

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA GENERAR EXPERIMENTALMENTE CURVAS CARACTERÍSTICAS DE BOMBAS CENTRÍFUGAS

CAMILO ANDRÉS MELO , RICHARD ANDERSON PALACIOS
CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DE NARIÑO
PASTO NARIÑO

C-ami-andres14@hotmail.com, Richard-palacio@hotmail.com.

Resumen - En el siguiente estudio se plantea un banco de pruebas para generar experimentalmente curvas características de bombas centrífugas para poder realizar prácticas en la parte de la hidráulica específicamente en el área de las curvas características; prácticas que permitirá conocer los beneficios que tiene el poder interpretar de forma precisa estas curvas y de este modo poder comparar datos teóricos con prácticos, lo cual permite llegar a conclusiones más claras y precisas de las prácticas planteadas por el docente. De igual forma se busca obtener nueva información experimental a futuro acerca de las bombas centrífugas que permitan mejorar los procesos de calidad optimizando recursos. Por otro lado se busca a través de esta investigación crear y brindar un servicio académico a otras entidades o al público en general que requieran investigar temas relacionados a la interpretación precisa de las curvas características de las bombas centrífugas, debido a que su aplicación en la industria de alimentos, sistemas de riego y empresas de obras sanitarias actualmente es alta.

Abstract - In the following study a test bench is proposed to experimentally generate characteristic curves of centrifugal pumps due to be able to perform practices in the hydraulics part, specifically in the area of characteristic curves; Practices that will allow to know the benefits of being able to interpret these curves in a precise way and in this way to be able to compare theoretical data with practical ones, which allows to arrive at more clear and precise conclusions of the practices raised by the teacher. Similarly, we seek to obtain new experimental information in the future about centrifugal pumps that allow improving quality processes by optimizing resources. On the other hand, this research seeks to create and provide an academic service to other entities or the general public that need to investigate issues related to the precise interpretation of the characteristic curves of centrifugal pumps, because their application in the industry of food, irrigation systems and waterworks companies is currently high.

I. INTRODUCCIÓN

Las bombas hidráulicas se pueden catalogar como máquinas relativamente sencillas ya que su función principal es transferir líquidos o materiales viscosos de un punto A un punto B. Cabe mencionar que las bombas hidráulicas son sin duda una de los mecanismos más indispensables para la humanidad. Con el banco de pruebas de bombas centrífugas

se puede predecir el funcionamiento de las bombas en instalaciones de bombeo a un determinado número de revoluciones, encontrar el punto óptimo de funcionamiento, escoger la bomba adecuada para la instalación hidráulica en estudio, definir parámetros hidráulicos para evitar el problema de la cavitación y evaluar las características de las bombas con diferentes diámetros de impulsores.

Las bombas en las instalaciones de bombeo representan la altura y el caudal que las propias máquinas van a proporcionar en una instalación hidráulica en específico, este caudal y altura vienen determinados por las capacidades de la máquina y por las características de la propia instalación.

II. BOMBAS CENTRÍFUGAS

Las bombas centrífugas se las conocen también como bombas roto dinámicas, son actualmente las máquinas más utilizadas para bombear líquidos en general. Las bombas centrífugas son siempre rotativas y son un tipo de bombas hidráulicas que transforma la energía mecánica de un impulsor en energía cinética o de presión de un fluido incompresible.

Las bombas centrífugas tienen amplias aplicaciones en los sistemas hidráulicos ya que permiten utilizar un fluido incompresible para convertirlo en un trabajo útil, brindando grandes beneficios en sus aplicaciones a la humanidad.

A. Curvas características de una bomba altura vs caudal.

La curva de funcionamiento de una bomba es una gráfica que muestra la energía total desarrollada por la bomba en función del caudal entregado por la misma, a una velocidad de giro constante. En la siguiente grafica se puede observar que la altura entregada por la bomba disminuye a medida que su caudal aumenta. El cálculo de la altura total entregada por la bomba requiere que se aplique Bernoulli entre la succión (entrada) y descarga (salía) de la bomba.

