Análisis dinámico del flujo en reducciones cónicas en la aspiración de grupos de bombeo

Rodríguez-Orta, A.a1, Pulido-Calvo, I.a2 y Chámber-Pérez, E.b

 ^a Área de Mecánica de Fluidos, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Campus La Rábida, Universidad de Huelva, 21819 Palos de la Frontera (Huelva). E-mail: ^{a1}antonio.orta@alu.uhu.es, ^{a2} ipulido@dcaf.uhu.es.
 ^b Enrivan I+C. E-mail: enrivan.dtortecnico@gmail.com.

Línea temática | D. Estructuras hidráulicas.

RESUMEN

En este trabajo se presentan resultados preliminares de la simulación y análisis del flujo que trasiega por las conducciones de aspiración de grupos de bombeo (situados a una cota superior a la fuente de suministro del agua) considerando reducciones concéntricas y excéntricas con distintas geometrías (longitud y ángulo del cono reductor). Las simulaciones de Dinámica de Fluidos Computacional (modelos CFD) se han desarrollado con el programa COMSOL Multiphysics® utilizando el modelo de turbulencia *k*-Epsilon (k- ϵ). El objetivo principal de este trabajo es la evaluación de diferentes alternativas de diseño de los conos reductores necesarios en la conexión de la tubería de aspiración con el grupo de bombeo para conseguir regímenes adecuados de funcionamiento. Resultados preliminares muestran que las reducciones concéntricas presentan una distribución más uniforme de las velocidades del fluido a la entrada de la bomba y que facilitan el transporte del aire que puede estar/formarse en el interior de la tubería de aspiración.

INTRODUCCIÓN

La simulación y análisis del comportamiento dinámico del flujo de agua que circula por la tubería de aspiración de un sistema de impulsión es fundamental para una operación adecuada de los grupos de bombeo. En general, la conexión entre la tubería de aspiración y el grupo motor-bomba requiere de una disminución en el diámetro de la conducción que se realiza mediante conos reductores.

Según la literatura especializada (Karassik, 1989; Mackay, 2004; Bloch, 2010; ANSI, 2016) se suelen recomendar reducciones excéntricas montadas con el cono hacia debajo de tal forma que la generatriz superior de la reducción quede en posición horizontal y sea paralela a la generatriz de la bomba. Esta recomendación se basa en la prevención de la formación y acumulación de bolsas de aire en la sección final del cono y, por tanto, así se podrán disminuir los efectos negativos asociados como la reducción de la sección de paso de los caudales circulantes, aumento de las pérdidas de carga, desequilibrio en el eje de la bomba, entre otros. Sin embargo, se debe mencionar que la geometría de un cono reductor excéntrico es asimétrica lo que implica distribuciones no uniformes de presiones y velocidades del fluido a la entrada de la bomba y, por tanto, condiciones de flujo no adecuadas para el correcto funcionamiento de los equipos de bombeo (Shukla y Kshirsagar, 2008; Mahaffey y Van Vuuren, 2014).

Debido a la falta de criterio en el empleo de dichos conos reductores en la aspiración de los grupos de bombeo y a la ausencia de investigaciones que justifiquen el uso de formas excéntricas o concéntricas, se plantea este trabajo de investigación para establecer las directrices de un diseño óptimo de estos elementos singulares. Las premisas a considerar para el diseño óptimo son: (a) Distribución lo más uniforme posible de las velocidades del fluido a la entrada de la bomba; y (b) Facilitar el transporte del aire que puede estar/formarse en el interior de la tubería de aspiración.

El objetivo principal de este trabajo será la evaluación de diferentes alternativas de diseño de los conos reductores necesarios en la conexión de la tubería de aspiración con el grupo de bombeo para conseguir regímenes adecuados de funcionamiento en el sistema de impulsión de una instalación hidráulica. Para la consecución de este objetivo global, se planteó la simulación y análisis del flujo que trasiega por las conducciones de aspiración de grupos de bombeo considerando reducciones concéntricas y excéntricas con distintas geometrías (longitud y ángulo del cono reductor) y distintos materiales. Los modelos de Dinámica de Fluidos Computacional (modelos CFD) han sido simulados con el programa COMSOL Multiphysics®.

