

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TRES IMPULSORES INTERCAMBIABLES
PARA LAS PRÁCTICAS EXPERIMENTALES DEL LABORATORIO DE MÁQUINAS
HIDRÁULICAS DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA DE
BUCARAMANGA



SANTIAGO EMILIO SANCHEZ MIRANDA

ID: 000241493

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA-COLOMBIA

2018

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TRES IMPULSORES INTERCAMBIABLES
PARA LAS PRÁCTICAS EXPERIMENTALES DEL LABORATORIO DE MÁQUINAS
HIDRÁULICAS DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA DE
BUCARAMANGA

SANTIAGO EMILIO SANCHEZ MIRANDA

ID: 000241493

Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero mecánico

DIRECTOR

ING. EMIL HERNÁNDEZ ARROYO

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA-COLOMBIA

2018

Firma del presidente de jurados

Firma del jurado

Firma del jurado

Nota de aceptación:

DEDICATORIA

“Dedicado a Dios que me permitió terminar mi carrera.

A mi mamá por su amor, apoyo y paciencia.

A mis abuelos por su respaldo en todo momento.

A mi papá y mi hermana por los ánimos y fortalezas que me brindaron.

A Daniela por acompañarme en todo este proceso y ser mi guía.

A mis amigos por ser mis compañeros incondicionales y ayudarme a mejorar.”

Santiago Emilio Sánchez Miranda

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios que me dio la fortaleza y los medios para culminar las metas y objetivos que me propuse.

A mis padres y familiares que me ayudaron a tener los recursos para continuar mis estudios.

Al ingeniero Emil Hernández por su colaboración y apoyo para encontrar la solución a los problemas presentados durante el proyecto.

A mis compañeros de carrera que me ayudaron a mejorar.

A mis profesores que me brindaron su sabiduría durante toda la carrera para poder aplicarla.

Santiago Emilio Sánchez Miranda

LISTA DE CONTENIDO

1	RESUMEN	12
2	INTRODUCCIÓN	14
3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
4	OBJETIVOS	18
	4.1 OBJETIVO GENERAL	18
	4.2 OBJETIVO ESPECIFICO	18
5	MARCO TEÓRICO	19
	5.1 PARTES DE UNA BOMBA CENTRIFUGA	20
6	ANTECEDENTES	22
7	METODOLOGÍA	23
	7.1 DISEÑO	23
	7.2 DISEÑO TEOÓRICO	30
	7.3 CONSTRUCCIÓN	34
	7.4 PRUEBAS	36
	7.5 PRUEBA DE LOS PROTOTIPOS DE IMPULSORES POR ANSYS	45
8	CONCLUSIONES	47
9	RECOMENDACIONES	50

10	OBSERVACIONES	50
11	ANEXOS	52
12	REFERENCIAS	55

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 (características de la bomba)	30
Tabla 2 (datos de Impulsor original)	37
Tabla 2.1 (resultados con el impulsor original)	37
Tabla 3 (datos de Impulsor 130cm diámetro)	38
Tabla 3.1 (resultados con el impulsor 130cm diámetro)	38
Tabla 4 (datos de Impulsor 125cm diámetro)	39
Tabla 4.1 (resultados con el impulsor 125cm diámetro)	39
Tabla 5 (datos de Impulsor 120cm diámetro)	40
Tabla 5.1 (resultados con el impulsor 120cm diámetro)	40
Tabla 6 (datos de Impulsor 130cm diámetro de hélices en sentido contrario)	42
Tabla 6.1 (resultados con el impulsor 130cm diámetro de hélices en sentido contrario)	42
Tabla 7 (cálculos de las leyes de afinidad)	44
Tabla 7.1 (Comparación impulsor 125mm de datos teóricos con los experimentales) ..	44
Tabla 7.2 (Comparación impulsor 120mm de datos teóricos con los experimentales) ..	45

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1 Lado frontal del impulsor	23
Imagen 2 Lado posterior del impulsor	24
Imagen 3 Vista del lado frontal del impulsor	24
Imagen 4 Vista del lado posterior del impulsor	25
Imagen 5 Lado interno de la base de la carcasa	25
Imagen 6 Lado externo de la base de la carcasa	26
Imagen 7 Vista del lado interno de la base de la carcasa	26
Imagen 8 Vista del lado externo de la base de la carcasa	27
Imagen 9 Lado interno de la tapa de la carcasa	27
Imagen 10 Lado externo de la tapa de la carcasa	28
Imagen 11 Vista del lado interno de la tapa de la carcasa	28
Imagen 12 Vista del lado externo de la tapa de la carcasa	29
Imagen 13 Vista completa de las piezas de la bomba desarmada	29
Imagen 14 Vista completa de la bomba armada	30
Imagen 15 Curvas y datos de la bomba PEDROLLO modelo PUMP CP 610	31
Imagen 16 Datos de la bomba PEDROLLO modelo PUMP CP 610	31
Imagen 17 Características de la bomba PEDROLLO modelo PUMP CP 610	32

Imagen 18 Partes de la bomba de la bomba PEDROLLO modelo PUMP CP 610	32
Imagen 19 Dimensiones y Pesos de la bomba de la bomba PEDROLLO modelo PUMP CP 610	33
Imagen 20 Consumo de la bomba de la bomba PEDROLLO modelo PUMP CP 610 ...	33
Imagen 21 Partes del impulsor impresas en 3D	35
Imagen 22 Tres tamaños de los impulsores	35
Imagen 23 Prueba de velocidad del impulsor de 130mm por ANSYS	46
Imagen 24 Prueba de velocidad del impulsor de 125mm por ANSYS	46
Imagen 25 Prueba de velocidad del impulsor de 120mm por ANSYS	47

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1 (curvas de H vs Q con los diferentes impulsores)	41
Grafica 1.1 (curvas de E vs Q con los diferentes impulsores)	41
Grafica 2 (curvas de H vs Q con los impulsores original y sentido contrario)	43
Grafica 2.1 (curvas de E vs Q con los impulsores original y sentido contrario)	43

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TRES IMPULSORES INTERCAMBIABLES PARA LAS PRÁCTICAS EXPERIMENTALES DEL LABORATORIO DE MÁQUINAS HIDRÁULICAS DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA DE BUCARAMANGA

AUTOR(ES): SANTIAGO EMILIO SANCHEZ MIRANDA

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR(A): EMIL HERNÁNDEZ ARROYO

RESUMEN

Este proyecto de grado aborda el diseño y análisis de un impeler cerrado de bomba centrífuga, verificando los resultados del rendimiento de tres impeler geoméricamente similares, donde se reduce el diámetro de 130 mm a 125 mm y 120 mm, las pruebas realizan en el Banco del set de Bombas Centrífugas del Laboratorio de Máquinas Hidráulicas de La Facultad de Ingeniería Mecánica. Una bomba centrífuga tiene la entrada de líquido por el centro del impulsor, el impulsor direcciona el líquido de manera radial haciendo que el líquido sea expulsado por las partes axiales del impulsor. Si se cambia el tamaño del impulsor las características de la bomba varían. El diseño y análisis se desarrolla a través de los programas de software de diseño CAD en 3D (SolidWorks) y software de simulación de ingeniería (ANSYS) donde se busca obtener resultados de datos similares a los prácticos. La construcción de los impulsores se realizará a través de una impresora 3D que modela la pieza con características similares a las del impulsor original y así poder cambiar los tamaños con precisión.

PALABRAS CLAVE:

SolidWorks, impeler, bomba centrífuga, diseño, líquido, impulsor.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: DESIGN AND CONSTRUCTION OF THREE INTERCHANGEABLE IMPULSORS FOR THE EXPERIMENTAL PRACTICES OF THE LABORATORY OF HYDRAULIC MACHINES OF THE PONTIFICAL UNIVERSITY BOLIVARIANA OF BUCARAMANGA

AUTHOR(S): SANTIAGO EMILIO SANCHEZ MIRANDA

FACULTY: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR: EMIL HERNÁNDEZ ARROYO

ABSTRACT

This project deals with the design and analysis of a closed impeller with Centrifugal pump, verifying the performance results of three geometrically similar impellers, where the diameter is reduced from 130 mm to 125 mm and 120 mm, these tests are carried out on the test bench of centrifugal pumps set from the hydraulic machinery Laboratory of the Faculty of Mechanical Engineering. A centrifugal pump has the liquid inlet through the center of the impeller, the impeller directs the liquid radially causing the liquid to be ejected by the axial parts of the impeller. If the impeller size is changed the pump characteristics vary. The design and analysis are developed through the design software of 3D CAD (SolidWorks) and engineering simulation software (ANSYS) where it is intended to obtain similar data to the practical results. The construction of the impellers will be made by a 3D printer that models the piece with characteristics similar to those of the original impeller so that the sizes can be changed accurately.

KEYWORDS:

SolidWorks, impeller, centrifugal pump, design, liquid, impeller.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

2 INTRODUCCIÓN

En la industria que trabaja con bombas centrifugas normalmente se tiene el problema de requerir un caudal y una presión precisa y las bombas que se tienen no son capaces de cumplir con estos parámetros. Muchas veces la bomba centrifuga que se encuentra trabajando no sule estas necesidades específicas ya que si se varía el caudal el sistema de la bomba va a cambiar la presión y no es lo que se pretende. Es necesario entonces hacer un cambio de esta, pero para una empresa es económicamente no rentable por los altos costos de adquirir una bomba nueva con otras especificaciones que suplan esta necesidad. Las bombas de desplazamiento positivo nos podrían generar las condiciones que se está buscando, pero estas bombas suelen ser mucho más costosas y sus mantenimientos son mucho más complejos. Si el problema no es: la viscosidad del fluido, que el fluido contenga residuos o que la bomba se encuentre en un lugar donde su arranque tenga que ser en seco, se puede asumir que una bomba centrifuga es la mejor opción para un trabajo así, ya que una de las grandes características de esta es su simple funcionamiento que la hace por excelencia la bomba más económica del mercado. Para obtener los cambios que necesitamos en este trabajo debemos ajustarla con una de las siguientes maneras:

1. Aumentando la velocidad de una bomba de menor tamaño o disminuir la velocidad de una bomba de mayor tamaño a la que se usa generalmente para generar un cambio en el caudal y la presión que necesitamos en el sistema. Por lo general este procedimiento es de los menos prácticos porque la mayoría de las bombas se conectan a motores de jaula de ardilla y estas tienen velocidades constantes. Estas velocidades dependen del número de

polos y la frecuencia de la corriente alterna en la que estén operando, si se cambia entonces a otro motor que tenga un número diferente de polos, la velocidad cambiara de manera significativa y esto nos causara un cambio muy grande en el caudal y la presión.

2. Para cambiar la velocidad de la bomba también se podría usar poleas y bandas con las cuales se puede variar la RPM del motor sin que se afecte el motor de forma directa y consiguiendo el mismo resultado. Este cambio implicaría realizar unos ajustes en cuanto a la base del motor, la bomba afectando el espacio y agregando una cubierta Protectora junto con poleas y correas. Al agregar esas poleas y partes mecánicas hacen que este sistema sea mucho más complejo y esto puede generar más reparaciones y mantenimientos a la bomba que son innecesarios. Este sistema añadido lo hace más propensas a descarrilarse y deslizarse causando pérdidas de potencia en el sistema por fricción, van a requerir un mantenimiento adicional y el mayor problema va a ser el espacio de instalación entre la bomba y el motor en casos donde el espacio sea reducido.
3. Otra alternativa sería usar engranajes, pero estos implican la elevación exagerada en los costos. La instalación de engranajes exige también un sistema más complejo con lubricación necesaria. Si esta alternativa se llevara a cabo se daría un aumento en la velocidad la cual podría generar vibraciones en las tuberías y en la bomba misma que afecten negativamente su funcionamiento. Al tener muchas más partes móviles se hace más

propenso al daño y esto generaría inmovilización de la máquina lo que en la industria genera pérdidas debido a la improductividad de la máquina.

En los modelos anteriormente presentados donde se cambia la velocidad del impulsor se está afectando todas las características de la bomba y se tiene que tener en cuenta que tal cambio podría generar una cavitación ya que los diseños presentados en los impulsores son estáticos y no dinámicos, recordando que la cavitación en una bomba puede ser fatal para todas las piezas de esta. Por esto se ve a esta práctica de aumentar la velocidad de una bomba más pequeña para cumplir condiciones de bombeo mayores que su capacidad normal o disminuir la velocidad de una bomba más grande para cumplir condiciones de bombeo menores que su capacidad normal no rentable y poco común.