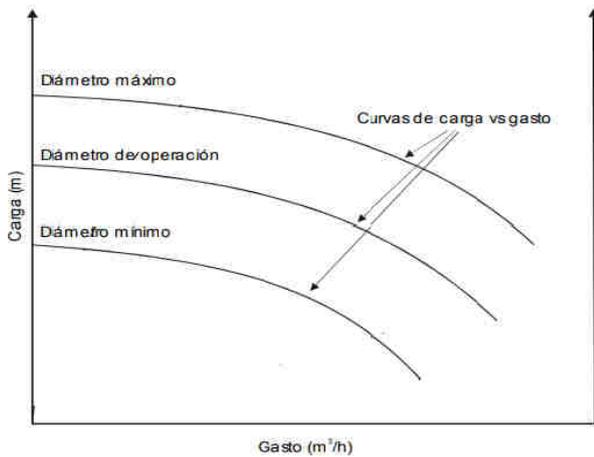


Fig. 1 Curvas características de una bomba altura vs caudal

B. Formula de altura manométrica

$$H_{man} = \frac{P_d - P_s}{\gamma}$$

H_{man} = Altura manométrica

P_d = Presión de descarga $\frac{N}{m^2}$

P_s = Presión de succión $\frac{N}{m^2}$

γ = Peso específico del fluido $\frac{N}{m^3}$

C. Curvas características de eficiencia de la bomba

La eficiencia de una bomba es la relación entre la potencia hidráulica agregada por la bomba al fluido y la potencia eléctrica consumida por el motor, se puede concluir que la eficiencia es 0 cuando el caudal es 0 y a medida que el caudal aumenta la eficiencia aumenta hasta un valor máximo el cual se lo denomina como el punto máximo de rendimiento. Pero a partir de este punto a medida que aumenta el caudal la eficiencia empieza a disminuir. Siempre y cuando se trabaje con una velocidad de giro constante.

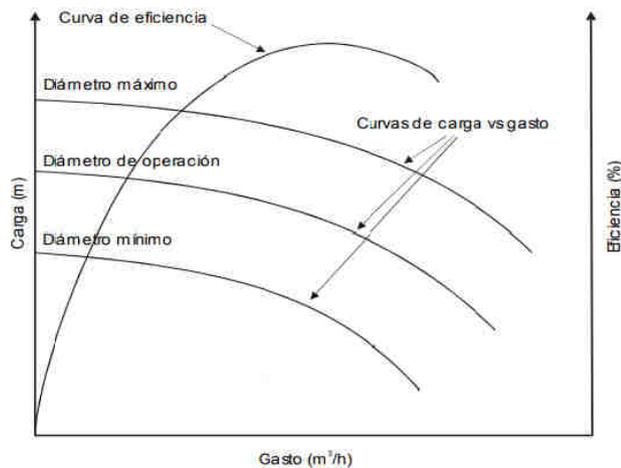


Fig. 2 Curvas características de eficiencia de la bomba

D. Formula eficiencia del motor eléctrico

$$E_f = \frac{hp * 746}{V * I}$$

E_f = Eficiencia de un motor eléctrico

V = Voltaje

I = Corriente

E. Potencia hidraulica vs caudal.

Esta curva es del tipo ascendente, pues al impulsar un caudal de líquido mayor, la energía que es necesaria aplicar al eje de la bomba deberá ser también mayor. Teniendo en cuenta las pérdidas que se producen en las bombas hidráulicas como: perdidas mecánicas, perdidas hidráulicas y las perdidas volumétricas

F. Formula de potencia hidráulica

$$P_H = \gamma * Q * H_{man}$$

P_H = Potencia hidráulica

γ = Peso específico del fluido $\frac{N}{m^3}$

Q = Caudal $\frac{L}{min}$

H_{man} = Altura manométrica (m)

G. Curvas características del sistema de bombeo.

La curva de un sistema de bombeo es una gráfica que muestra la altura de bombeo requerida en función del caudal a una velocidad de giro constante. La altura de bombeo requerida por el sistema es igual a la elevación que la bomba le debe proporcionar al fluido más las pérdidas totales de carga en todo el sistema.

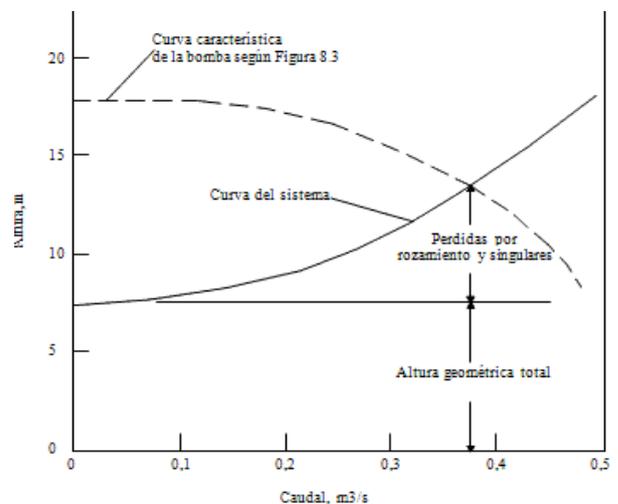


Fig. 3 Curvas características del sistema de bombeo

H. Formula del rendimiento del sistema

$$Q = V * A$$

$$Q = \text{Caudal } \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$V = \text{Velocidad promedio } \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$A = \text{Área de sección transversal } \text{m}^2$$

Despejando optémosnos:

$$V = \frac{Q}{A}$$

I. Área de sección transversal línea de succión

$$A = \frac{\pi}{4} * D^2$$

III. CURVAS OBTENIDAS EN EL BANCO DE PRUEBAS DE BOMBAS CENTRIFUGAS TRAYECTORIA 1.

Datos experimentales obtenidos con el banco de pruebas de bombas centrífugas

TABLA 1
DATOS EXPERIMENTALES DEL BANCO DE PRUEBAS

P. succión cmhg	P. descarga kg/cm ²	Caudal L/H
6,1	1,15	1832
6	1,15	1832
6	1,2	1749
5,5	1,4	1666
2,5	1,9	1417
2	2,3	1150
0	2,9	749
0	3,4	366
0	3,8	150
0	4	40