V Jornadas de Ingeniería del Agua. 24-26 de Octubre. A Coruña

2

MATERIAL Y MÉTODOS

Se usa la aplicación de ordenador de dinámica de fluidos computacional (CFD) COMSOL Multiphysics® para la simulación del régimen dinámico del flujo según distintas geometrías de los conos reductores excéntricos y concéntricos. Se aplica el modelo de turbulencia k-Epsilon (k- ε). Se analizan de forma cualitativa y cuantitativa las velocidades y presiones del fluido en su trasiego por la aspiración. El modelo de turbulencias k- ε es uno de los más usados para aplicaciones industriales y tiene dos condicionantes: (a) el número de Reynolds ha de ser suficientemente alto para encontrarse el régimen de flujo en la zona turbulenta y (b) la turbulencia ha de ser uniforme dentro de la capa límite. Para el diseño de la tubería de aspiración se crean dos planos CAD parametrizados, para reductores de cono concéntricos y excéntricos, con Autodesk Inventor.

El objetivo principal de este trabajo es la evaluación de las variaciones de velocidad y de presión del flujo de agua que se mueve a través de una tubería de aspiración de un grupo de bombeo con reducciones concéntrica y excéntrica. Este análisis se realiza con cuatro geometrías diferentes de la tubería de aspiración (Figuras 1 a 4).



Figura 1 | Esquema de tubería de aspiración sin reducción



Figura 2 | Esquema de tubería de aspiración con reducción concéntrica

V Jornadas de Ingeniería del Agua. 24-26 de Octubre. A Coruña



Figura 3 | Esquema de tubería de aspiración con reducción excéntrica (la generatriz superior de la reducción queda en posición horizontal)



Figura 4 | Esquema de tubería de aspiración con reducción excéntrica (la generatriz inferior de la reducción queda en posición horizontal)

En cada uno de estas diferentes geometrías de la tubería de aspiración (Figuras 1 a 4) se realiza análisis de sensibilidad variando los parámetros h₁, h₂, h₃, h₄, D_{entr}, D_{bomba} y r_{codo} que representan:

- . D_{entr} es el diámetro de entrada a la tubería de aspiración.
- . D_{bomb} es el diámetro de entrada a la bomba.
- . h₁, h₂, h₃, h₄ son las longitudes de los distintos tramos de la tubería de aspiración.
- . r_{codo} es el radio del codo, que tiene un valor de 100 mm con diámetros de entrada de hasta 150 mm y de 200 mm cuando el diámetro de entrada es de 200 mm.

4

	Dentrada/ Dsalida	Caudal		Presión de trabajo		Potencia nominal	
	(mm)	(m ³ /h)	(l/s)	(bar)	(MPa)	(kW)	
Grundfos NB 65-125/120-110 A- F2-N-BAQE	80/65	86.6	240.5556	10	1	4	
Grundfos NBG 100-80-160/177 A-F2-B-BAQE	100/80	63.3	175.8333	16	1.6	2.2	
Grundfos NBGE 100-65-200/162 D-F2-N-BAOE	100/65	89.2	247.7778	16	1.6	11	

Se han elegido tres modelos de bombas con las características que aparecen en la Tabla 1:

Para la elección de los materiales se han usado tuberías de acero inoxidable Cr-Ni y de polietileno PE 80 (Tabla 2). En cuanto al fluido para el estudio se ha seleccionado agua. Para el estudio se ha impuesto que la presión de entrada es la atmosférica, al considerar que la fuente de suministro es un depósito, con una velocidad de diseño de 1 m/s y con la presión de salida correspondiente a cada bomba.