4. Aumentar el diámetro del impulsor de la bomba de menor tamaño implica realizar otro impulsor de mayor tamaño aumentando los costos. Este procedimiento además de ser costoso puede no ser exitoso ya que el impulsor puede ser más grande que la carcasa produciendo daños en el interior de la bomba y en tal caso se tendría que cambiar la carcasa de la bomba y prácticamente cambiar toda su geometría inicial para poder funcionar correctamente.
5. Disminuir el diámetro del impulsor implica solo realizar cortes directamente al impulsor y no afecta al resto de la bomba y sus partes. Si se aplica esta solución a una bomba de mayor tamaño podremos obtener el caudal necesario sin necesidad de diseñar o generar un nuevo impulsor, esta sería la

opción más económica y simple que se pueda generar para un problema como el mencionado.

Llevar a cabo esta práctica puede ser la mejor solución porque, aunque le cueste eficiencia a la bomba se obtiene el cambio deseado sin generar muchos costos y no afecta en gran medida a esta o a su motor.

3 PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA

Se observa que existe una manera de poder cambiar el caudal de una bomba centrífuga sin necesidad de cerrar las válvulas de salida que puede ser un problema significativo en industrias que trabajan con bombas de tamaños grandes y caudales grandes o donde el mismo entorno no permite estos cambios. Por estos motivos es importante que el estudiante de Ingeniería Mecánica tenga el conocimiento necesario para encontrar una solución y aprendan lo importante que puede ser el cambio del tamaño de un impulsor en una bomba centrífuga, qué tan complejo puede ser y como afecta el sistema de bombeo este cambio.

Mediante este proceso se pone a prueba para ver qué tan exactas son las leyes de afinidad que se explican mediante estos tres principios:

1. El flujo tiene un comportamiento lineal con la velocidad o con el diámetro del impulsor.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{D_1}{D_2}$$

2. La altura tiene comportamiento cuadrático con la velocidad o con el diámetro del impulsor.

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$$

3. La potencia absorbida tiene un comportamiento cubico con la velocidad o con el diámetro del impulsor.

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3$$

4 OBJETIVO

4.1 OBJETIVO GENERAL:

Diseñar, construir e implementar un juego de tres impulsores intercambiables para estudiar el comportamiento de una bomba centrífuga del Laboratorio de Máquinas Hidráulicas de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga. Con este proyecto se busca analizar el comportamiento de la bomba centrífuga y relacionar la parte teórica con la experimental y fortalecer el laboratorio de Maquinas Hidráulicas.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Diseñar y construir tres impulsores para una bomba del laboratorio de Maquinas Hidráulicas, este tendrá un manejo académico y dejará ver al estudiante la posibilidad de cómo afecta el cambio del diámetro del impulsor. **Resultado:** Un juego de tres impulsores con diferente medida. **Indicador:** La bomba con el juego de tres impulsores intercambiables arroja datos reales de las diferencias que pueden existir al cambiar el diámetro del impulsor.

- Obtener las curvas de desempeño del juego de impulsores

intercambiables para comparar los datos teóricos con los experimentales. **Resultado:** Documento que contiene las diferencias de las curvas experimentales y teóricas entre cada uno de los impulsores. **Indicador:** Desarrollo teórico por medio de herramientas como Solidworks y ANSYS para tener más exactitud al simular los cambios que va a presentar la bomba con los diferentes impulsores y desarrollo experimental por medio de los diferentes resultados que arrojen los impulsores.

- Realizar un manual del ejercicio práctico para el laboratorio, este ayudara al estudiante a realizar la práctica del juego de impulsores. **Resultado:** Manual del laboratorio. **Indicador:** El manual debe contener el procedimiento, gráficos, guía de la práctica, normas y cuidados que se debe tener al manipular el juego de impulsores.

5 MARCO TEORICO

Las bombas centrífugas, tienen una amplia aplicación en la industria debido a su adecuado desempeño en cualquier servicio de bombeo, como el transporte de agua potable, aguas negras, fluidos refrigerantes, en sistemas de llenado de equipos como calderas, entre otros.

Una bomba centrífuga, es una máquina hidráulica que transforma la energía eléctrica en mecánica, a través de un eje que mueve un impulsor rotatorio llamado rodete o impulsor. El impulsor o rodete varía en forma y dimensiones dependiendo de las características y comportamiento requerido en un sistema. Los impulsores se clasifican en tres: impulsor abierto, caracterizado por sus álabes expuestos y es usado para el

traslado de líquidos limpios y pastas acuosas abrasivas, el impulsor semiabierto posee una "tapa" en uno de sus lados, son utilizados para bombear líquidos que contienen residuos sólidos de tamaño mediano y el impulsor cerrado que se caracteriza por tener álabes cerrados, formando cavidades que permiten el flujo del fluido de manera guiada hacia la carcasa de la bomba y es usado para el traslado de líquidos poco viscosos y líquidos que contengan sólidos en suspensión. ¹

El impulsor de una bomba centrífuga se debe diseñar con base en el caudal, presión y características del fluido que se requiera trasladar, para obtener un óptimo rendimiento. Las condiciones de caudal y presión para un fluido pueden variar de acuerdo a las necesidades, por eso la forma del impulsor cambia para adaptarse a las diferentes condiciones ya que de éstos depende la eficiencia en el transporte de un fluido. ²

5.1 PARTES DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA:

Carcasa. Es la parte exterior protectora de la bomba y cumple la función de convertir la energía de velocidad impartida al líquido por el impulsor en energía de presión. Esto se lleva a cabo mediante reducción de la velocidad por un aumento gradual del área.

Impulsores. Es el corazón de la bomba centrífuga. Recibe el líquido y le imparte una velocidad de la cual depende la carga producida por la bomba.

¹ González, M.M (2006). Evaluación de bombas centrífugas. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 27(1), 38-41

² Barreto, R.P. (2004). CAVITACIÓN Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS. Minería y Geología, 20(3/4), 114-118.

Anillos de desgaste. Cumplen la función de ser un elemento fácil y barato de remover en aquellas partes en donde debido a las cerradas holguras entre el impulsor y la carcasa, el desgaste es casi seguro, evitando así la necesidad de cambiar estos elementos y quitar solo los anillos.

Empaques y sellos. La función de estos elementos es evitar el flujo hacia fuera del líquido bombeado a través del orificio por donde pasa la flecha de la bomba y el flujo de aire hacia el interior de la bomba.

Flecha. Es el eje de todos los elementos que giran en la bomba centrífuga, transmitiendo además el movimiento que imparte la flecha del motor.

Cojinetes. Sirven de soporte a la flecha de todo el rotor en un alineamiento correcto en relación con las partes estacionarias. Soportan las cargas radiales y axiales existentes en la bomba.

Bases. Sirven de soporte a la bomba, sosteniendo el peso de toda ella.³

Este proyecto de grado busca desarrollar la construcción de tres impulsores de una bomba centrífuga, utilizando herramientas de diseño asistidas por computador CAD. Con el fin de comparar y poder observar el efecto que causa cambiar el diámetro del impulsor en una bomba centrífuga.

³ MARCO TEÓRICO, tomado de <http://www.unet.edu.ve/~maqflu/doc/LAB-1-95.htm> el mes de abril de 2018.

6 ANTECEDENTES

En el Seminario de ingeniería mecánica realizado en agosto de 1967 en Monterrey, México en la universidad de nuevo león se realizó la ponencia llamada Modificación del diámetro de los impulsores en bombas centrifugas donde se habló sobre cuál es la opción más efectiva y rentable para modificar una bomba centrifuga para lograr que esta se adecue a las especificaciones necesarias obtener un caudal preciso sin necesidad de cambiar la presión a la salida de la bomba ya que no se brindaría una solución.

Se tenían entonces varias opciones para modificar la velocidad del impulsor tales como modificarlo a través de engranajes o poleas, pero ninguna de estas era totalmente rentable ya sea por altos costos, compromiso de otras piezas de la bomba o adecuaciones en sus espacios y el cambio de esta en su totalidad o la construcción de una que cumpliera con los requisitos era una opción que no se tenía en cuenta gracias a lo costoso que era.

En la ponencia se examinan entonces todos los puntos anteriores hasta llegarse a la conclusión de que la mejor manera de cambiar el caudal sin necesidad de cerrar la salida del fluido era disminuyendo el tamaño del diámetro del impulsor.

En el proyecto de grado llamado Modelación Geométrica del impulsor de una bomba centrifuga llevado acabo por Sebastián Sierra Pérez estudiante de ingeniería mecánica de la universidad EAFIT de la ciudad de Medellín, Colombia en el año 2010 se buscó desarrollar la construcción de un modelo digital del impulsor en acero inoxidable.

Este diseño se realizó a través del uso de herramientas de diseño que permitieron el mismo tales como Computer Aided Design (CAD) y Computational Fluid Dynamics

(CFD), SolidWorks, técnicas de ingeniería inversa y herramientas de metrología, herramientas que permitían que el diseño digital fuera similar a la pieza real.

En este proyecto se tuvo Como objetivo desarrollar el modelo CAD del impulsor de la bomba centrífuga usando la ingeniería inversa y que ese modelo CAD del impulsor sirviera como base para simulaciones. Aunque se tuvieron algunos problemas a la hora de obtener medidas precisas ya que las herramientas encargadas tenían configuraciones no adecuadas se logró obtener un modelo similar.

7 METODOLOGÍA PROPUESTA

7.1 DISEÑO

Se desarrolla un modelo en SolidWorks del impulsor y la carcasa de la bomba centrífuga. Se realizan tres diseños de diferentes diámetros del impulsor: 130mm, 125mm y 120mm.

En las imágenes 1 a la 12 se observa las piezas de la bomba centrífuga que se usa en el proyecto y la comparación del diseño en SolidWorks de cada parte y su ensamblaje final.

Imagen 1 Lado frontal del impulsor.



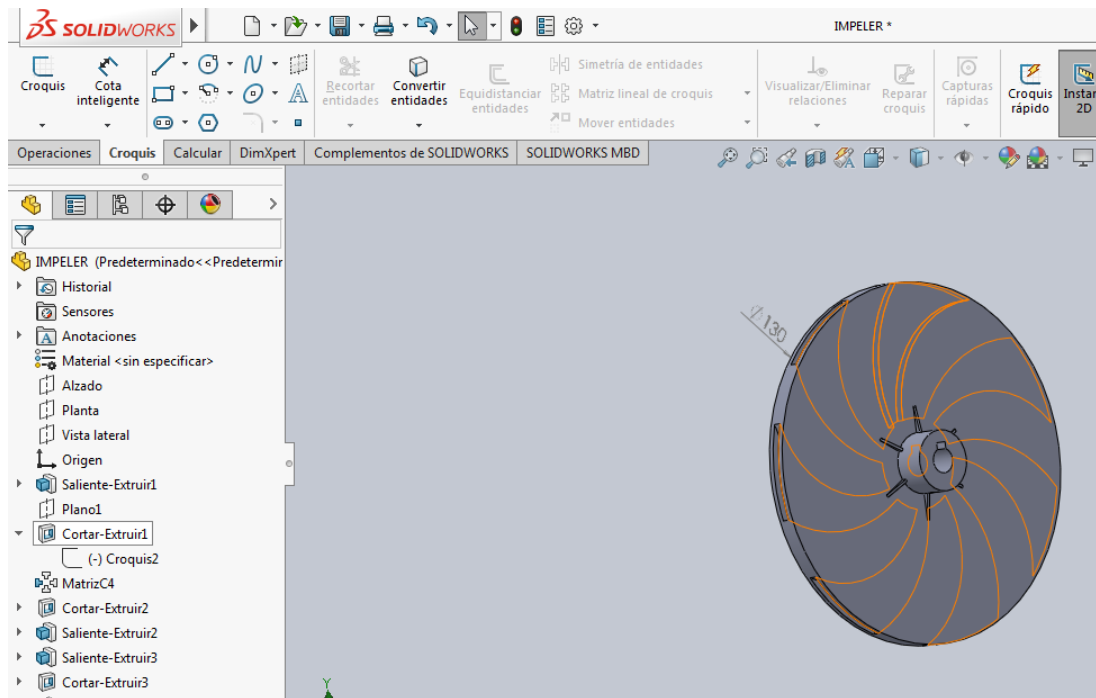
Tomado por Santiago Emilio Sánchez (2018)

Imagen 2 Lado posterior del impulsor.