TABLA 2
DATOS OBTENIDOS APLICANDO LA FORMULA DE LA ALTURA MANOMÉTRICA

H. manométrica	Caudal L/min
11,04611193	30,53944
11,05970234	30,53944
11,57601223	29,15583
13,70920387	27,77222
19,28001529	23,62139
23,47844648	19,1705
29,9459735	12,48583
35,10907238	6,10122
39,23955148	2,5005
41,30479103	0,6668

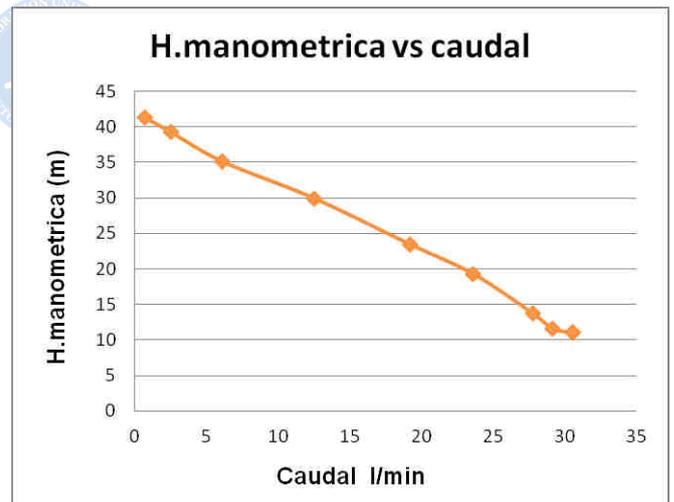


Fig. 4 Curva característica altura manométrica vs caudal

TABLA 3
DATOS OBTENIDOS APLICANDO LA FORMULA DE LA POTENCIA HIDRÁULICA

P. hidráulica (W)	Caudal m ³ /S
55,14881151	0,00050893
55,21666302	0,00050893
55,17597743	0,000485872
62,24270822	0,000462815
74,45236075	0,000393643
73,58146771	0,00031947
61,12537019	0,000208072
35,01883462	0,000101675
16,0404498	0,00004167
4,5025824	0,000011112

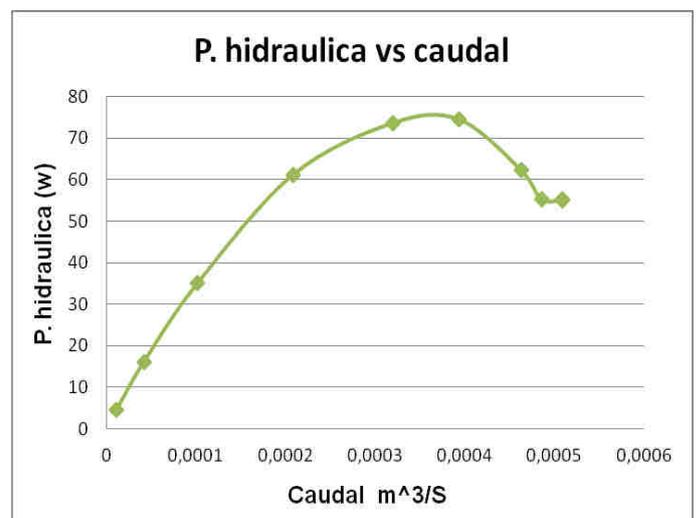


Fig. 5 Curva característica potencia hidráulica vs caudal

TABLA 4

DATOS OBTENIDOS APLICANDO LA FÓRMULA DEL RENDIMIENTO DEL SISTEMA

Velocidad	Caudal m ³ /S	HL(M)
1,961193064	0,00050893	51,83115029
1,961193064	0,00050893	51,83115029
1,872339884	0,000485872	47,24104844
1,783486705	0,000462815	42,86372428
1,516927168	0,000393643	31,00841795
1,231098266	0,00031947	20,42375487
0,801819653	0,000208072	8,663702763
0,391810405	0,000101675	2,068721744
0,160578035	0,00004167	0,34747409
0,042820f809	0,000011112	0,024709269