Tabla 2 Características de las tuberías									
	Rugosidad	Densidad	Conductividad térmica	Módulo de Young	Coeficiente de Poisson	Calor específico	Coeficiente de dilatación térmica		
	[µm]	[kg/m ³]	[W/(m*K)]	[MPa]		[J/(kg*K)]	[1/K]		
Acero Cr-Ni	46	7900	16	1.93*10 ⁵	0.3	500	1.73*10 ⁻⁵		
PE 80	7	940	0.42	150	0.4	1900	2.2*10-4		

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Figuras 5 a 8 se muestran, a modo de ejemplo, algunas de las distribuciones de velocidades y presiones de las distintas geometrías de tubería de aspiración en estudio.







Figura 6 | Distribución de velocidades y presiones para la tubería de aspiración con reducción concéntrica (D_{entr} = 150 mm; D_{bomba}= 80 mm; h₃ = 250 mm)



Figura 7 | Distribución de velocidades y presiones para la tubería de aspiración con reducción excéntrica (la generatriz superior de la reducción queda en posición horizontal) (D_{entr} = 150 mm; D_{bomba} = 80 mm; h_3 = 500 mm)



Figura 8 | Distribución de velocidades y presiones para la tubería de aspiración con reducción excéntrica (la generatriz inferior de la reducción queda en posición horizontal) (D_{entr} = 150 mm; D_{bomba} = 80 mm; h_3 = 250 mm)

V Jornadas de Ingeniería del Agua. 24-26 de Octubre. A Coruña

JIA 2017 | Línea Temática D

En las Figuras 9 a la 12 se muestran las líneas de flujo de las diferentes geometrías de la tubería de aspiración en estudio. Se puede observar como en las tuberías excéntricas se producen unos vórtices tras el codo, que no son recomendables para conseguir regímenes adecuados de funcionamiento en el sistema de impulsión de una instalación hidráulica.



bombeo

Figura 9 | Líneas de flujo para la tubería sin reducción $(D_{entr} = D_{bomba} = 80 \text{ mm}; h_3 = 250 \text{ mm})$



6

Figura 10 | Líneas de flujo para la tubería con reducción concéntrica $(D_{entr} = 200 \text{ mm}; D_{bomba} = 80 \text{ mm}; h_3 = 250 \text{ mm})$



Figura 11 | Líneas de flujo para la tubería con reducción excéntrica superior (D_{entr} = 150 mm; D_{bomba} = 80 mm; h_3 = 250 mm)





En las Tablas 3, 4 y 5 se indican las velocidades y presiones máximas y mínimas obtenidas en cada una de las simulaciones realizadas.

Rodríguez-Orta et al. | Análisis dinámico del flujo en reducciones cónicas en la aspiración de grupos de bombeo

7

-

Domho	Matarial	Configuración	Øtubería	h3	Velocidad (m/s)		Presión (MPa)	
Domba	Material			(mm)	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
		Sin reducción	80	250	0.8577	5.4576	0.98733	1.0101
				500	1.1172	5.6040	0.98778	1.0108
		Con reducción concéntrica	150	250	0.1053	4.3441	1.0003	1.0137
				500	0.1009	4.2835	1.0003	1.0140
			200	250	0.0208	4.5255	0.9998	1.0137
				500	0.0171	4.3052	1.0003	1.0136
	Acero Cr-	Excéntrica superior	150	250	4.3441	0.0405	0.9972	1.0140
	Ni			500	4.2835	0.0586	0.9993	1.0137
			200	250	0.0208	4.8831	0.9947	1.0136
			200	500	0.0012	4.4125	0.9974	1.0136
		Excéntrica inferior	150 200	250	0.0676	4.6879	0.9966	1.0136
				500	0.0604	2.4877	0.9997	1.0055
				250	0.0192	4.8827	0.9947	1.0136
NB 65-125/120-110				500	0.0077	4.4440	0.9974	1.0136
A-F2-N-BAQE		Sin reducción	100	250	0.8577	5.4575	0.9873	1.0101
				500	1.1940	5.6830	0.9874	1.0105
		Con reducción concéntrica	150	250	0.1054	4.3515	1.0002	1.0136
				500	0.1033	4.2961	1.0003	1.0139
			200	250	0.0208	4.5243	0.9976	1.0136
				500	0.0171	4.3102	1.0003	1.0135
	DE 90	Excéntrica superior	150	250	0.0738	4.4829	0.9969	1.0135
	PE 80			500	0.0586	3.8349	0.9930	1.0137
			200	250	0.0208	4.8944	0.9947	1.0135
				500	0.0092	4.3808	0.9981	1.0139
		Excéntrica inferior	150	250	0.0362	4.5708	0.9958	1.0147
				500	0.0602	2.4877	0.9997	1.0055
			200	250	0.0192	4.8881	0.9947	1.0135
				500	0.0033	4.4670	0.9981	1.0139

