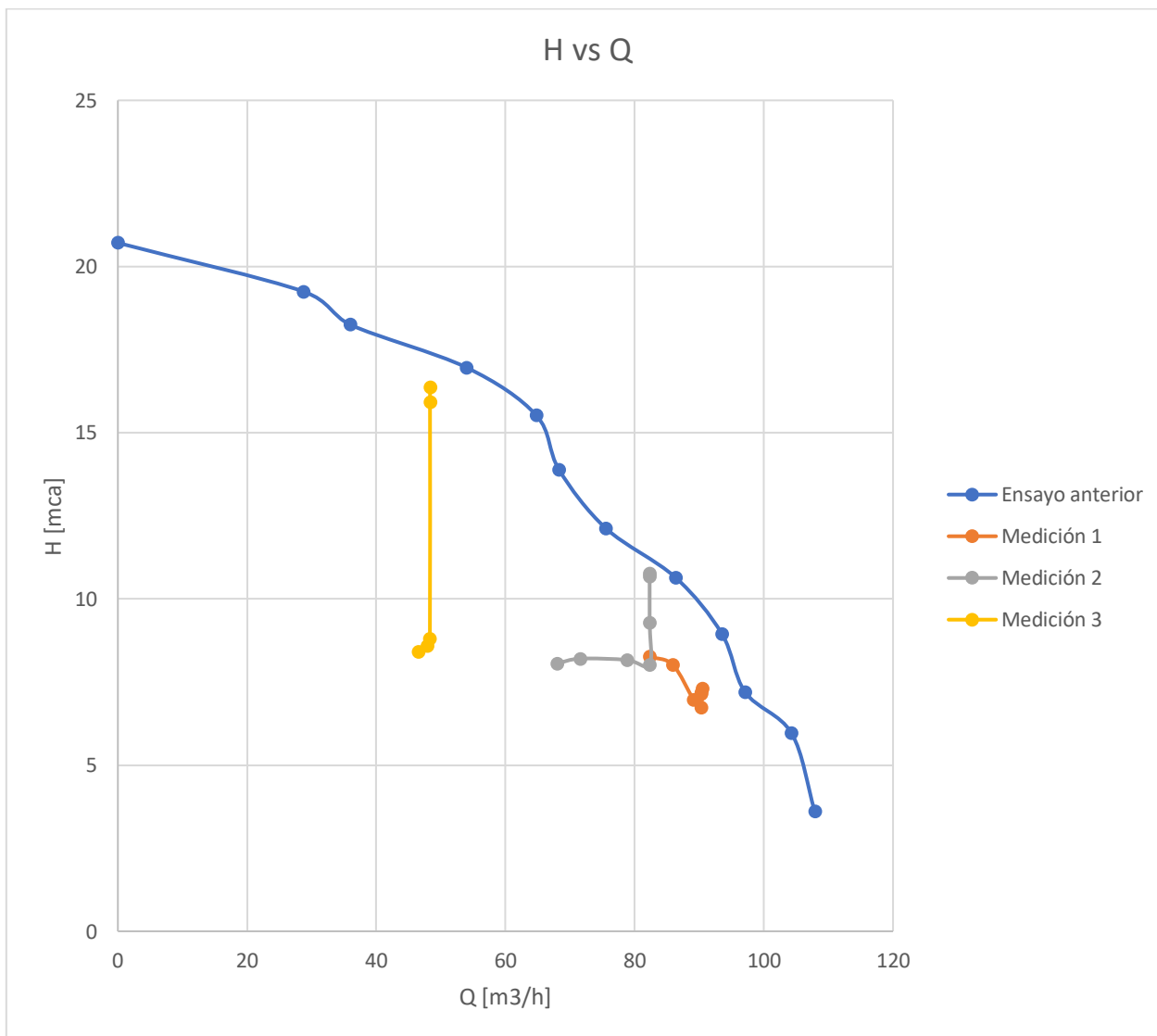


Gráfico 1

¿Qué significan las desviaciones que se producen?