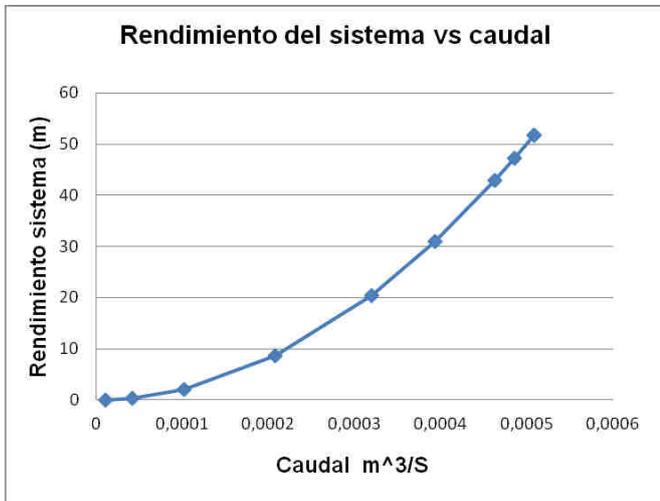


Fig. 6 Curva característica del rendimiento del sistema vs caudal

IV. CURVAS OBTENIDAS EN EL BANCO DE PRUEBAS DE BOMBAS CENTRIFUGAS TRAYECTORIA 2 (BOMBAS CONECTADAS EN PARALEL)

Datos experimentales obtenidos con el banco de pruebas de bombas centrifugas

TABLA 5
DATOS EXPERIMENTALES DEL BANCO DE PRUEBAS

P. succión cmhg	P. descarga kg/cm ²	Caudal L/H
10	1	2252
9	1,2	2166
9	1,3	2150
8	1,4	2086
6	1,8	1749
2	2,4	800
2	2,8	300
0	3	50



TABLA 6

DATOS OBTENIDOS APLICANDO LA FORMULA DE LA ALTURA MANOMÉTRICA

H. manométrica	Caudal l/min
8,967155963	37,54084
11,16829969	36,10722
12,20091947	35,8405
13,36944343	34,77362
17,77173089	29,15583
24,51106626	13,336
28,64154536	5,001
30,97859327	0,8335

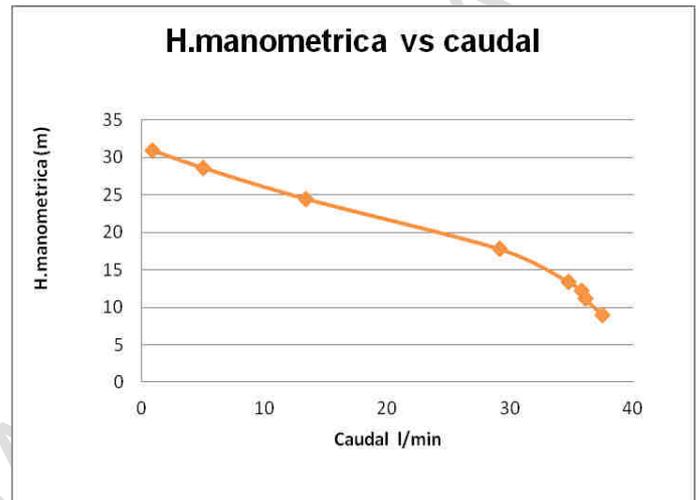


Fig. 7 Curva característica altura manométrica vs caudal

TABLA 7

DATOS OBTENIDOS APLICANDO LA FORMULA DE LA POTENCIA HIDRÁULICA

P. hidráulica	Caudal m ³ /S
55,0331483	0,000625606
65,92448724	0,000601715
71,48785552	0,00059727
76,00267546	0,000579491
84,70728974	0,000485872
53,43839917	0,00022224
23,41633649	0,00008334
4,221171	0,00001389



Tabla 9

Datos experimentales del banco de pruebas

P. succión cmhg	P. descarga kg/cm ²	Caudal L/H
7	1	1832
7	1,1	1790
6,5	1,15	1780
6,5	1,2	1770
6	1,6	1749
4,3	2,4	1583
2	3,6	1249
0	4,6	1083
0	5,2	600
0	6	300

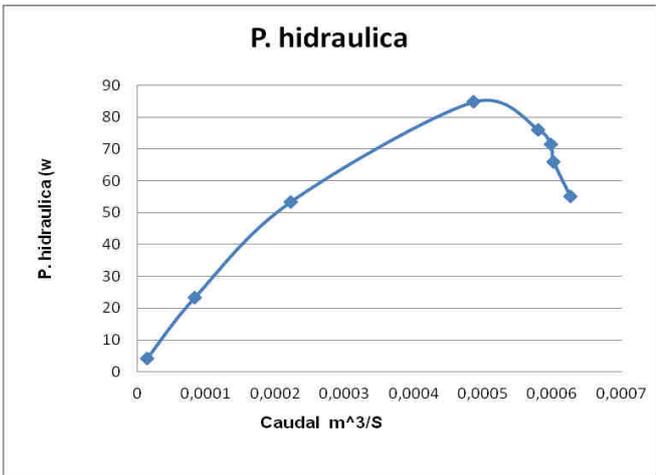


Fig. 8 Curva característica potencia hidráulica vs caudal

TABLA 8

DATOS OBTENIDOS APLICANDO LA FÓRMULA DEL RENDIMIENTO DEL SISTEMA

Velocidad	Caudal	HL
2,410811561	0,000625606	78,32072174
2,318746821	0,000601715	72,45307349
2,301618497	0,00059727	71,38662145
2,233105202	0,000579491	67,19988298
1,872339884	0,000485872	47,24104844
0,856416185	0,00022224	9,883707459
0,321156069	0,00008334	1,389896361
0,053526012	0,00001389	0,038608232