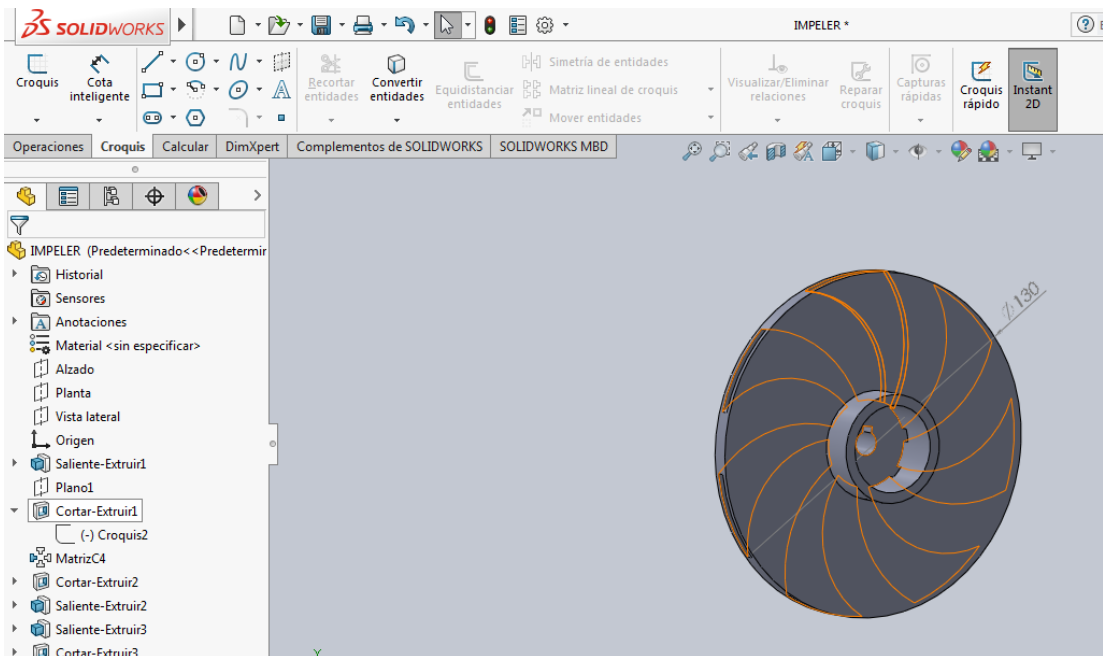
Tomado por Santiago Emilio Sánchez (2018)

Imagen 3 Vista del lado frontal del impulsor.



Tomado por Santiago Emilio Sánchez (2018)

Imagen 4 Vista del lado posterior del impulsor.



Tomado por Santiago Emilio Sánchez (2018)

Imagen 5 Lado interno de la base de la carcasa.



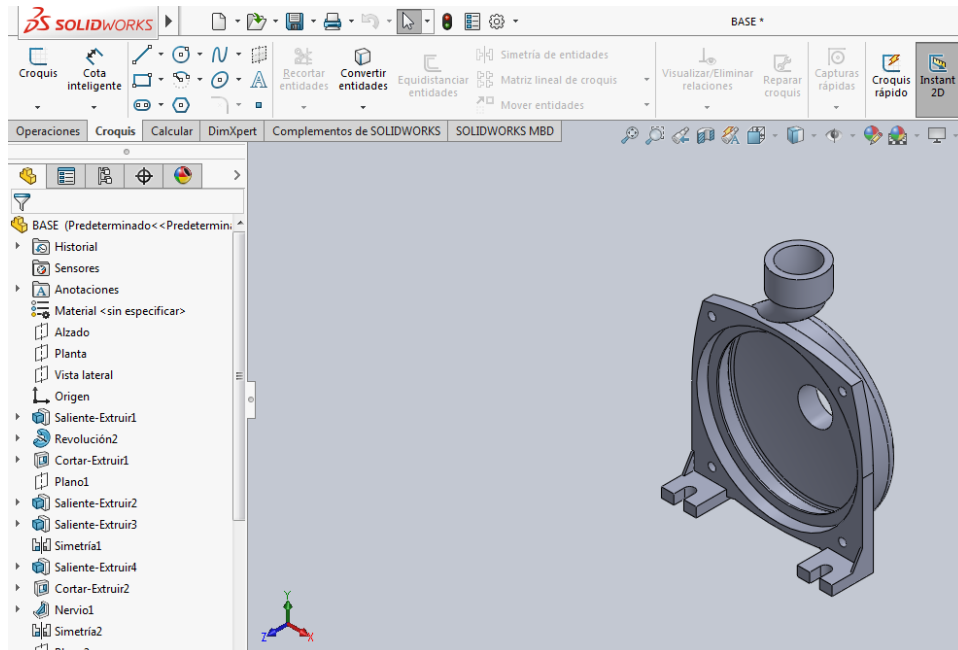
Tomado por Santiago Emilio Sánchez (2018)

Imagen 6 Lado externo de la base de la carcasa.



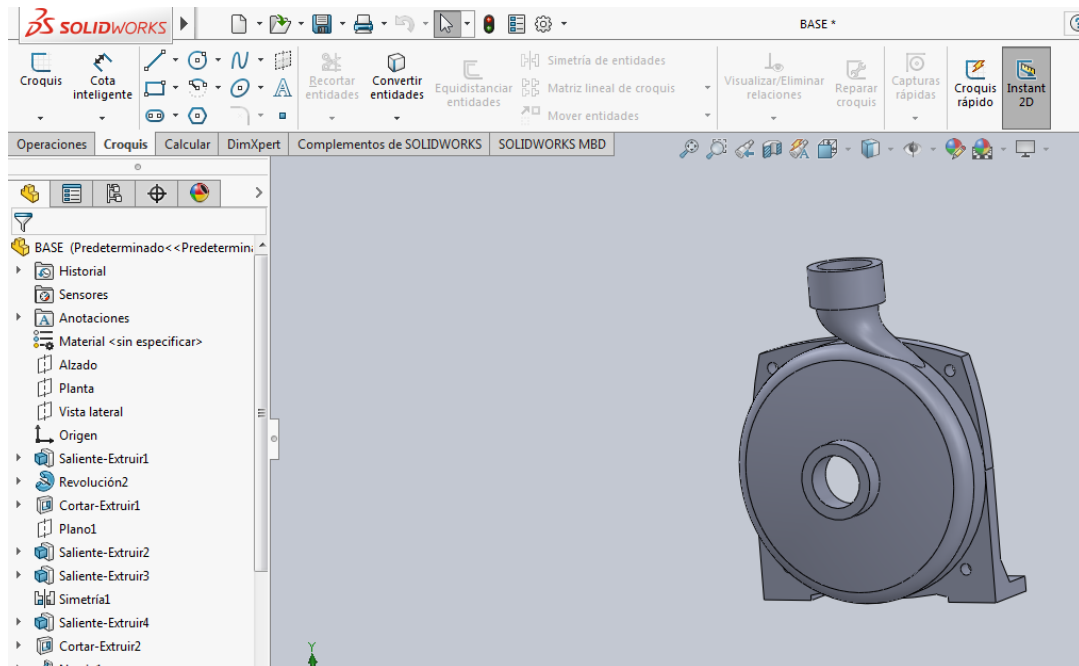
Tomado por Santiago Emilio Sánchez (2018)

Imagen 7 Vista del lado interno de la base de la carcasa.



Tomado por Santiago Emilio Sánchez (2018)

Imagen 8 Vista del lado externo de la base de la carcasa.



Tomado por Santiago Emilio Sánchez (2018)

Imagen 9 Lado interno de la tapa de la carcasa.



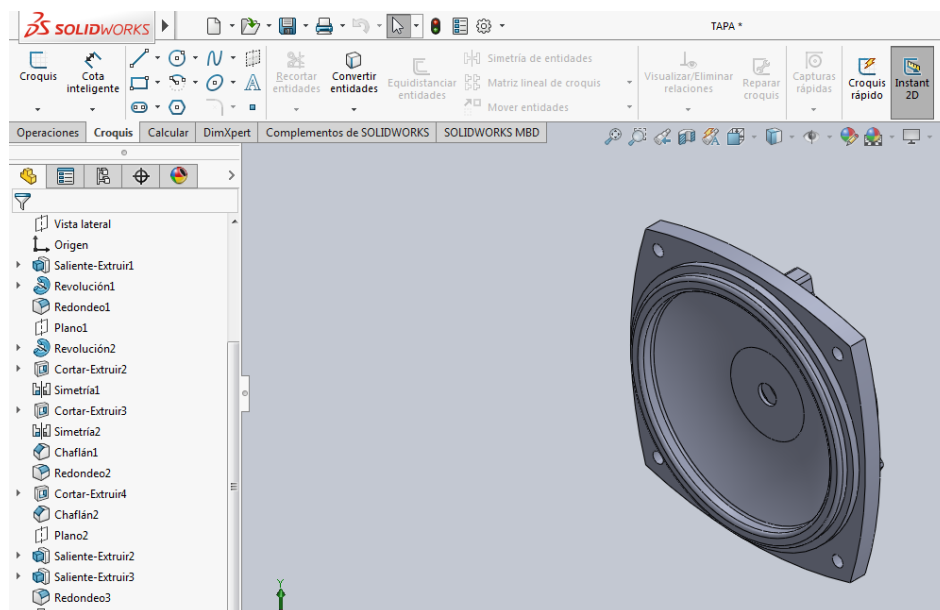
Tomado por Santiago Emilio Sánchez (2018)

Imagen 10 Lado externo de la tapa de la carcasa.



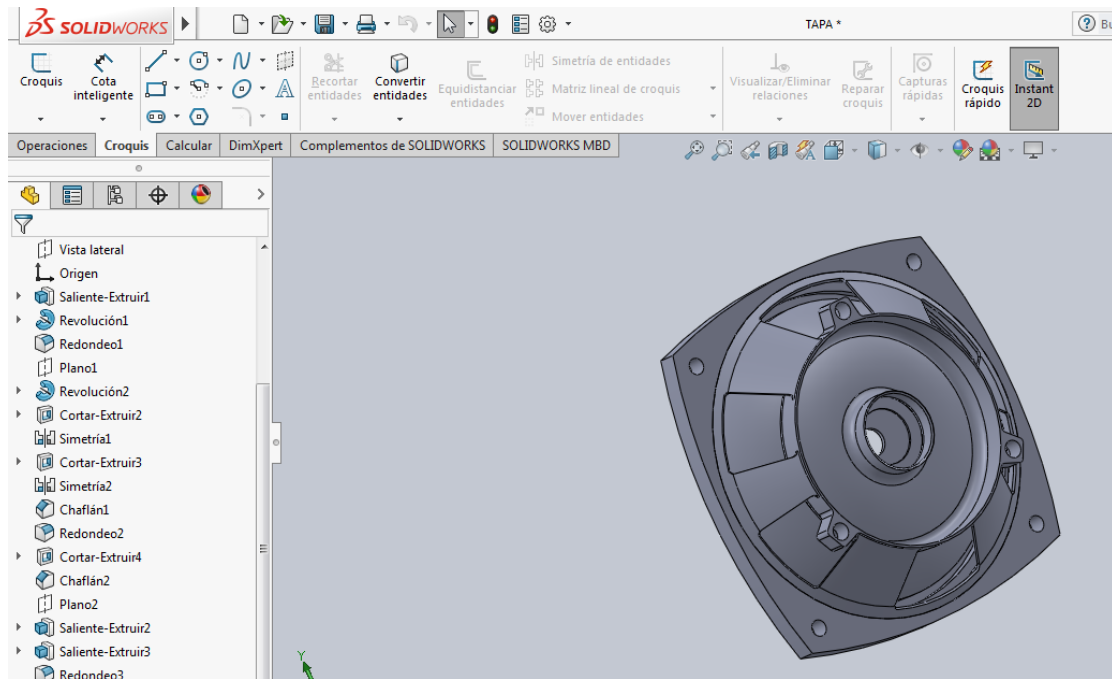
Tomado por Santiago Emilio Sánchez (2018)

Imagen 11 Vista del lado interno de la tapa de la carcasa.



