

Diseño, construcción y montaje de un sistema de bombeo móvil con capacidad de $1\text{m}^3/\text{min}$ a fin de realizar pruebas hidrostáticas

Burgos Andrey & Amores Ramiro, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Quito - Ecuador

Resumen – Los sistemas de bombeo constituyen el principal mecanismo de transporte de fluidos en el campo industrial. Los mismos han evolucionado desde sistemas manuales hasta sistemas complejos capaces de satisfacer los requerimientos más exigentes de la ingeniería actual; siendo uno de ellos la realización de pruebas hidrostáticas en tanques de almacenamiento necesarias para comprobar la validez del diseño y construcción de los mismos.

El principal objetivo de este paper es demostrar las etapas del diseño, construcción y montaje en campo de un sistema de bombeo móvil con una capacidad de $1\text{m}^3/\text{min}$ para realizar pruebas hidrostáticas de acuerdo a la norma API 650, art. 7.3.6.6, transportando agua del río Payamino ubicado a 2000 metros de los tanques de almacenamiento T-B75111 y T-B74207, con una capacidad de almacenamiento de 11000 barriles cada uno, ambos pertenecientes a la empresa estatal PetroAmazonas.

El sistema desarrollado puede adaptarse a distintas longitudes de bombeo y diámetros de la tubería de descarga por lo que se destaca el estudio de capacidades de bombeo así como el análisis de costo por bombeo de barril de agua.

Índices – Sistema de Bombeo, Pruebas Hidrostáticas, Bombeo, API 650.

I. INTRODUCCIÓN

Un sistema de bombeo es un mecanismo mediante el cual es posible el transporte de fluidos sin alterar su densidad. La potencia requerida por un sistema de bombeo será determinada por las características del fluido que se requiere transportar, específicamente de su viscosidad, la diferencia de alturas entre un punto y otro del circuito de bombeo, longitud de tubería, diámetro de tubería, cantidad de accesorios y la ubicación geográfica sobre el nivel del mar

El diseño de un sistema de bombeo consiste en el cálculo y selección de bomba, motor, sistema de transmisión de potencia, etc., que permitan satisfacer las necesidades de los requerimientos operacionales. Aunque el factor económico suele ser una parte muy importante durante un diseño, para que esté correctamente realizado es necesario contemplar otros aspectos adicionales como la seguridad, fiabilidad, facilidad de mantenimiento, impacto ambiental y otros factores humanos [1].

Fox & McDonald [2], establecen los pasos para llevar a cabo el cálculo de pérdidas en tuberías, tanto en la succión como en la descarga aplicando las ecuaciones de flujo de Darcy-Weisbach y Colebrook-White. Crane [3], determina los valores teóricos a aplicarse en el cálculo de pérdidas por accesorios de tubería.

Para la selección de los elementos que forman parte del sistema de bombeo se aplica el método de ponderación de matrices. Este método consiste en realizar una matriz, la cual se guía por criterios de selección como: presión máxima, caudal máximo, costo, etc. Los cuales determinan la influencia que tienen dentro de una ponderación, y un factor de $\sum +1$ con el fin de que la ponderación no sea muy pequeña y se la pueda representar [4].

Para la transmisión de potencia y velocidad se emplean bandas que son elementos flexibles de transmisión de potencia que asienta firmemente en un conjunto de poleas acanaladas [5].

Megyesy [6], establece las ecuaciones para el cálculo de presión externa e interna en tanques de almacenamiento, necesarias para el diseño y construcción del tanque de almacenamiento de combustible del sistema de bombeo móvil.

Para completar el diseño del sistema de bombeo móvil se debe diseñar el skid que consiste en una estructura metálica que sostiene y aporta rigidez y forma a un objeto en su construcción y uso. Para el caso de un sistema de bombeo consta de un armazón que integra entre sí y sujeta tanto los componentes mecánicos, como el grupo motopropulsor y la estructura de protección.

Para el diseño del skid se debe tomar en cuenta los valores geométricos de mayor importancia. Estos valores se los obtiene de manuales técnicos de cada uno de los elementos que conforman el sistema. Para la selección de los perfiles a utilizar se debe llevar a cabo un análisis de rigidez en el

Este trabajo fue realizado con el apoyo y la supervisión de los Ingenieros, Oswaldo Mariño y Nicolás Páez, Director y Codirector respectivamente del proyecto de tesis: "Diseño, construcción y montaje de un sistema de bombeo móvil con capacidad de $1\text{m}^3/\text{min}$, para la empresa Saurus Ecuador a fin de realizar pruebas hidrostáticas".