TABLA 10

DATOS OBTENIDOS APLICANDO LA FORMULA DE LA ALTURA MANOMÉTRICA

H. manométrica	Caudal l/min
9,374868502	30,53944
10,40748828	29,8393
10,99175025	29,6726
11,50806014	29,5059
15,70649134	29,15583
24,19848665	26,38861
36,90250357	20,82083
47,50050968	18,05361
53,69622834	10,002
61,95718654	5,001

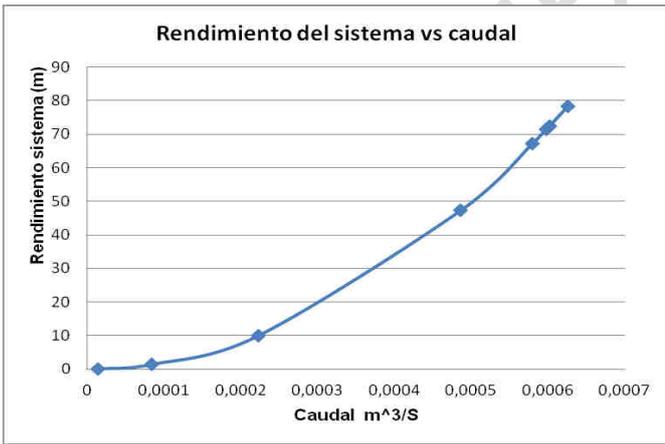


Fig. 9 Curva característica del rendimiento del sistema vs caudal

V. CURVAS OBTENIDAS EN EL BANCO DE PRUEBAS DE BOMBAS CENTRIFUGAS TRAYECTORIA 2 (BOMBAS CONECTADAS EN SERIE)

Datos experimentales obtenidos con el banco de pruebas de bombas centrifugas

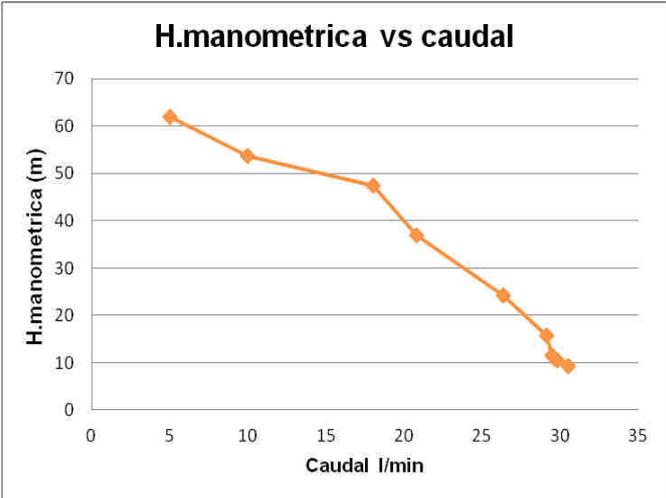


Fig. 10 Curva característica altura manométrica vs caudal

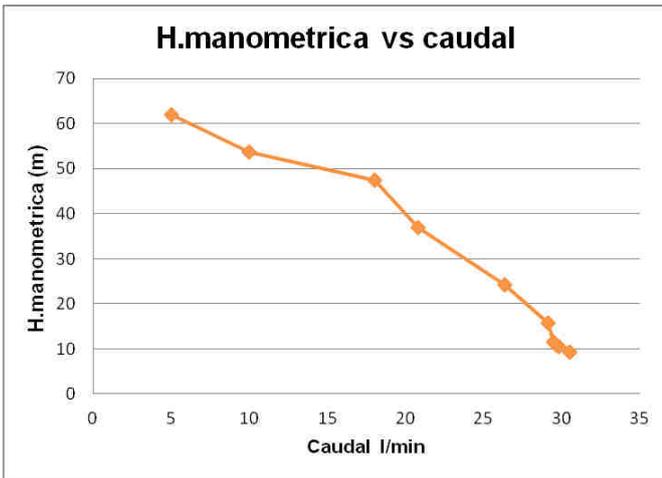


Fig. 11 Curva característica altura manométrica vs caudal



TABLA 12

DATOS EXPERIMENTALES DEL BANCO DE PRUEBAS

Velocidad	HL (m)	caudal m ³ /S
1,961193064	51,8311503	0,00050893
1,916231214	49,4818548	0,00049726
1,905526012	48,9305292	0,00049448
1,894820809	48,3822923	0,00049171
1,872339884	47,2410484	0,00048587
1,694633526	38,6991778	0,00043976
1,337079769	24,0915524	0,00034697
1,15937341	18,1132684	0,00030086
0,642312139	5,55958545	0,00016668
0,321156069	1,38989636	0,00008334

TABLA 11

DATOS OBTENIDOS APLICANDO LA FORMULA DE LA POTENCIA HIDRÁULICA

P. hidráulica	Caudal m ³ /S
46,80496263	0,00050893
50,76918715	0,00049726
53,31974985	0,00049448
55,51069158	0,000491706
74,86351897	0,000485872
104,3927576	0,000439757
125,6086413	0,000346972
140,1935313	0,000300857
87,8003568	0,00016668
50,654052	0,00008334