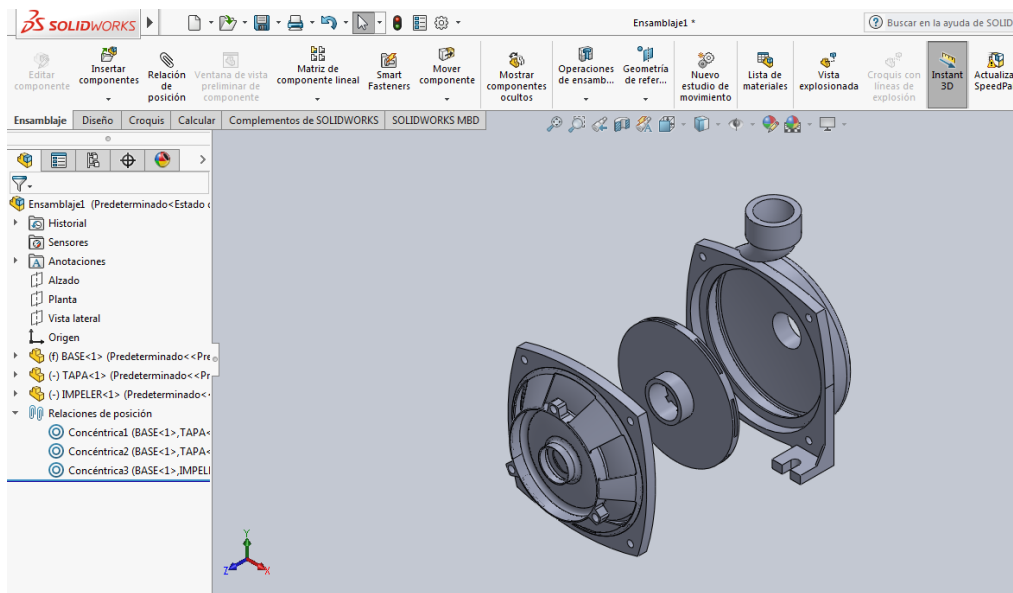
Tomado por Santiago Emilio Sánchez (2018)

Imagen 12 Vista del lado externo de la tapa de la carcasa.



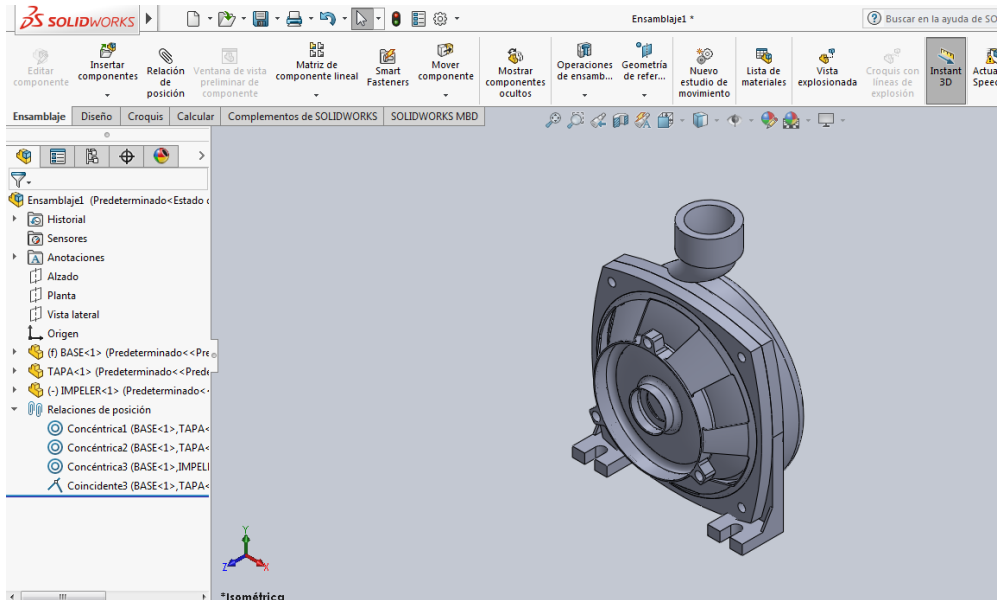
Tomado por Santiago Emilio Sánchez (2018)

Imagen 13 Vista completa de las piezas de la bomba desarmada.



Tomado por Santiago Emilio Sánchez (2018)

Imagen 14 Vista completa de la bomba armada.



Tomado por Santiago Emilio Sánchez (2018)

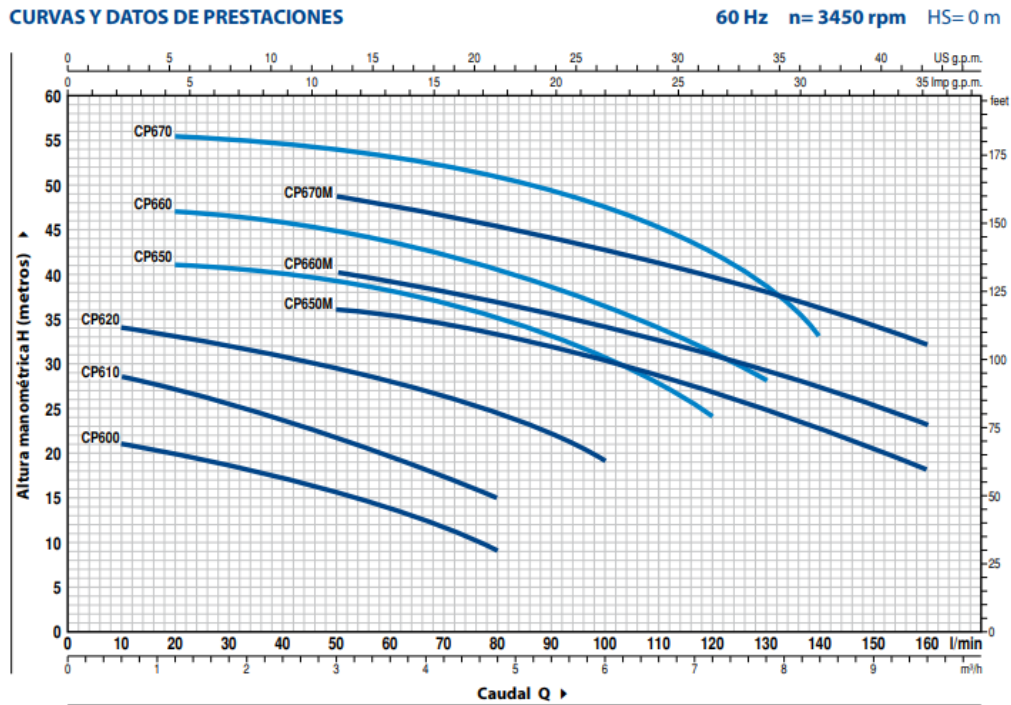
Con este diseño en SolidWorks podemos tener medidas exactas y datos teóricos mucho más aproximados a la realidad.

7.2 DISEÑO TEÓRICO

Tabla 1 *Características de la bomba*

Datos técnicos de la bomba	Bomba centrífuga marca PEDROLLO modelo PUMP CP 610
Condiciones de operación	Q = 10/70 l/min; H = 28,5/13 m; Hmax = 30 m; Hmin= 13m
Motor	V = 110 c.a; 60 Hz; 3450 RPM; 0,60 kW; 0,85 HP; VL = 250 v
Impulsor	D = 130 mm; b = 3 mm

Imagen 15 Curvas y datos de la bomba PEDROLLO modelo PUMP CP 610



Tomado Manual CP Electrobombas centrífugas (2018)

Imagen 16 Datos de la bomba PEDROLLO modelo PUMP CP 610

MODELO		POTENCIA (P ₂)		Q	Q																					
Monofásica	Trifásica	kW	HP		▲	m³/h	0	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	6.6	7.2	7.8	8.4	9.0	9.6			
					l/min	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160				
CPm 600	CP 600	0.37	0.50	IE2	H metros	22	21	20	18.5	17	15.5	14	12	9												
CPm 610	CP 610	0.60	0.85			30	28.5	27	25.5	23.5	21.5	19.5	17.5	15												
CPm 620	CP 620	0.75	1			35	34	33	31.5	30.5	29.5	28	26.5	24.5	22	19										
CPm 650	CP 650	1.1	1.5			42	41.5	41	40.5	39.5	39	38	36.5	35	33	30	27	24								
CPm 660	CP 660	1.5	2			48	47.5	47	46.5	46	45	43.5	42	40.5	38.5	36	33.5	31	28							
CPm 670	CP 670	2.2	3	IE3	H metros	57	56.5	55.5	55	54	53.5	53	52	50.5	49.5	47	45	42.5	38	33						
CPm 650M	CP 650M	1.1	1.5			IE2	39	38.5	38	37	36.5	36	35	34	33	32	30	28.5	26.5	24.5	22.5	20	18			
CPm 660M	CP 660M	1.5	2			IE3	43	42.5	42	41	40.5	40	39	37.5	36.5	35	34	32.5	31	29	27	25	23			
CPm 670M	CP 670M	2.2	3			IE3	51	50.5	50.5	50	49.5	48.5	47.5	46.5	45	44	42.5	41	39.5	37.5	36	34	32			

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

▲ Clase de rendimiento del motor trifásico (IEC 60034-30)

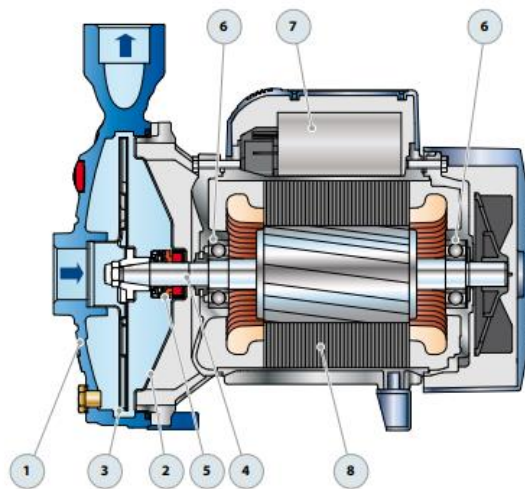
Tomado Manual CP Electrobombas centrífugas (2018)

Imagen 17 Características de la bomba PEDROLLO modelo PUMP CP 610

POS. COMPONENTE	CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS					
1 CUERPO BOMBA	Hierro fundido con tratamiento de cataforesis con bocas roscadas ISO 228/1					
2 TAPA	Acero inoxidable AISI 304 (en hierro para CP 170-170M-190-200)					
3 RODETE	Acero inoxidable AISI 304					
4 EJE MOTOR	Acero inoxidable EN 10088-3 - 1.4104					
5 SELLO MECANICO	Electrobomba	Sello	Eje	Materiales		
	<i>Modelo</i>	<i>Modelo</i>	<i>Diámetro</i>	<i>Anillo fijo</i>	<i>Anillo móvil</i>	<i>Elastómero</i>
	CP 600-610	AR-12	Ø 12 mm	Cerámica	Grafito	NBR
	CP 620	AR-14	Ø 14 mm	Cerámica	Grafito	NBR
	CP 650-660-670 CP 650M-660M-670M	FN-18	Ø 18 mm	Grafito	Cerámica	NBR
6 RODAMIENTOS	Electrobomba	Modelo				
	CP 600-610	6201 ZZ / 6201 ZZ				
	CP 620	6203 ZZ / 6203 ZZ				
	CP 650-660-670	6204 ZZ / 6204 ZZ				
	CP 650M-660M-670M	6204 ZZ / 6204 ZZ				
7 CONDENSADOR	Electrobomba	Capacidad				
	<i>Monofásica</i>	<i>(220 V)</i>		<i>(110 V o 127 V)</i>		
	CPm 600	10 µF - 450 VL	25 µF - 250 VL			
	CPm 610	14 µF - 450 VL	25 µF - 250 VL			
	CPm 620	20 µF - 450 VL	60 µF - 300 VL			
	CPm 650-650M	25 µF - 450 VL	60 µF - 250 VL			
	CPm 660-660M	31.5 µF - 450 VL	60 µF - 250 VL			
	CPm 670-670M	50 µF - 450 VL	80 µF - 250 VL			
	8 MOTOR ELECTRICO	CPm: monofásica 220 V - 60 Hz con protección térmica incorporada en el bobinado. CP: trifásica 220/380 V - 60 Hz o 220/440 V - 60 Hz. → Las electrobombas trifásicas están equipadas con motores de alto rendimiento en clase IE2 hasta P ₂ =1.1 kW y en clase IE3 desde P ₂ =1.5 kW (IEC 60034-30) - Aislamiento: clase F - Protección: IP X4				