 Tabla 3 | Velocidades y presiones mínimas y máximas en las distintas geometrías de la tubería de aspiración conectada a la bomba Grundfos NB

 65-125/120-110 A-F2-N-BAQE.

JIA 2017 | Línea Temática D

Rodríguez-Orta et al. | Análisis dinámico del flujo en reducciones cónicas en la aspiración de grupos de bombeo

8

Domho	Material	Configuración	Øtubería	h3	Velocidad (m/s)		Presió	Presión (MPa)	
Domba				(mm)	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	
		Cin na du ación	100	250	0.0198	2.9770	1.5956	1.6024	
		Sin reduccion		500	0.116	2.9009	1.5958	1.6026	
			150	250	0.0290	2.0165	1.6000	1.6029	
		Con reducción concéntrica		500	0.0545	1.9040	1.6001	1.6030	
			200	250	0.0483	2.0484	1.6000	1.6031	
				500	0.0104	1.9875	1.6000	1.6030	
	Acero Cr-		150	250	0.0343	1.9485	1.5995	1.6029	
	Ni	Excéntrica superior	150	500	0.0412	1.7598	1.5999	1.6030	
			200	250	0.0572	2.2088	1.5990	1.6030	
				500	0.0281	1.9439	1.5990	1.6030	
		Excéntrica inferior	150	250	0.0143	2.0464	1.5994	1.6029	
				500	0.0179	1.7965	1.5999	1.6030	
			200	250	0.0317	3.0930	1.5989	1.6030	
NBG 100-80-				500	0.0045	1.9983	1.5995	1.6030	
160/1// A-F2-B-		Sin reducción	100	250	0.0192	2.9771	1.5956	1.6023	
BAQE				500	0.1155	2.9010	1.5958	1.6026	
		Con reducción concéntrica	150	250	0.0290	2.0143	1.6000	1.6029	
				500	0.0546	1.9014	1.6000	1.6030	
			200	250	0.0490	2.0600	1.6001	1.6032	
				500	0.0104	1.9869	1.6000	1.6030	
	DE 90	Excéntrica superior	150	250	0.0688	1.9245	1.5996	1.6030	
	PE 80			500	0.0659	1.8466	1.6000	1.6031	
			200	250	0.0049	2.1423	1.5992	1.6030	
				500	0.0035	1.9263	1.5997	1.6030	
			150	250	0.0143	2.0436	1.5993	1.6029	
		D	150	500	0.0134	1.8663	1.6001	1.6033	
		Excentrica inferior	200	250	0.0444	2.1654	1.5995	1.6032	
			200	500	0.0071	1.9933	1.5996	1.6030	

 Tabla 4 | Velocidades y presiones mínimas y máximas en las distintas geometrías de la tubería de aspiración conectada a la bomba Grundfos