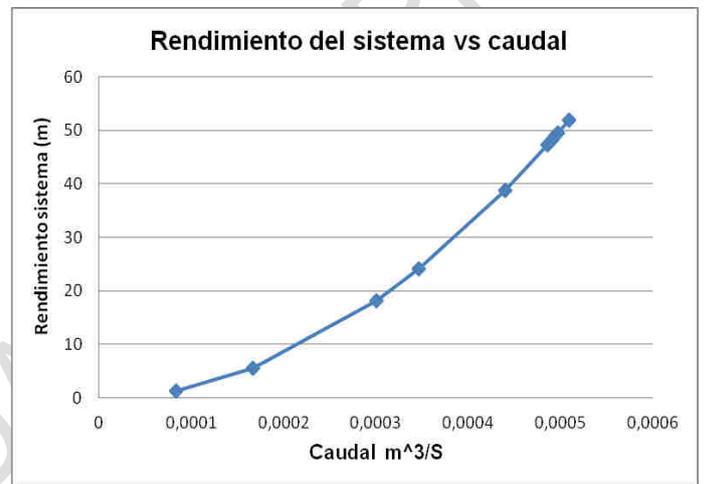


Fig. 13 Curva característica del rendimiento del sistema vs caudal

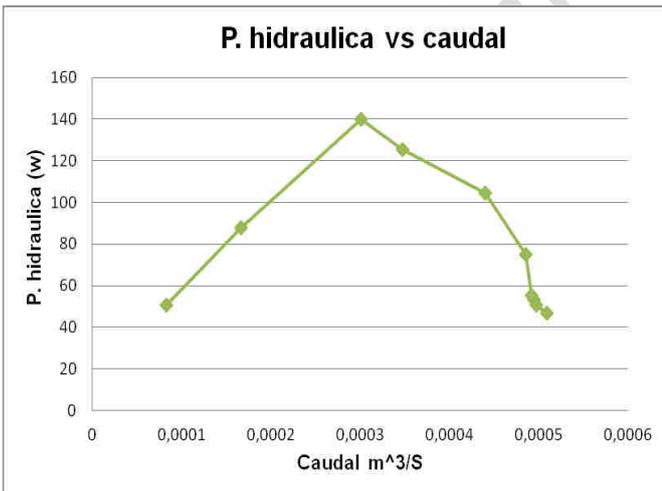


Fig. 12 Curva característica del rendimiento del sistema vs caudal

VI. ANALISIS ESTRUCTURALES

TABLA 13

TIPO DE CARGA APLICADA

Tipo de carga	Presión
Magnitud	0,996 psi

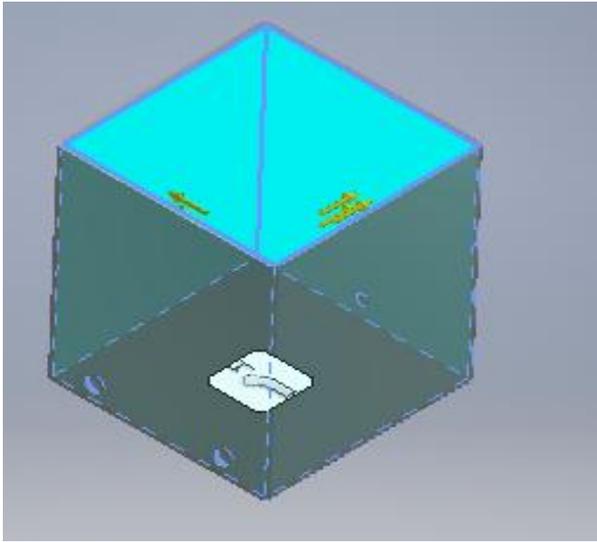


Fig. 14 Cargas aplicadas

Tabla 14

TIPO DE CARGA APLICADA

Tipo de carga	Presión
Magnitud	108.807 psi

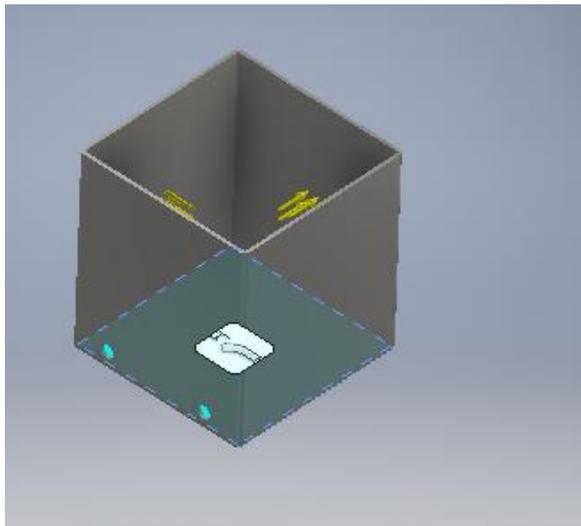


Fig. 15 Carga aplicad

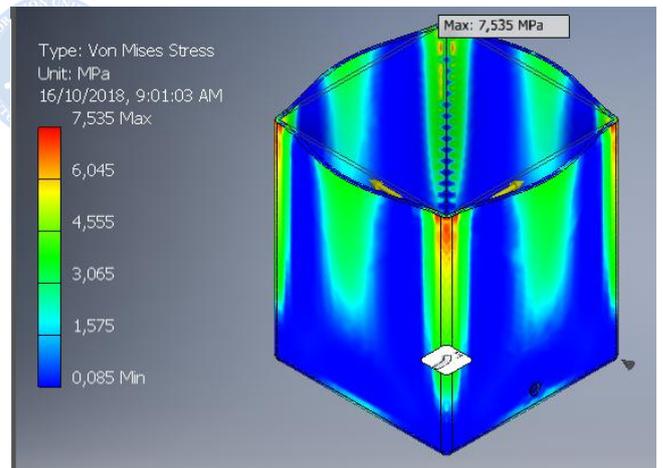


Fig. 16 Tensión de von mises stress

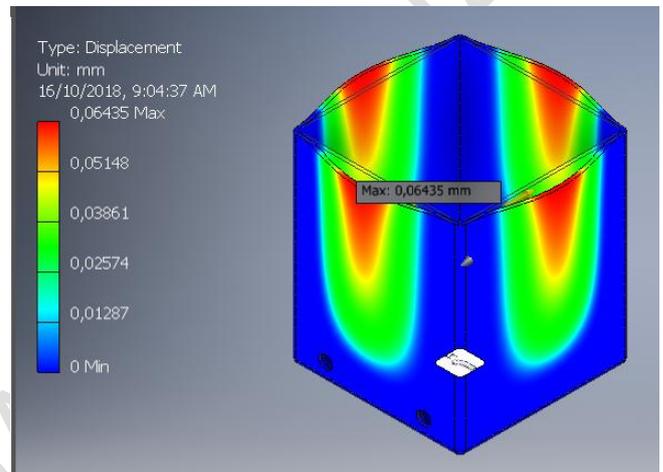


Fig. 17 Desplazamiento

Tabla 15

Carga aplicada

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	440,920 lbforce
Vector X	0,000 lbforce
Vector Y	0,000 lbforce
Vector Z	-440,920 lbforce



VII. CONCLUSIONES

La selección de las bombas centrífugas de ½ hp satisface correctamente las necesidades de las diferentes trayectorias planteadas del banco de pruebas ya que está por encima de la potencia máxima requerida.

El circuito hidráulico realiza 4 trayectorias independientes, trayectoria bomba 1, trayectoria bomba 2, trayectoria en serie y trayectoria en paralelo, Siendo un banco de pruebas semiautomatizado por medio de variadores de velocidad que permiten controlar las rpm del motor a diferentes condiciones de carga.

Se compararon las curvas características teóricas con las curvas obtenidas experimentalmente obteniendo un margen de error mínimo y comprobando que las bombas trabajan por fuera de las curvas del sistema.

Se determino las relaciones entre características como caudal, altura manométrica, potencia hidráulica, rendimiento del sistema y eficiencia total logrando conocer a profundidad las características y funcionamiento de las bombas centrífugas.

Para diseñar un sistema en donde se requiere un aumento de caudal con una carga relativamente baja se utiliza conexiones en paralelo y para diseños que se requiera aumentar la carga con un caudal bajo se utiliza conexiones en serie.

Un factor muy importante para el funcionamiento correcto de una bomba centrífuga es evitar el efecto de cavitación, tanto para un buen rendimiento como para evitar daños en el impulsor