Tomado Manual CP Electrobombas centrifugas (2018)

Imagen 18 Partes de la bomba de la bomba PEDROLLO modelo PUMP CP 610

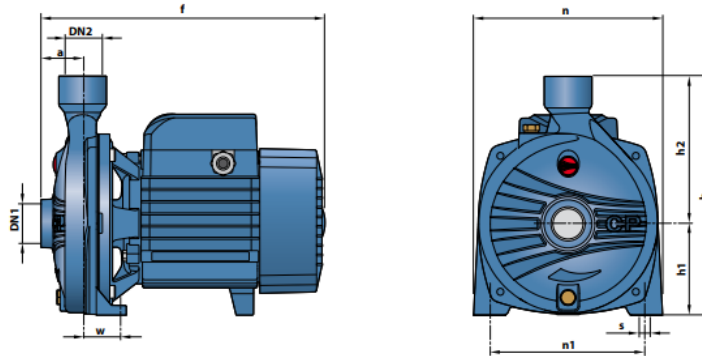


Tomado Manual CP Electrobombas centrifugas (2018)

Imagen 19 Dimensiones y Pesos de la bomba de la bomba PEDROLLO

modelo PUMP CP 610

DIMENSIONES Y PESOS



MODELO		BOCAS		DIMENSIONES mm										kg	
Monofásica	Trifásica	DN1	DN2	a	f	h	h1	h2	n	n1	w	s	1~	3~	
CPm 600	CP 600	1"	1"	42	253	205	82	123	165	135	41	10	7.1	7.1	
CPm 610	CP 610				285	240	92	148	190	160	38		8.7	8.2	
CPm 620	CP 620				11.5	10.5									
CPm 650 - 650M	CP 650 - 650M	1 1/4"	1"	51	367	260	110	150	206	165	44.5	11	17.8	17.2	
CPm 660 - 660M	CP 660 - 660M				18.9	17.9									
CPm 670 - 670M	CP 670 - 670M				20.7	20.1									

Tomado Manual CP Electrobombas centrifugas (2018)

Imagen 20 Consumo de la bomba de la bomba PEDROLLO modelo PUMP

CP 610

CONSUMO EN AMPERIOS

MODELO	TENSION		
	220 V	110 V	127 V
CPm 600	2.7 A	5.5 A	5.2 A
CPm 610	4.0 A	8.0 A	7.6 A
CPm 620	6.0 A	12.0 A	10.0 A
CPm 650	8.8 A	17.6 A	16.0 A
CPm 650M	8.8 A	17.6 A	16.7 A
CPm 660	9.7 A	20.0 A	18.4 A
CPm 660M	9.7 A	19.0 A	18.4 A
CPm 670	13.2 A	25.0 A	19.0 A
CPm 670M	12.0 A	25.0 A	19.0 A

MODELO	TENSION			
	220 V	380 V	220 V	440 V
CP 600	1.8 A	1.0 A	2.0 A	1.2 A
CP 610	2.8 A	1.6 A	2.6 A	1.5 A
CP 620	4.2 A	2.4 A	4.2 A	2.4 A
CP 650	7.5 A	4.3 A	5.8 A	3.2 A
CP 650M	7.5 A	4.3 A	5.8 A	3.2 A
CP 660	6.7 A	3.9 A	6.4 A	4.1 A
CP 660M	6.7 A	3.9 A	6.4 A	4.1 A
CP 670	10.4 A	6.0 A	8.8 A	5.0 A
CP 670M	9.0 A	5.2 A	9.7 A	5.2 A

Tomado Manual CP Electrobombas centrifugas (2018)

En la tabla 1 se observan las propiedades que representa la bomba centrífuga usada en el proyecto y en las imágenes de la 15 a la 20 se muestra el manual de la bomba confirmando los datos de la tabla 1.

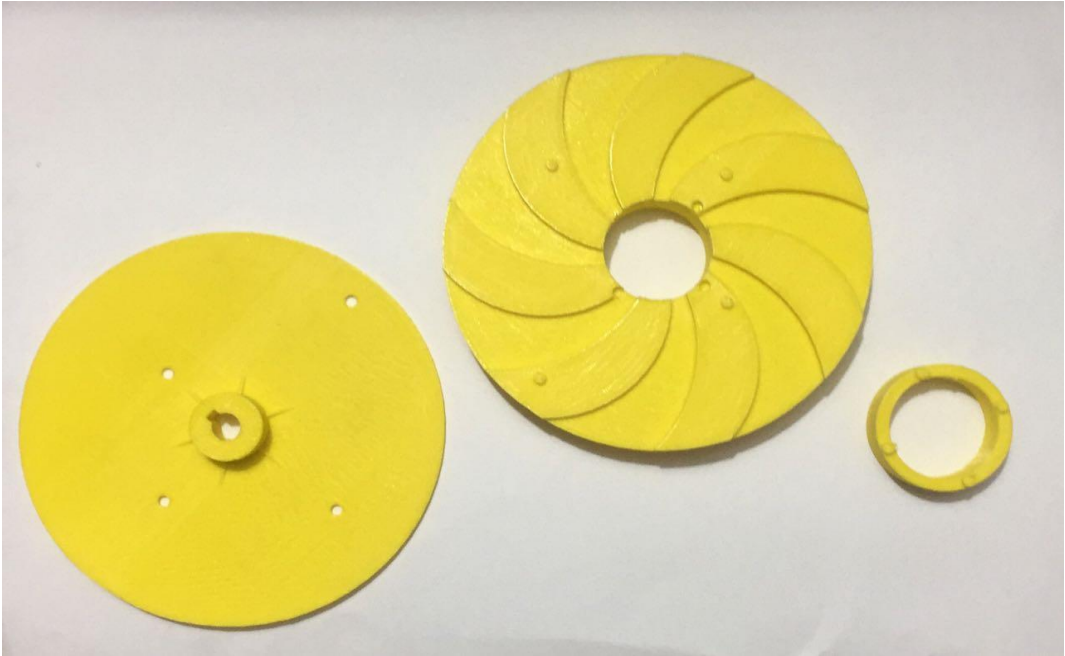
Para analizar los datos teóricos de los impulsores de diferente tamaño se tiene que tener en cuenta que la velocidad del motor es constante y un cambio en el diámetro de un impulsor afecta el caudal, altura manométrica y la potencia. Mediante las leyes de afinidad podemos recolectar datos teóricos del comportamiento de la bomba con el cambio de diámetro del impulsor.

7.3 CONSTRUCCIÓN

Se construyó el juego de tres impulsores. El impulsor original está construido de un material cerámico bastante resistente. Para igualar este modelo se utilizó la Impresora 3D de la Universidad Pontificia Bolivariana Bucaramanga ya que puede dar características similares del material de los impulsores.

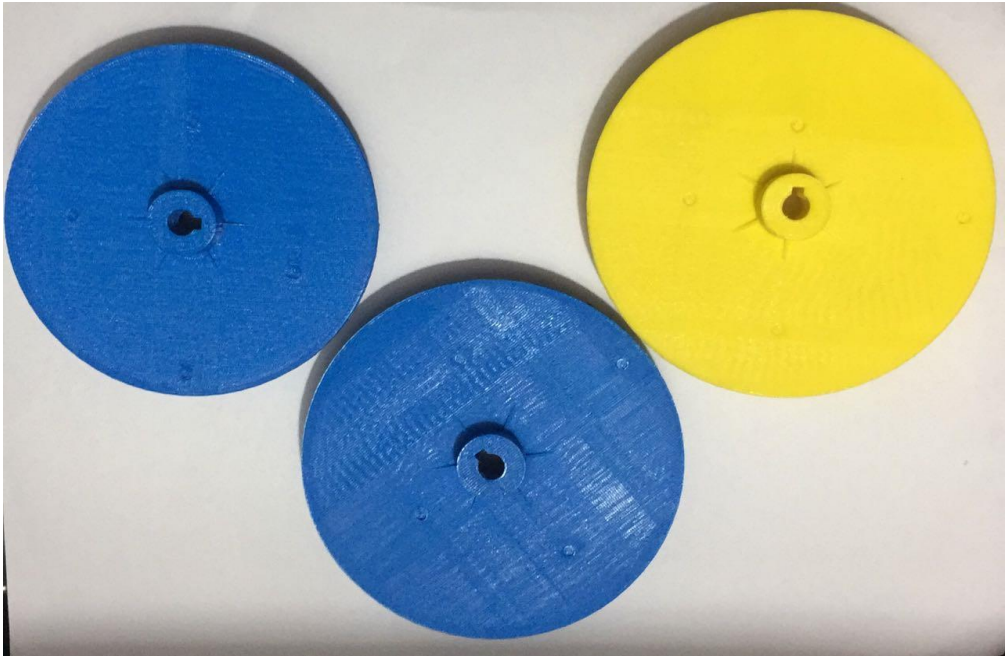
Debido a la compleja forma del impulsor fue necesario dividir el impulsor en tres partes para poder imprimirlo en 3D, la impresora solo puede dar formas si tiene una base donde sostenerse y así empezar a añadir material sobre el material antes puesto. El proceso demoro aproximadamente 10 horas con cada impulsor y la impresora tuvo algunos problemas al principio por lo que demoro más de lo calculado.

Imagen 21 Partes del impulsor impresas en 3D



Tomado por Santiago Emilio Sánchez (2018)

Imagen 22 Tres tamaños de los impulsores



Tomado por Santiago Emilio Sánchez (2018)

7.4 PRUEBAS

Con las pruebas experimentales realizadas en el laboratorio de máquinas hidráulicas se obtuvieron unos resultados correspondientes a cada impulsor y por medio de las siguientes formulas se halló la altura manométrica, potencia hidráulica, potencia eléctrica y la eficiencia.

$$H_n = \frac{\Delta P}{\gamma}$$

H_n = Altura manométrica

ΔP = Diferencia de Presiones (Presión Salida – Presión Entrada)

γ = Gravedad especifica del líquido (Agua)

γ = densidad del agua * gravedad

$$P_{tohid} = \gamma * Q * H_n$$

P_{tohid} = Potencia hidráulica

Q = Caudal

$$P_{toele} = I * V$$

P_{toele} = Potencia Eléctrica

I = Corriente

V = Voltaje

$$\text{Eficiencia} = P_{tohid} / P_{toele}$$

Tabla 2 *Toma de datos con el impulsor original*

Posición de la válvula	Q (l/s)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Presión Entrada (Pa)	Presión Salida (Pa)
0°	0	102	7	0	284.393
22,5°	0,611	101	8	0	245.166
45°	0,996	101	8	3.999,6	98.066,5
67,5°	1,024	102	7,5	5.332,8	49.033,3
90°	1,031	102	8	6.666,1	39.226,6

Tabla 2.1 *Tabla de resultados con el impulsor original*

Posición	H _n (m)	P _{tohid} (w)	P _{toele} (w)	Eficiencia
0°	29,02	0	714	0 %
22,5°	24,88	148,98	808	18,4 %
45°	9,6	93,7	808	11,6 %
67,5°	4,46	44,76	765	5,9 %
90°	3,32	33,54	816	4,1 %

Tabla 3 *Toma de datos con el impulsor de 130mm*

Posición de la válvula	Q (l/s)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Presión Entrada (Pa)	Presión Salida (Pa)
0°	0	101	7	0	284.393
22,5°	0,549	101	8	0	205.940
45°	0,757	101	8	6.666,1	68.646,6
67,5°	0,828	101	7	2.666,4	29.420
90°	0,918	101	7	3.999,6	19.613,3