Autores: A. Burgos y R. Amores, email: andbc-17@hotmail.com y ramiro_amores@hotmail.com respectivamente.

elemento que presenta mayores esfuerzos de deformación, estos son los apoyos de la carga más grande que tiene el sistema [7].

Este proyecto da una solución a un problema real mediante el diseño, construcción y puesta en marcha de un sistema de bombeo móvil a fin de realizar pruebas hidrostáticas de acuerdo a la norma API 650 art. 7.3.6.6 durante un período de 2 días.

El sistema tiene la capacidad de realizar cualquier tipo de trabajo adicional al solicitado relacionado con transporte de fluidos con densidades similares a la del agua, además al ser un sistema móvil la empresa solicitante podrá disponer de su servicio conforme a sus necesidades.

II. ESTUDIOS EXPERIMENTALES

El objetivo principal de este estudio es diseñar y determinar los parámetros de funcionamiento más eficientes para realizar el bombeo de agua de un punto hacia otro.

A. Caudal vs. Presión

Cada aplicación para un sistema de bombeo se maneja con presiones requeridas a la salida de la bomba. Para recolectar esta serie de datos se colocó un manómetro justo en la descarga de la bomba, de tal manera que los datos obtenidos sean reales. A la vez que se toman los datos de presión se mide el tiempo que demora en llenar una piscina de 4 metros cúbicos de capacidad para de este modo poder calcular el caudal real a la salida de la bomba.

B. Caudal Teórico vs. Caudal Practico

El caudal teórico es el valor que obtenemos aplicando los cálculos de mecánica de fluidos, mientras que el caudal práctico es el valor que se obtiene una vez construido y probado el sistema de bombeo. Controlando un volumen de fluido fijo de descarga se toma el tiempo empleado para este fin para de esta manera lograr determinar el caudal real existente.

C. Presión a la Salida de la Bomba vs. Presión a la llegada al tanque de almacenamiento.

En los sistemas de transporte de fluidos existen pérdidas energéticas provocadas tanto por la misma tubería, accesorios, posición geográfica, etc. Para determinar el valor a la salida inmediata de la bomba se coloca un manómetro en esa posición. Un segundo manómetro es colocado al en la desembocadura de la tubería de descarga, después de un recorrido de 2000 metros de distancia. El objetivo es comparar las lecturas de ambas presiones y determinar de manera real las pérdidas existentes en el proceso de transporte del fluido.

III. RESULTADOS

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos al medir y relacionar la presión y caudal obtenidos a la salida del sistema de bombeo móvil.

TABLA I
DATOS OBTENIDOS DE LA PRESIÓN A LA SALIDA DE LA BOMBA RELACIONADOS CON EL CAUDAL PRÁCTICO RESULTANTE.

CAUDAL [m3/min] PRACTICO	PRESION [PSI] Salida bomba
0,64	374
0,66	368
0,71	348
0,74	328
0,79	290
0,77	297
0,83	281
0,87	260
0,91	252
0,96	239
1,04	224
1,07	213

La Figura 1 grafica la relación existente entre la presión y el caudal real a la salida de la bomba. Se puede observar en la gráfica que a mayor caudal la presión disminuye y viceversa.

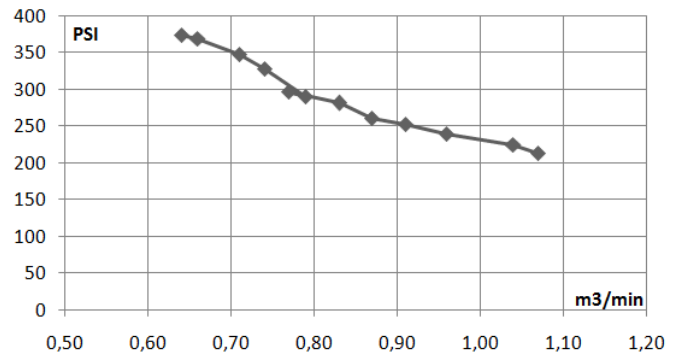


Fig. 1. Relación Presión vs. Caudal a la salida de la bomba

En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos al medir el caudal práctico o real relacionado con el caudal obtenido de manera teórica.

TABLA II
DATOS OBTENIDOS DEL CAUDAL A LA SALIDA DE LA BOMBA RELACIONADOS CON EL CAUDAL TEÓRICO RESULTANTE.