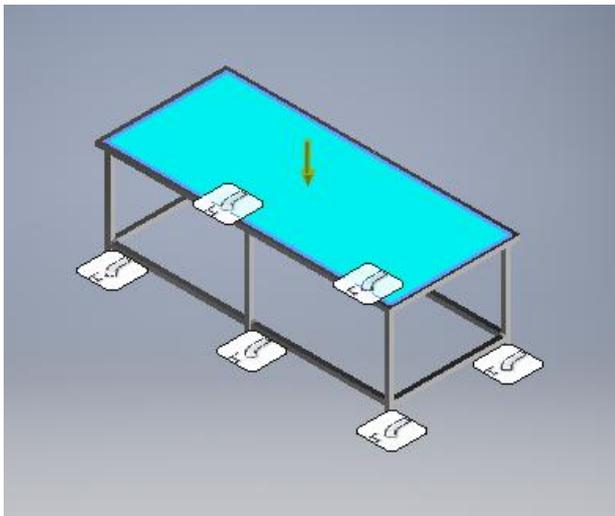


Fig. 18 Cara en donde se aplica la carga

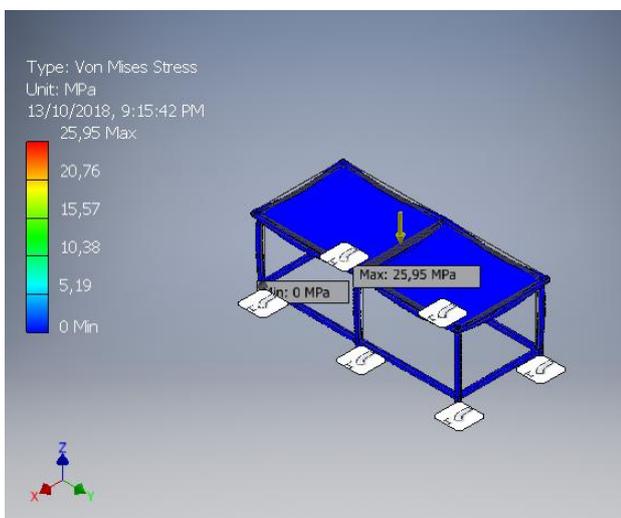


Fig. 19 Tension de von mises stress

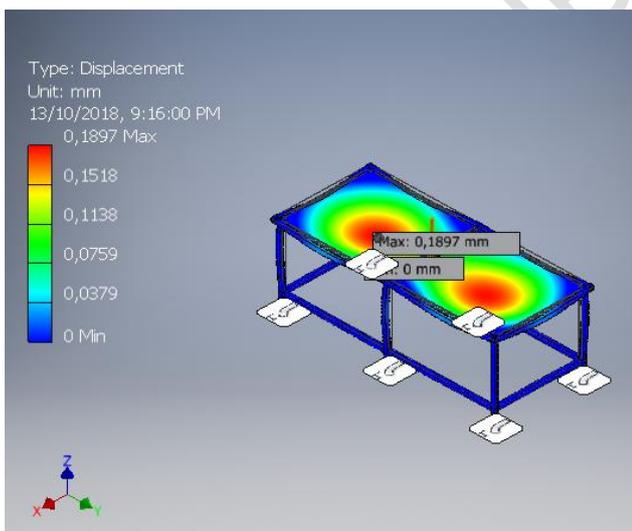


Fig. 20 Desplazamient

VIII. RECOMENDACIONES

Implementar válvulas de regulación de caudal en la salida del circuito hidráulico para manejar la apertura y cierre a diferentes ángulos de trabajo de este modo obtener más puntos de operación a la hora de graficar las curvas características de las bombas centrífugas.

Implementar con sensores de de presión en la aspiración, sensores de presión en la descarga, sensores de caudal y un software que permita medir desde un computador los parámetros más representativos de las bombas centrífugas y tener un equipo totalmente automatizado.

Verificar las conexiones realizadas del panel de control, variadores de velocidad y motobombas sean correctas de este modo asegurar un óptimo funcionamiento de los instrumentos del proceso, de este modo poder dirigir las entradas y Salidas analógicas y digitales del variador de velocidad hacia la motobomba de una forma correcta.

Las bombas centrífugas no deben ser operadas con las válvulas estranguladoras totalmente cerradas por un largo

periodo de tiempo ya que puede causar daños interno de las mismas.



Mantener el tanque de almacenamiento de agua vacío cuando no esté en funcionamiento para prevenir un impacto ambiental, debido a que el agua acumulada a largo tiempo proporciona el crecimiento de bacterias y hongos perjudiciales para la salud.

Instalar puntos de agua cercanos al banco de pruebas de bombas centrífugas para el abastecimiento del tanque de almacenamiento, además implementar esquemas eléctricos visibles con las conexiones correctas tanto de los variadores de velocidad como el de las bombas centrífugas.

Realizar el tipo de mantenimiento que requiera el banco de pruebas de bombas centrífugas descrito con anterioridad.

REFERENCIAS

[1] COLOMBIA, MINISTERIO DE PROTECCIÓN SOCIAL. Decreto 1295 de 1994. Diario oficial. Bogotá D.C.: No. 41.405, del 24 de junio de 1994.

[2] ALCALDÍA DE BOGOTÁ. Decreto 55 de 2015: Por el cual se reglamenta la afiliación de estudiantes al Sistema General de Riesgos Laborales y se dictan otras disposiciones. Diario oficial. Bogotá D.C.: No. 49394 de enero 14 de 2015.

[3] CALAHORRANO PÉREZ, Iván y ÁGUILA DÍAZ, Freddy. Diseño y construcción de un banco de pruebas de bombas centrífugas conectado en serie y paralelo. Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico. Universidad Politécnica Salesiana, Programa de Ingeniería Mecánica. Quito: Universidad Politécnica Salesiana, 2011. 220p.

[4] CALAHORRANO PÉREZ, Iván y ÁGUILA DÍAZ, Freddy. Diseño y construcción de un banco de pruebas de bombas centrífugas conectado en serie y paralelo. Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico. Universidad Politécnica Salesiana, Programa de Ingeniería Mecánica. Quito: Universidad Politécnica Salesiana, 2011. 258p.

[5] Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas DANE. 2015. p. 126

[6] MOTT, Robert L y UNTERNER, Joseph. Mecánica de fluidos. 7a edición. México: Pearson, (s.f). 320p.

[7] NARVÁEZ, S. Evolución Urbana. Historia de San Juan de Pasto Siglo XIX. Historia. Fonda Mixta de Cultura Nariño. 1997. 148p.