Tabla 3.1 *Tabla de resultados con el impulsor de 130mm*

Posición	H _n (m)	P _{tohid} (w)	P _{toele} (w)	Eficiencia
0°	29,02	0	707	0 %
22,5°	21,01	113,04	808	14 %
45°	6,32	46,89	808	5,8 %
67,5°	2,73	22,15	707	3,1 %
90°	1,59	14,3	707	2 %

Tabla 4 Toma de datos con el impulsor de 125mm

Posición de la válvula	Q (l/s)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Presión Entrada (Pa)	Presión Salida (Pa)
0°	0	101	6	0	284.393
22,5°	0,400	101	7	1.333,2	225.553
45°	0,818	101	7	3.999,6	68.646,6
67,5°	0,866	101	7	5.332,8	39.226,6
90°	0,914	101	7	5.332,8	19.613,3

Tabla 4.1 Tabla de resultados con el impulsor de 125mm

Posición	H _n (m)	P _{tohid} (w)	P _{toele} (w)	Eficiencia
0°	29,02	0	606	0 %
22,5°	22,88	89,69	707	12,7 %
45°	6,6	52,91	707	7,4 %
67,5°	3,46	29,36	707	4,2 %
90°	1,46	13,08	707	1,9 %

Tabla 5 *Toma de datos con el impulsor de 120mm*

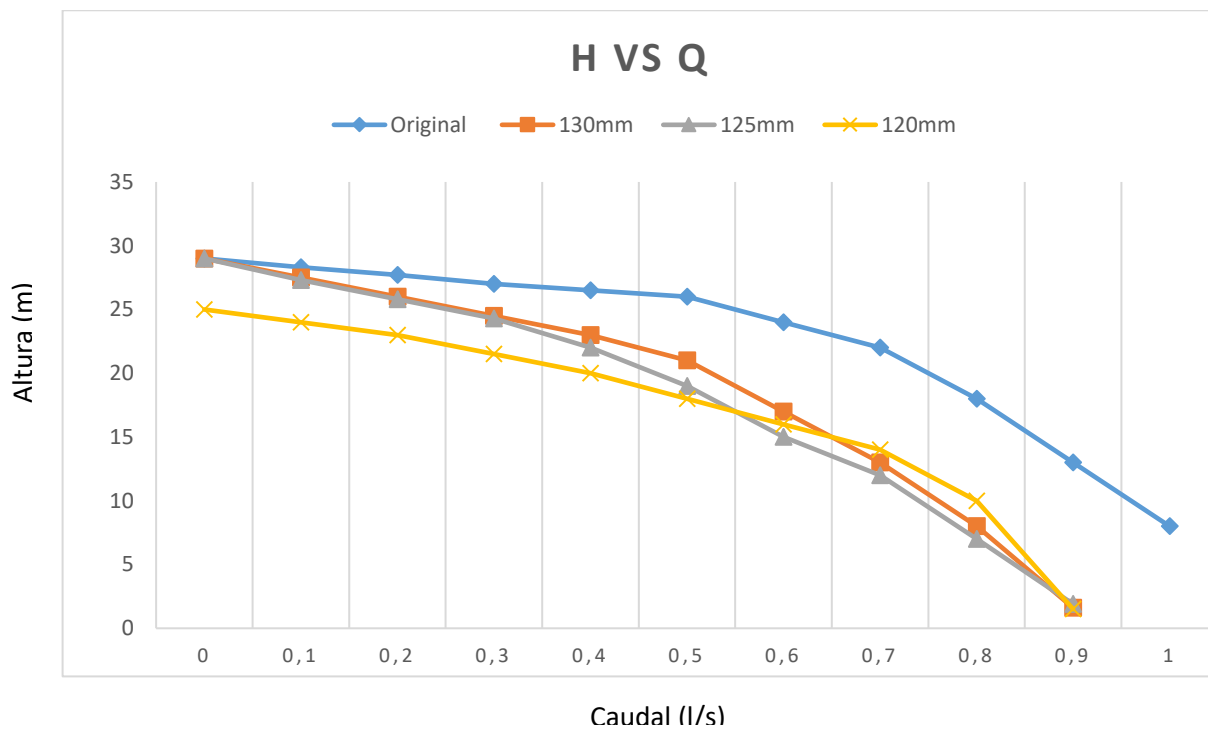
Posición de la válvula	Q (l/s)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Presión Entrada (Pa)	Presión Salida (Pa)
0°	0	101	6	0	245.166
22,5°	0,460	101	7	2.666,4	196.133
45°	0,815	101	7	3.999,6	98.066,5
67,5°	0,880	101	7	5.332,8	29.420
90°	0,904	101	7	5.332,8	19.613,3

Tabla 5.1 *Tabla de resultados con el impulsor de 120mm*

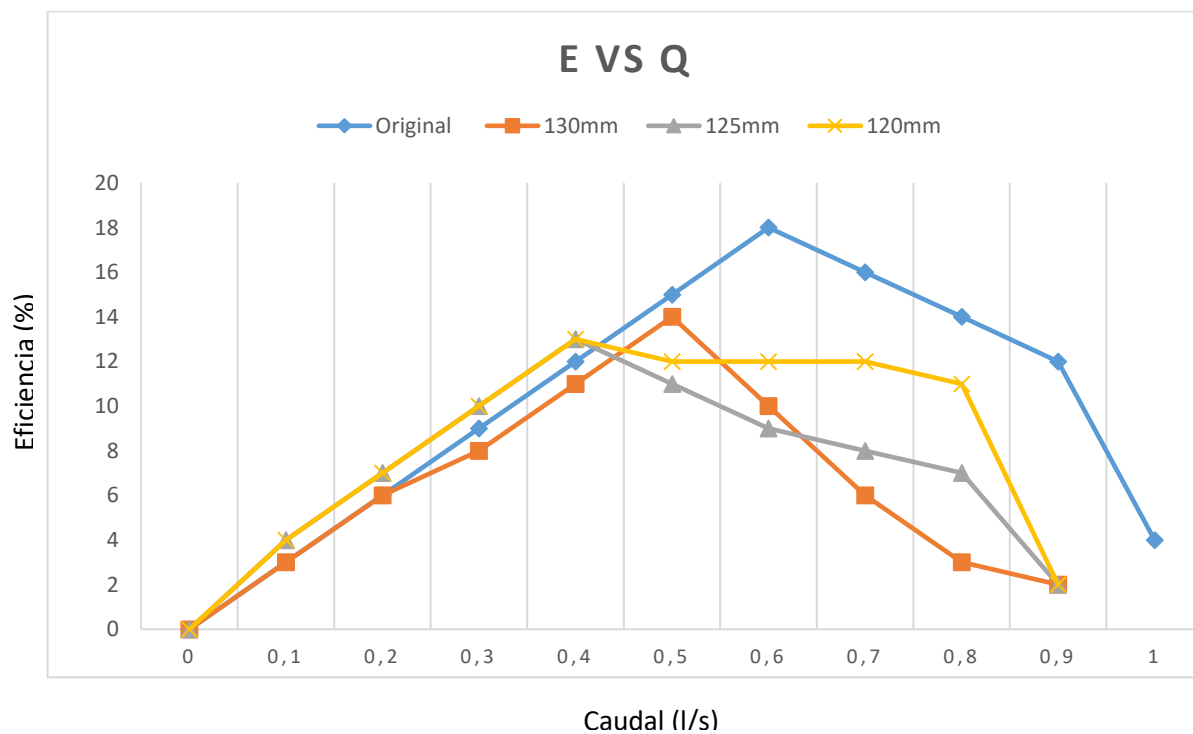
Posición	H _n (m)	P _{tohid} (w)	P _{toele} (w)	Eficiencia
0°	25,02	0	606	0 %
22,5°	19,74	88,99	707	12,6 %
45°	9,6	76,68	707	10,8 %
67,5°	2,46	21,22	707	3 %
90°	1,46	12,93	707	1,8 %

Curvas características de la bomba centrífuga con los diferentes impeler

Grafica 1 de curvas de H vs Q con los diferentes impulsores



Grafica 1.1 de curvas de E vs Q con los diferentes impulsores



Se le hizo un impulsor de tamaño de 130mm con las hélices en sentido contrario y se realizó la misma prueba que a los otros impulsores.

Tabla 6 *Toma de datos con el impulsor de 130mm pero en sentido contrario*

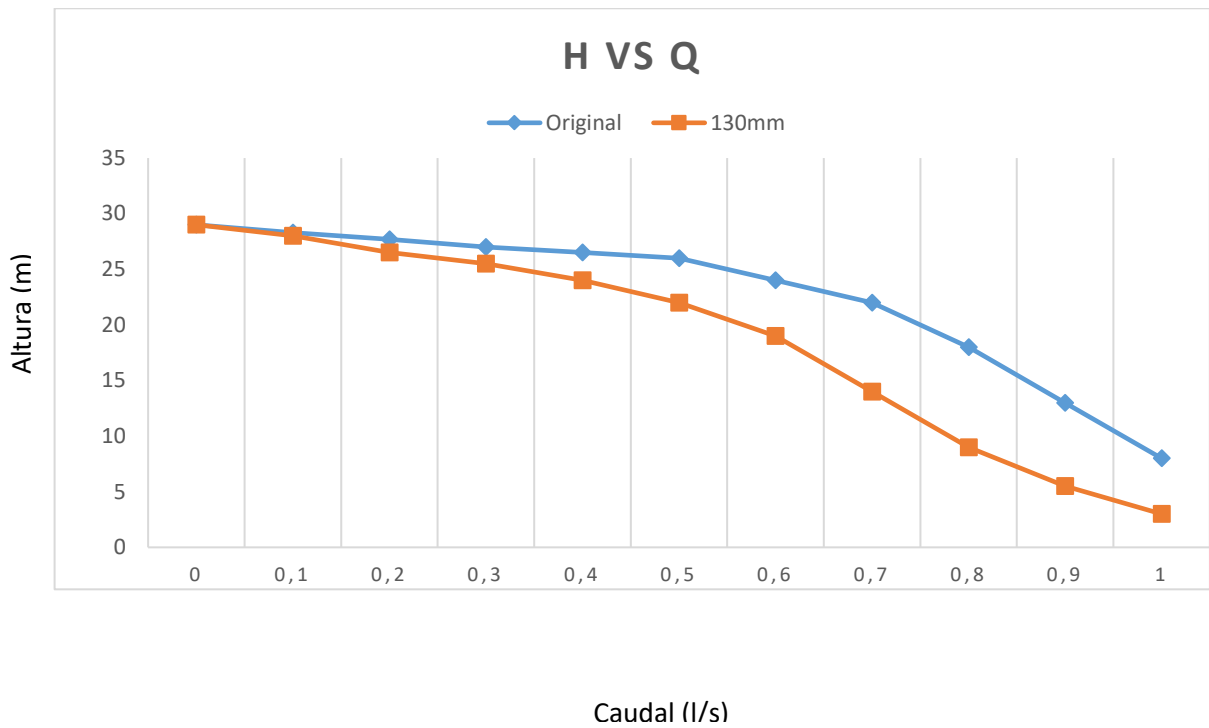
Posición de la válvula	Q (l/s)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Presión Entrada (Pa)	Presión Salida (Pa)
0°	0	101	6	0	284.393
22,5°	0,410	101	4	2.666,4	245.166
45°	0,790	101	10	7.999,3	88.259,9
67,5°	0,924	101	11	7.999,3	39.226,6
90°	0,960	101	11	7.999,3	19.613,3

Tabla 6.1 *Tabla de resultados con el impulsor de 130mm pero en sentido contrario:*