CAUDAL [m3/min] TEORICO	CAUDAL [m3/min] PRACTICO
0,64	0,64
0,68	0,66
0,72	0,71
0,76	0,74

0,80	0,79
0,78	0,77
0,83	0,83
0,88	0,87
0,94	0,91
0,99	0,96
1,04	1,04
1,09	1,07

La Figura 2 grafica la relación existente entre el caudal teórico y el caudal práctico o real obtenido a la salida de la bomba. En la gráfica se nota una ligera variación entre ambas curvas, esto debido a que los datos reales presentan una variación aproximada del 2% con relación a los datos teóricos.

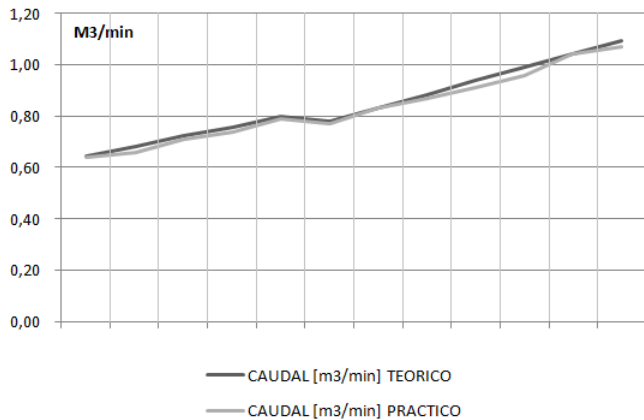


Fig. 2. Relación Caudal Práctico vs. Caudal Teórico

En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos al medir la presión a la salida de la bomba y la presión a la llegada al tanque de almacenamiento ubicado a 2000 metros de distancia.

TABLA III
DATOS OBTENIDOS DE LA PRESIÓN A LA SALIDA DE LA BOMBA Y A LA LLEGADA AL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

PRESION [PSI] Salida bomba	PRESION [PSI] Entrada tanque
374	231
368	215
348	193
328	178
290	139
297	144
281	137
260	115
252	104
239	92
224	80
213	70

La Figura 3 grafica la relación entre la presión medida a la salida de la bomba y la presión medida a la llegada al tanque. El espacio que se observa entre las curvas son las pérdidas generadas durante el proceso de bombeo y transporte del fluido.

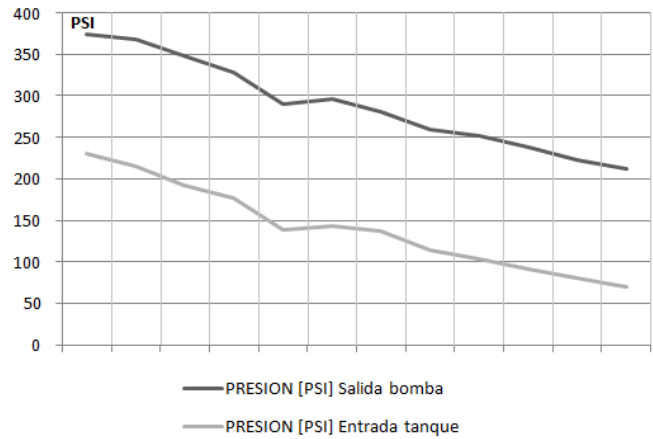


Fig. 3. Presión a la salida de la bomba vs. Presión a la llegada al tanque

IV. CONCLUSIONES

El sistema de bombeo móvil con capacidad de 1m³/min, satisface exitosamente los requerimientos establecidos por PetroAmazonas para realizar pruebas hidrostáticas en tanques de almacenamiento según la norma API 650 art 7.3.6.6.

El sistema tiene una capacidad de bombear 1m³/min y una presión máxima de 9929 KPa a la salida de la bomba, por una tubería de transporte de 4 pulgadas de diámetro y cédula 40. Al seleccionar una caja de velocidades con una amplia gama de relaciones de transmisión aumentan las prestaciones del sistema de bombeo.

Se determinó que las pérdidas teóricas del sistema en la succión son de 1120,9 KPa tomando en cuenta un diámetro seleccionado de 6 pulg.

Se seleccionaron los componentes del sistema más adecuados de acuerdo al método de ponderación de matrices.

A. Presión vs. Longitud de Tubería

La gráfica que se muestra a continuación muestra la presión requerida para bombear 1m³/min de caudal de agua por cuatro tipos diferentes de diámetros de tubería.