El ensayo consiste en ir aumentando las pérdidas de carga en la entrada, pero a su vez, se abre se va abriendo la válvula de la salida de la bomba con el fin de ir manteniendo el caudal constante a medida que aumentan las pérdidas de carga. Llega un punto en el cual la válvula de descarga está completamente abierta, por lo que si se sigue estrangulando en la entrada el caudal de no se va a poder mantener constante, en ese punto se produce el “colapso”, y es donde se genera la disminución del caudal, este punto es el de cavitación.

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.

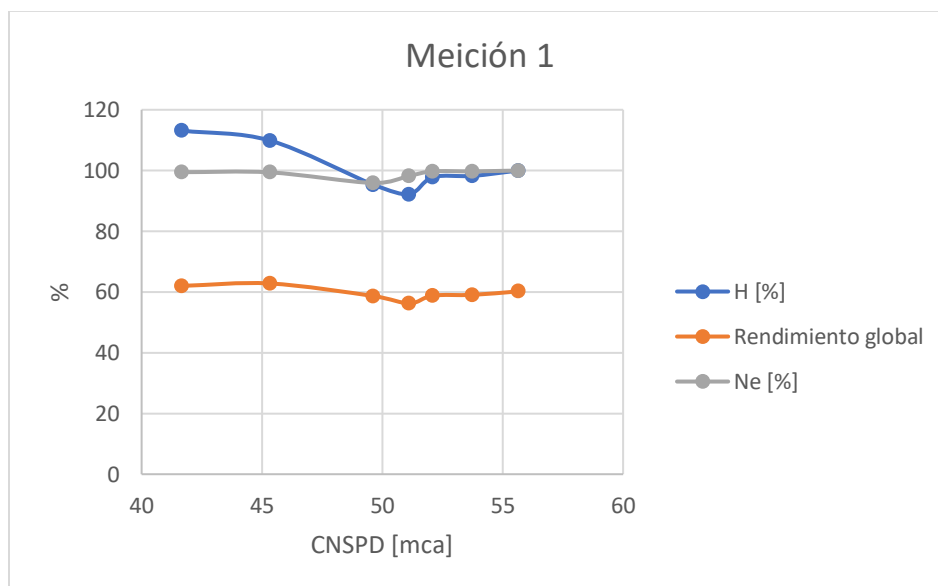


Gráfico 2

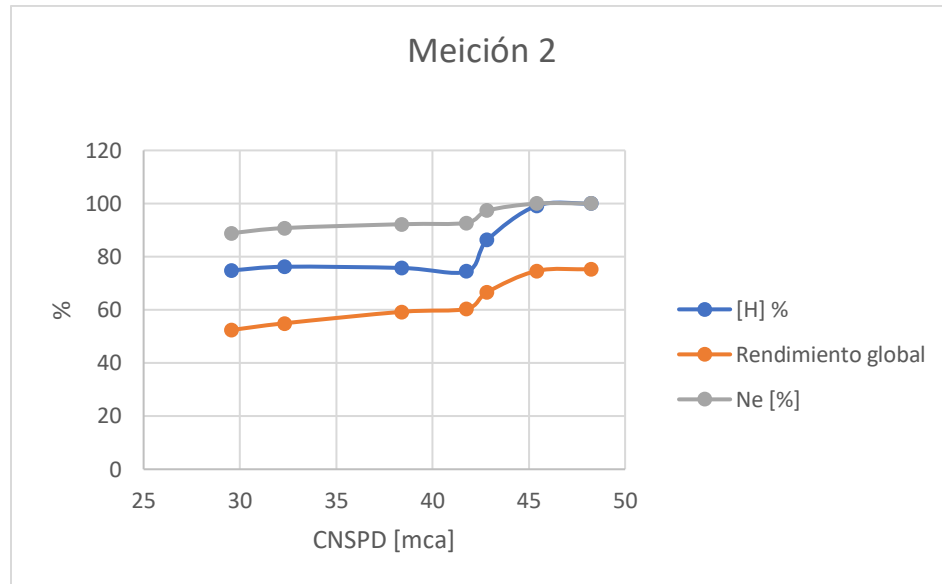


Gráfico 3

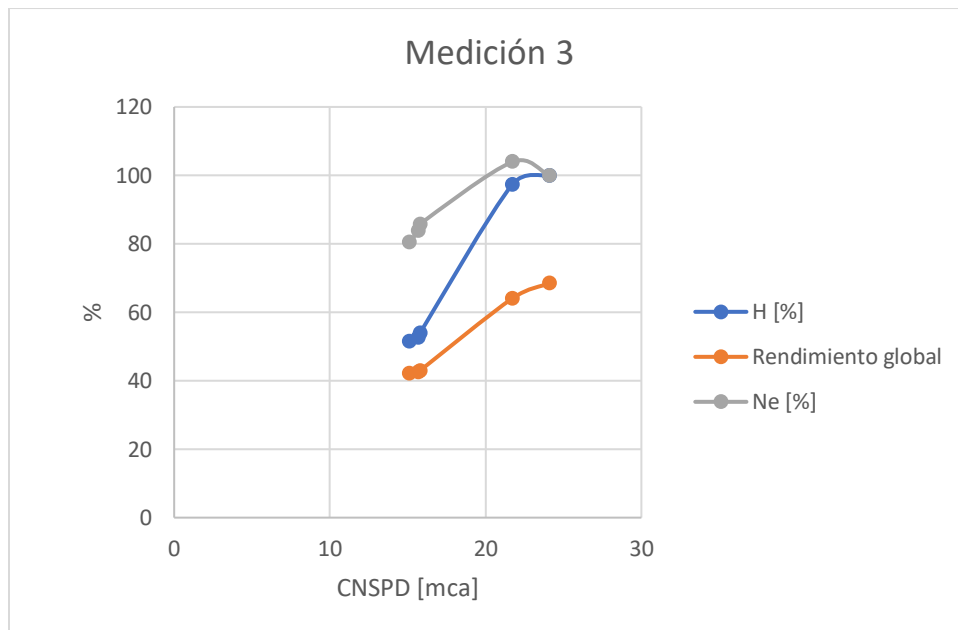