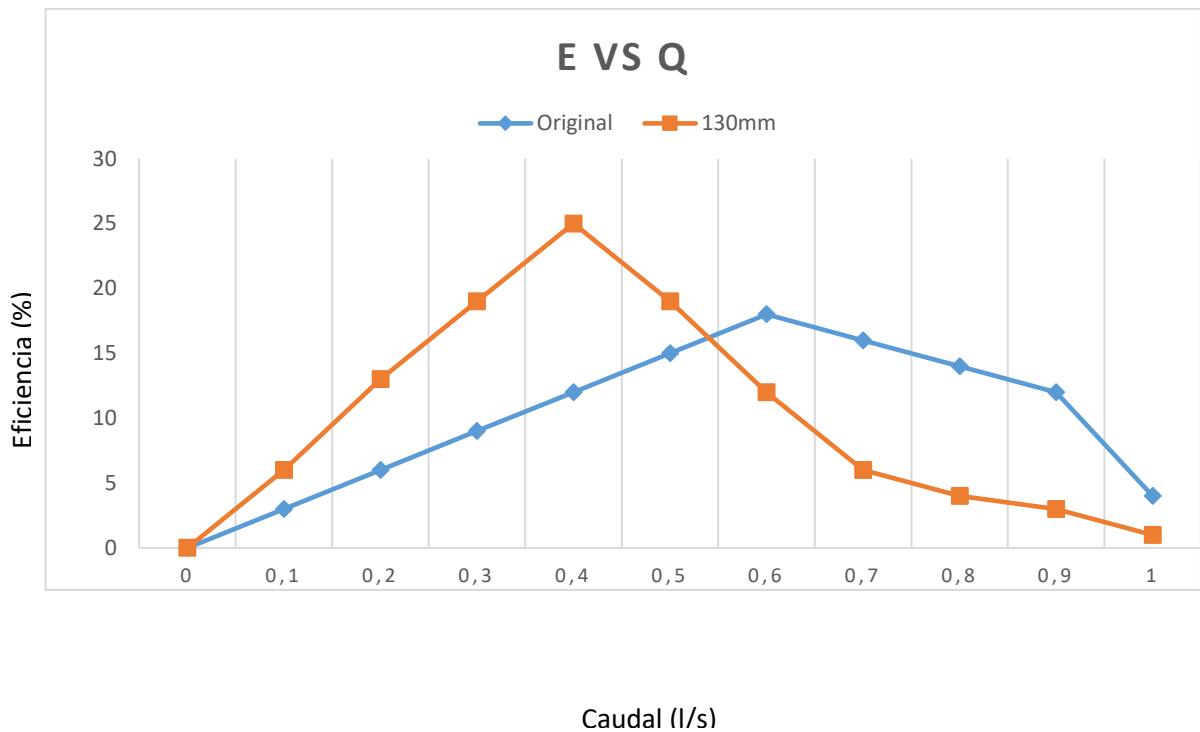
Posición	H _n (m)	Pto _{hid} (w)	Pto _{ele} (w)	Eficiencia
0°	29,02	0	606	0 %
22,5°	24,74	99,41	404	24,6 %
45°	8,19	63,41	1010	6,3 %
67,5°	3,19	29,01	1111	2,6 %
90°	3,19	11,2	1111	1 %

Curvas Características del impeler original y del impeler que trabaja en sentido contrario.

Gráfica 2 de curvas de H vs Q con los impulsores normal y hélice en sentido contrario



Gráfica 2.1 de curvas de E vs Q con los impulsores normal y hélice en sentido contrario



En la gráfica 3 y 4 se puede observar el comportamiento del impulsor original y el impulsor que gira con las hélices en sentido contrario para poder comparar de una manera más sencilla.

Teniendo en cuenta los anteriores resultados y los tamaños exactos de los tres impulsores, podríamos tener datos teóricos de los cambios que puede generarse en el caudal, la altura manométrica y la potencia de la bomba centrífuga con los diferentes impulsores por medio de las leyes de afinidad, estos resultados se comparan en la tabla 7.

Se toma las medidas del impulsor de 130mm como los datos iniciales y con la válvula totalmente abierta.

Tabla 7 *Cálculos de las leyes de afinidad*

	Impulsor 130mm	Impulsor 125mm	Impulsor 120mm
Q (l/s)	0,918	0,883	0,847
H (m)	1,59	1,47	1,35
P (w)	14,3	12,71	11,25

Con los cálculos obtenidos de la tabla 7 se compara los datos teóricos de los experimentales en la práctica con los impulsores de tamaño 125mm y 120 mm en las tablas 7.1 y 7.2 para poner a prueba las leyes de afinidad y poder comprobar que tan exacta puede ser.

Tabla 7.1 Comparación impulsor 125mm de datos teóricos con los experimentales

Impulsor 125mm	Practico	Teórico
Q (l/s)	0,914	0,883
H (m)	1,46	1,47
P (w)	13,08	12,71

Tabla 7.2 Comparación impulsor 120mm de datos teóricos con los experimentales

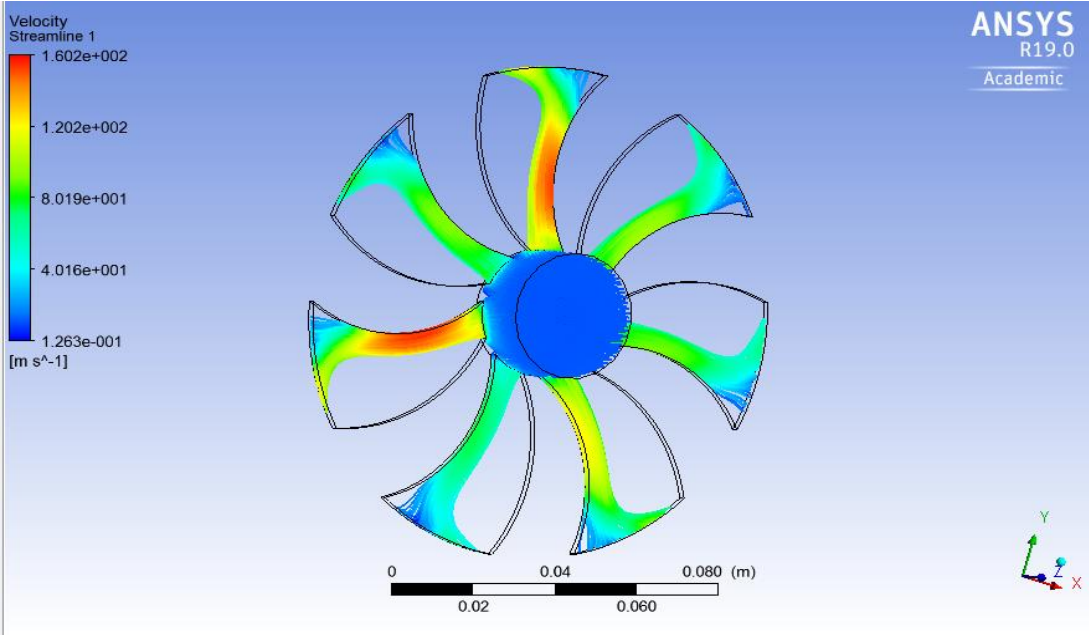
Impulsor 120mm	Practico	Teórico
Q (l/s)	0,904	0,847
H (m)	1,46	1,35
P (w)	12,93	11,25

7.5 PRUEBA DE LOS PROTOTIPOS DE IMPULSORES POR ANSYS

Los impulsores fueron diseñados en Solidworks y se simularon en Ansys. Ansys es una herramienta es un software de simulación para ingenieros, está desarrollado para funcionar bajo la teoría de elementos finitos que permite observar y estudiar la dinámica de un fluido bajo ciertas condiciones.

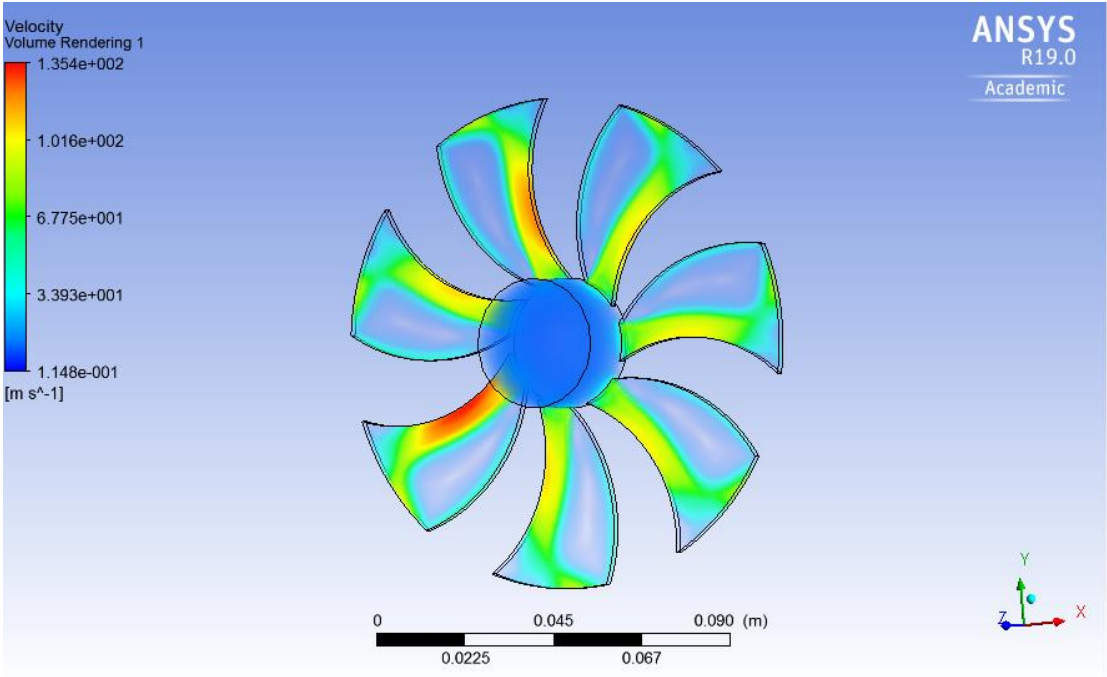
Para poder simular la velocidad y la presión fluido se tomaron como condiciones de frontera las características generadas por el fabricante que se encuentran en los manuales y en la tabla 1 mostrada anteriormente. Se puede apreciar en las imágenes 23 a la 25 la velocidad del fluido generada por el simulador Ansys y se omitió los cambios de presión dentro del impulsor porque el simulador no muestra un diferencial de presión notable.

Imagen 23 prueba de velocidad del impulsor de 130mm por ANSYS



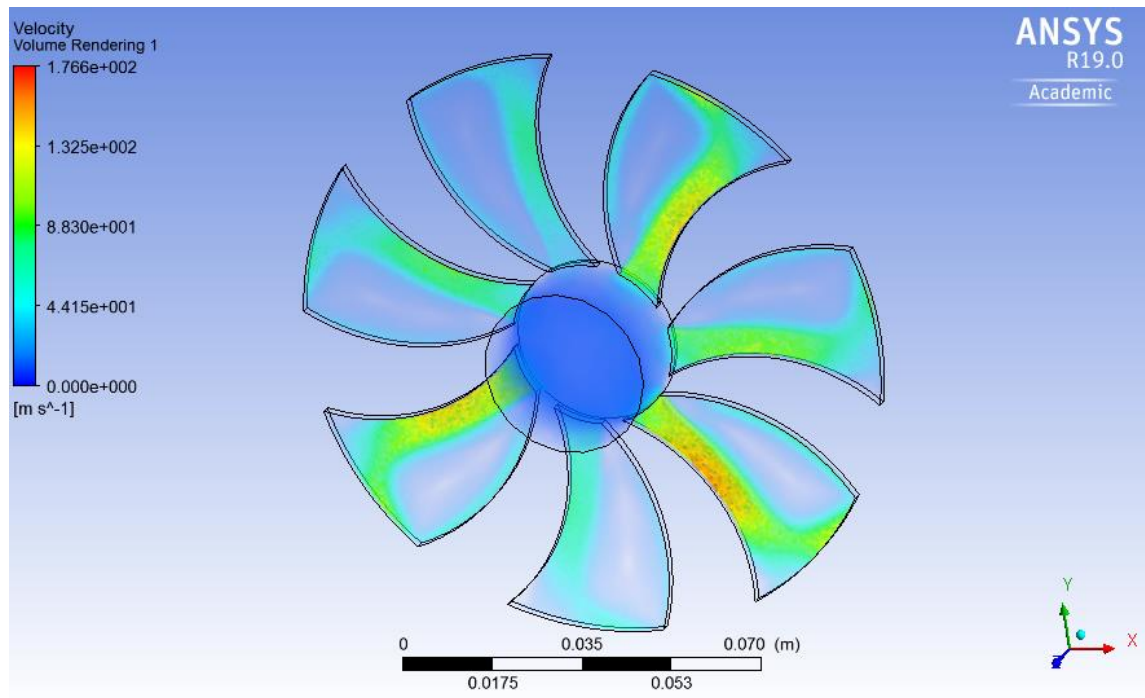
Tomado por Santiago Emilio Sánchez (2018)

Imagen 24 prueba de velocidad del impulsor de 125mm por ANSYS



Tomado por Santiago Emilio Sánchez (2018)

Imagen 25 prueba de velocidad del impulsor de 120mm por ANSYS



Tomado por Santiago Emilio Sánchez (2018)

8 CONCLUSIONES

En la comparación de la gráfica 1 y la gráfica que se presenta en la imagen **Curvas y datos de la bomba PEDROLLO modelo PUMP CP 610** donde se muestra los datos del manual de la bomba se puede asumir que los datos tomados en la práctica con el impulsor realizado por el fabricante son muy similares a los presentado en el manual. Las diferencias que existen entre estas dos curvas son de 3m de altura de cabeza promedio, la diferencia entre esta altura de cabeza y el caudal se presenta por desgaste con el tiempo del impulsor original, partículas en el fluido, las medidas del banco de bombas no son totalmente exactas y el comportamiento del caudal no es constante por lo que los datos experimentales pueden tener una variación de 0,100 l/s.