En la gráfica se puede apreciar la relación que existe entre el diámetro y la longitud de tubería para tener un bombeo eficiente.

Basándose en esta gráfica se pueden determinar las diferentes prestaciones que se le puede dar al sistema de bombeo diseñado.

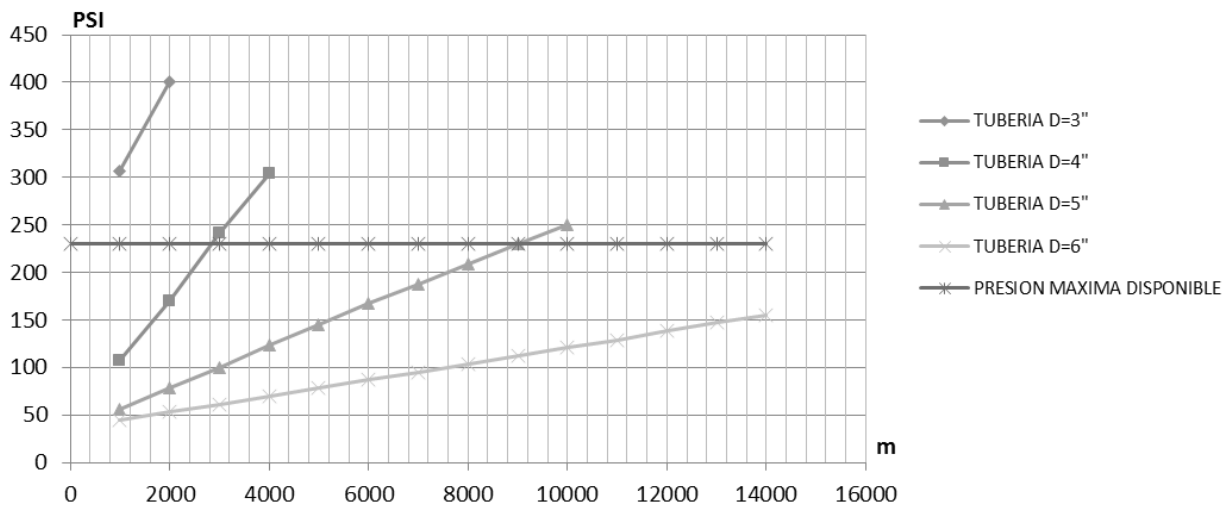


Fig. 4. Presión Requerida para Bombear 1m³/min vs. Longitud de Tubería

B. Costo del bombeo

El costo de bombeo viene representado por varios conceptos que para el desarrollo de este proyecto fueron considerados, es decir, se analizó costo total del sistema, de insumos, costo de combustible y consumo de combustible de acuerdo a la potencia desarrollada para cumplir con las condiciones de operación que se le impongan al sistema, obteniendo la tabla que se muestra a continuación, en donde se puede notar los diferentes costos de bombeo de acuerdo a las variables más sensibles de este sistema que son el diámetro de tubería de descarga y la longitud de la misma.

TABLA IV
COSTOS DEL BOMBEO DE UN BARRIL DE AGUA

Diámetro de tubería [pulg]	Distancia de bombeo [m]	Costo [USD]
4	500	0.18
	1000	0.22
	2000	0.25
	2500	0.27
5	2000	0.15
	4000	0.18
	6000	0.25
	9000	0.27
6	2000	0.15
	4000	0.15
	6000	0.16
	9000	0.18
	14000	0.25

A partir de este análisis podemos establecer un diseño de líneas de descarga eficiente que nos permita tener un bajo costo de bombeo, tomando en cuenta obviamente la situación geográfica y distancia entre la fuente de bombeo y el depósito de descarga.

V. REFERENCIAS

- [1] McNaughton, K. (2010). *Bomas, selección, uso y mantenimiento*.
- [2] Fox, & McDonald. (2003). *Introducción a la Mecánica de Fluidos*. Nueva York: McGraw-Hill.
- [3] CRANE. (2011). *Flujo de Fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*. McGraw-Hill.
- [4] Varo, J. (2009). *Gestión Estratégica de la Calidad*.
- [5] Mott, R. L. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas*. Mexico: Prentice Hall.
- [6] Megyesy, E. F. (2008). *Manual de Recipientes a Presión*. LIMUSA S.A.
- [7] Budynas, R., & Nisbet, J. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. McGraw-Hill.