Gráfico 4

¿Cómo determina la CNSPD crítica y qué representa?

En los tres puntos analizados, se graficó la altura en función del caudal (Gráfico 1), por lo que se conoce los puntos de inflexión en donde el caudal deja de ser constante para cada medición.

En este caso, se analizaron 3 puntos, por lo que se tienen 3 datos críticos, los que muestran los valores límites para que no se produzca cavitación, de esta manera se pueden colocar estos 3 puntos en un grafico de Altura vs caudal, obteniendo de esta manera la curva de CNSPD crítica, la cual representa la CNSPR.

Grafique la CNSPR en función del caudal

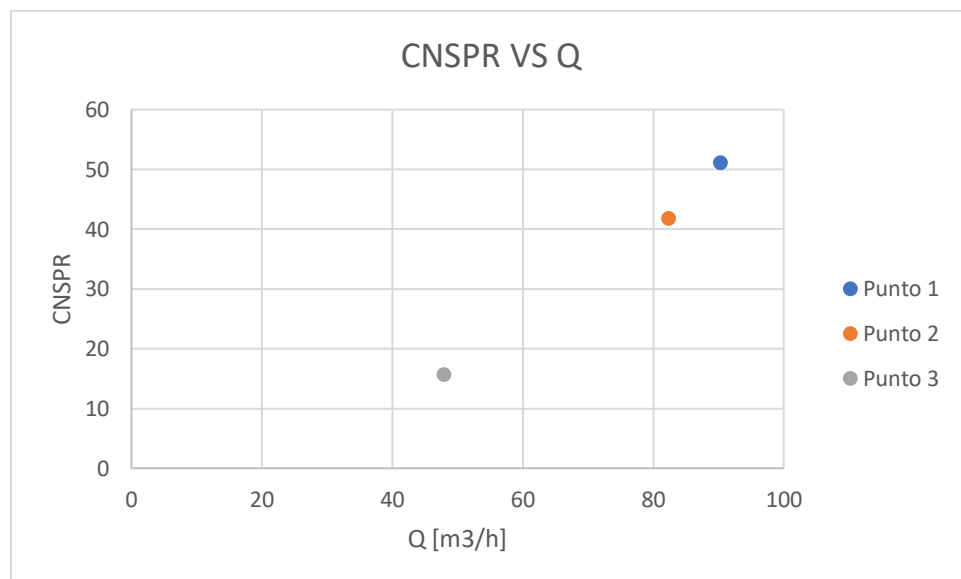


Gráfico 5

¿La curva obtenida tiene la forma característica?