 NBG 100-80-160/177 A-F2-B-BAQE

Dombo	Matarial	Configuración	Øtubería	h3	Velocidad (m/s)		Presión (MPa)	
Domba	wraterial			(mm)	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
		Cin nadvanića	100	250	0.2107	4.1021	1.5917	1.6051
		Sin reduccion		500	0.2107	4.1021	1.5917	1.6051
		Con reducción concéntrica	150	250	0.0585	2.8568	1.6000	1.6057
				500	0.0980	2.7094	1.6001	1.6059
			200	250	0.0177	2.9057	1.6000	1.6059
				500	0.0173	2.8246	1.6001	1.6059
	Acero Cr-	Excéntrica superior	150	250	0.0600	2.7791	1.5990	1.6057
	Ni			500	0.0306	2.0204	1.5081	3.5319
			200	250	0.0072	3.1248	1.5980	1.6058
				500	0.0462	5.8831	1.5990	1.6062
NBGE 100-65-		Excéntrica inferior	150	250	0.1423	2.9449	1.5987	1.6057
				500	0.0122	2.5620	1.5997	1.6059
			200	250	0.0133	3.1829	1.5978	1.6058
				500	0.0050	2.7894	1.5991	1.6058
200/102 D-F2-N-		Sin reducción	100	250	0.2223	4.1153	1.5916	1.6050
BAQE				500	0.2223	4.1153	1.5916	1.6050
		Con reducción concéntrica	150	250	0.0584	2.8571	1.6000	1.6057
				500	0.0980	2.7093	1.6001	1.6059
			200	250	0.0177	2.9042	1.6000	1.6059
				500	0.0173	2.8225	1.6000	1.6058
	DE 90	Excéntrica superior	150	250	0.0745	2.7580	1.5993	1.6059
	PE 80			500	0.0924	2.6312	1.6001	1.6062
			200	250	0.0071	3.0547	1.5984	1.6059
				500	0.0291	2.9174	1.5991	1.6057
			150	250	0.1229	2.9592	1.5990	1.6059
		Excéntrica inferior	150	500	0.1267	2.6227	1.6000	1.6061
			200	250	0.0026	3.1817	1.5982	1.6059
			200	500	0.0058	2.8436	1.5993	1.6059

 Tabla 5 | Velocidades y presiones mínimas y máximas en las distintas geometrías de la tubería de aspiración conectada a la bomba Grundfos

 NBGE 100-65-200/162 D-F2-N-BAQE

CONCLUSIONES

Las bombas como convertidores de energía mecánica en energía hidráulica son, después de los motores eléctricos, los elementos que con mayor frecuencia se encuentran en todos los sectores productivos. Un diseño adecuado de los sistemas de impulsión es primordial para un esquema eficiente de funcionamiento que reduzca los costes de operación y mantenimiento. Los fallos de funcionamiento normalmente repercuten en un aumento significativo de los costes energéticos que son los principales costes de operación.

Los resultados previos de este trabajo, considerando diferentes criterios de diseño (según geometría de los conos y rango de caudales), muestran que un régimen de flujo más uniforme se puede conseguir con diseños óptimos de reducciones concéntricas, pero es necesario analizar con profundidad los distintos tipos de sistemas de impulsión y cómo éstos influyen en el transporte de las bolsas de aire, si llegan a formarse por bajas presiones, a lo largo de la red de tuberías.

En el análisis de sensibilidad realizado se aprecia que el parámetro que más influye en la distribución de velocidades y presiones es la longitud del cono de reducción h₃, de manera que para valores mayores de este parámetro, las distribuciones de velocidades y presiones se reparten de manera más homogénea, lo cual es recomendable para conseguir regímenes adecuados de funcionamiento en el sistema de impulsión de una instalación hidráulica.

REFERENCIAS

ANSI (American National Standards Institute). 2016. American National Standard for rotodynamic pumps for pump piping (ANSI/HI 9.6.6). Hydraulic Institute, New Jersey (EEUU).

Bloch, H.P. 2010. Eccentric reducers and straight runs of pipe at pump suction. Hidrocarbon Processing, September 9, 2010.

Karassik, I.J. 1989. Centrifugal pump clinic. Marcel Dekker (2º Ed.), Nueva York (EEUU).

Mackay, R. 2004. The practical pump handbook. Elsevier Advanced Technology, Oxford (Reino Unido).

- Mahaffey, R.M., Van Vuuren. S.J. 2014. Review of pump suction reducer selection: Eccentric o concentric reducers. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering* 56(3), 65-76.
- Shukla, S.N., Kshirsagar, J.T. 2008. Numerical prediction of air entrainment in pump intakes. *Proceedings of the Twenty-Fourth International Pump Users Symposium*, Texas A&M University System Turbomachinery Laboratory, Texas (EEUU).