Si bien se tiene pocos puntos para realizar la curva de CNSPR, el gráfico obtenido tiene la forma esperada si se compara con manuales de bombas centrífugas [referencia 1]. Ya que a medida que aumenta el caudal, el valor de CNSPR aumenta de manera considerable, mientras que a bajos caudales, su aumento es más plano.

Como no se tiene otro dato a un caudal menor a $50 \left[\frac{m^3}{h} \right]$, no se puede apreciar ese comportamiento.

En el gráfico N°6, se puede apreciar la curva características de este tipo de bombas la cual está señalada con el nombre de NPSHR.

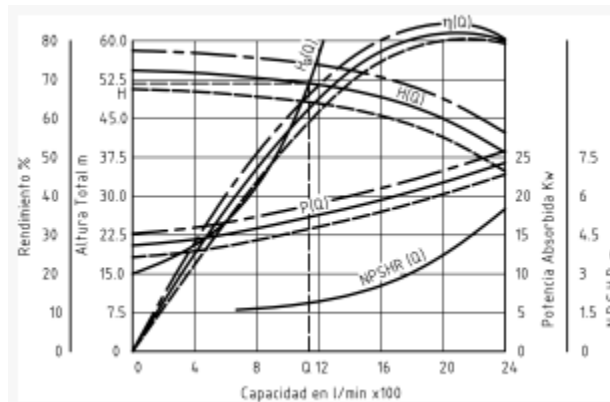


Gráfico 6

Fuente: Referencia 1

¿De acuerdo a la velocidad específica de esta bomba los valores de la CNSPR son apropiados?

Se calculó la velocidad específica para 2900 RPM, en su punto de mayor rendimiento, dando como resultado 2645 [-]. (Unidades inglesas)

Debido a este valor, y en base a la referencia 2, se puede decir que el rango de velocidad corresponde a una bomba radial o tipo Francis, además de señalar que el gráfico 6 muestra las curvas señaladas específicamente, de este tipo de bombas, por lo que se puede decir que los valores obtenidos son apropiados.

Conclusión

A modo de cierre se debe señalar que conocer la curva NSPRR de una bomba es muy importante, ya que de esta manera se conocen los puntos críticos de funcionamiento, y que se tienen que evitar para que la bomba no sufra problemas mecánicos a futuro, como daño en sus alabes, además de afectar en su rendimiento, altura de salida entre otros parámetros.

Evitar caer en cavitación generará muchos beneficios, los cuales no se comparan con las “ganancias ficticias” que puede generar este fenómeno. Como es el caso de que las burbujas de vapor tapen las rugosidades propias de los alabes de la bomba, generando en algunos instantes y en casos específicos, un aumento en la altura de descarga. Como se puede apreciar en el gráfico N°2 con respecto al H [%].

Referencias

1. Área mecánica, Ingeniería Mecánica: Curvas características de una bomba centrífuga, 16-06-2011, encontrar en: <https://areamecanica.wordpress.com/2011/06/16/ingenieria-mecanica-curvas-caracteristicas-de-una-bomba-centrifuga-ii/>
2. Francisco de Miranda, Máquinas hidráulicas, Universidad Nacional Experimental, encontrar en: <https://es.slideshare.net/eylinmachuca7/presentacin-bombas-centrfugas>

Otras referencias:

- Tomás Ignacio Herrera Muñoz, PPT CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA
- Tomás Ignacio Herrera Muñoz, PPT CAVITACIÓN.

Nota: Las tablas y gráficos no referenciados corresponden a autoría propia, con excepción de las tablas 1,2,3 y 4 que fueron entregadas por los profesores.