La práctica experimental con los diferentes impulsores se realizó en el banco de pruebas de máquinas hidráulicas, este no se realizó con el propósito de tener mediciones exactas que se necesitan en una práctica en la que se cambie el tamaño de los impulsores de una bomba, por lo que no está adecuado, al cerrar el paso de la salida con la bomba encendida tenemos una válvula de bola que no permite un paso más preciso del caudal, lo ideal sería una válvula tipo compuerta que permita un número de vueltas exactas para permitir un paso adecuado del fluido a la salida de la bomba y generar una mejor toma de medidas, el paso de caudal de esta válvula aumenta de un bajo caudal a un caudal casi completo con diferencias de 0,6 l/s. Se muestra en la gráfica **1** y **2** que las curvas contienen tramos largos en línea recta y no permite medir un diferencial que puede ser considerable en una práctica como esta.

Por medio de la gráfica **1**, podemos concluir que el impulsor original sobresale de los impulsores realizados por la impresora 3D, con una diferencia de 4m de altura de cabeza y 0,1 l/s de caudal debido a que el impeler original tiene hélices que permiten un mejor paso del fluido, las cuales no pudieron ser impresas con exactitud debido a que el impulsor no podía ser desarmado y también existe una diferencia en los datos de los impulsores construidos, con un menor diferencial de altura de hasta 1m por parte de los impulsores construidos de 130mm y 125mm pero con una variación en el impulsor de 120mm de diámetro que muestra menor altura con caudales bajos, con una diferencia de 5m y mayor altura con caudales altos, con diferencias de hasta 2m en promedio.

En cuanto a la gráfica **1.1** podemos observar que el impulsor original destaca con una mayor eficiencia que los impulsores construidos, con una diferencia máxima de hasta el 6%, 8% y 9% de eficiencia de los impulsores 130mm, 125mm y 120mm

respectivamente. Se observa también que el impulsor de 120mm de tamaño presenta una eficiencia más constante al aumentar su caudal y esto se debe a que por su tamaño consume menos energía eléctrica y aumenta su eficiencia.

En la gráfica **2** se puede observar que el impulsor con hélices invertidas presenta una curva similar a la del impulsor original, pero con alturas más bajas debido a que las hélices están en sentido contrario y esto afecta su desempeño.

El análisis de la gráfica **2.2** se ve una mayor eficiencia en el impulsor con hélices en sentido contrario en caudales bajos con una diferencia máxima de 13% pero también una eficiencia mucho menor con caudales altos con una diferencia máxima de 10%, mientras que en el impulsor original se tiene una curva más constante con la eficiencia, esto se debe a que el impulsor con hélices en sentido contrario es un milímetro más ancho, lo que genera más presión en el motor, esto crea un consumo elevado de energía eléctrica y esto a su vez hace que su eficiencia disminuya con caudales altos.

En la comparación de los datos obtenidos teóricamente por medio de las leyes de afinidad y los datos obtenidos experimentalmente se puede apreciar en las tablas **7.1** y **7.2** que son bastante similares y las diferencias se deben a que el banco de pruebas del laboratorio no tiene medidas exactas y esto dificulta los resultados.

En la simulación por Ansys que se muestra en las imágenes **Prueba de velocidad del impulsor de 130mm por ANSYS, Prueba de velocidad del impulsor de 125mm por ANSYS, Prueba de velocidad del impulsor de 120mm por ANSYS** se muestra como el fluido entra por el centro con una velocidad baja de color azul y a

medida que el fluido pasa por los alavés del impulsor aumenta su velocidad mostrando un color rojo y saliendo por la parte externa del impulsor a mayor velocidad.

9 RECOMENDACIONES

- Se recomienda tener mejores instrumentos de medición, para una toma de datos más precisa y con mejores resultados es necesario tener manómetros y un caudalímetro preciso.
- Se recomienda mantener los instrumentos de medición correctamente calibrados, se necesita datos muy puntuales porque las diferencias son mínimas, pero son necesarias para poder comparar los diferentes tamaños de impulsores.
- Para el uso correcto de los impulsores se recomienda limpiar los accesos de agua porque se suelen tapar con partículas de mugre que puede tener el líquido con el que se están haciendo las pruebas.
- Se recomienda tener un nivel elevado de agua para evitar cavitación dentro de la bomba cuando comienza a succionar.

10 OBSERVACIONES

En la construcción del impulsor se observó que la impresora que realizó las piezas del impulsor tenía algunos defectos en el momento y algunas piezas imperfectas que pudieron dejar los impulsores más delgados por un lado, esto implica que el

impulsor pesa menos por ese lado, el conducto de ese alabe puede tener más fricción del fluido, que se presenten agujeros por donde se filtre el agua ocasionando turbulencias no esperadas en las pruebas de simulación y que pueden afectar a la hora de la practica con los resultados.

La simulación en ANSYS arrojó resultados donde el fluido al salir del impeler presenta un Slip elevado, se presenta mayormente por el grosor del alabe y aún más en los impulsores de mayor tamaño, esto afecta los resultados porque la comparación de los datos teóricos no se toma en cuenta que los prototipos de impulsores de mayor tamaño tienen un slip mayor y disminuye su caudal de salida. Esto también explica porque el impulsor original presenta mejores resultados que el impulsor fabricado, el impulsor original no se pudo abrir para tomar medidas exactas del grosor de los alabes porque estaba pegado y al desarmarlo se dañaba completamente. Estudios avanzados de los fabricantes de impulsores ayudaron a construir impulsores con medidas que perfeccionen y eviten el slip en las bombas, esto hizo una gran diferencia entre los impulsores fabricados y el original.

El impulsor con alabes en sentido contrario presenta resultados mejores en caudal que los fabricados con alabes en sentido correcto porque el impulsor de sentido contrario es un milímetro más ancho en el conducto del fluido, esto permite aumentar su caudal a salida de la bomba pero genera grandes pérdidas de energía, el motor de la bomba se esfuerza más al tener un aumento de fricción con la tapa de la bomba, para una comparación correcta de estos dos impulsores será necesario tener el impulsor en sentido incorrecto con las medidas iguales al del correcto.

11 ANEXOS

MANUAL DE USO

- Para desmontar la bomba centrífuga del banco tenemos que asegurarnos de tener el banco de pruebas totalmente desconectado de la corriente eléctrica y desconectar el motor de la bomba que se va a extraer.
- Se tienen que cerrar las válvulas tipo compuerta de entrada de agua a la bomba que se encuentran dentro del tanque del banco de pruebas.
- Con las herramientas correctas se desmonta la bomba de la manera más simple que es separar las uniones de las tuberías de entrada y salida de agua a la bomba.
- Para desarmar la bomba correctamente se desatornillan las cuatro esquinas que acoplan la bomba para que se mantenga cerrada, al desarmar la bomba se debe tener cuidado con los empaques que contenga esta para no perderlos.



Tomado por Santiago Emilio Sánchez (2018)

- Extraer el impulsor de la bomba y poner el impulsor que se quiera probar en el banco de pruebas.



Tomado por Santiago Emilio Sánchez (2018)

- Armar la bomba correctamente y con cuidado de no extraviar alguna pieza.
- Montar la bomba de la misma manera que fue desmontada por la tubería de salida y entrada, también se debe conectar el motor de la bomba correctamente.
- Abrir la válvula de la entrada de agua a la bomba y verificar que la bomba está correctamente cebada. (Normalmente esta bomba se ceba al abrir la válvula de compuerta que se encuentra dentro del tanque del banco de pruebas ya que este tiene la misma altura de la bomba).
- Enchufar el banco de pruebas después de rectificar que todo está puesto correctamente y es seguro prenderlo.
- Antes de encender la bomba se debe estar seguro que todas las válvulas del banco de pruebas encuentren cerradas en ese momento, después se

abren completamente las válvulas que se encuentren en la línea de la bomba que se va a usar.

- Una vez la bomba se encienda se debe variar la posición de la válvula de salida del fluido de la bomba, la llave de la válvula se debe girar $22,5^\circ$ 4 veces para obtener 5 resultados concluyendo la posición cerrada de la válvula. Es necesario tomar los datos de: Presión a la entrada y salida de la bomba, caudal a la salida, voltaje, corriente y los que se consideren necesarios para poder realizar la comparación con las leyes de afinidad en cada una de las posiciones. Estos datos los arroja el banco de pruebas.
- Con los datos obtenidos por el banco de pruebas se debe hallar altura, potencia hidráulica, potencia eléctrica y eficiencia.
- Realizar tablas contengan los resultados para tener una mayor facilidad de lectura, con estos datos realizar grafica de Q vs H y Q vs E.
- Repetir el proceso con todos los impulsores de diferente tamaño.



Tomado por Santiago Emilio Sánchez (2018)

12 REFERENCIAS

1. Humberto, C. Agosto (1976). Modificación del diámetro de los impulsores en bombas centrífugas. Ingeniería Mecánica y Eléctrica.
2. Gonzáles, M.M (2006). Evaluación de bombas centrífugas. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 27(1), 38-41
3. Barreto, R.P. (2004). Cavitación y materiales de construcción en las bombas centrífugas. Minería y Geología, 20(3/4), 114-118.
3. Jiang, X, Wang, C, Wu, J, Shi, W, Liu, S & Yang, Y. (2017). Effect of diffuser inlet width on cantilever multistage centrifugal pump. DYNA- Ingeniería E Industrial, 92(1), 63-70. doi: 10.6036/8153
4. MARCO TEÓRICO, tomado de <http://www.unet.edu.ve/~maqflu/doc/LAB-1-95.htm> el mes de abril de 2018.
5. Sierra Pérez Sebastián. (2010). Modelación geométrica del impulsor de una bomba centrífuga. Proyecto de trabajo de grado realizado en la universidad EAFIT, Medellín. Tomado de https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/4225/Sebastian_SierraPerez_2010.pdf?sequence=1
6. Xue Yu, L., & Zheng Qiao, L. (2017). Numerical optimization for radiated noises of centrifugal pumps in the near-field and far-field based on a novel MLGA-PSO algorithm. Journal Of Vibroengineering, 19(7), 5589-5605. doi:10.21595/jve.2017.18717

7. Deng, H., Liu, Y., Li, P., & Zhang, S. (2017). Whole flow field performance prediction by impeller parameters of centrifugal pumps using support vector regression. *Advances In Engineering Software*, 114258-267. doi:10.1016/j.advengsoft.2017.07.007
8. Yu, S., Zhiyi, Y., Guangtai, S., & Xiaobing, L. (2018). Influence of impeller staggered arrangement on radial force and pressure fluctuation for a doublesuction centrifugal pump. *Advances In Mechanical Engineering (Sage Publications Inc.)*, 10(6), 1-13. doi:10.1177/1687814018781467
9. Cao, W., Yao, L., Liu, B., & Zhang, Y. (2017). The influence of impeller eccentricity on centrifugal pump. *Advances In Mechanical Engineering (Sage Publications Inc.)*, 9(9), 1-17. doi:10.1177/1687814017722496
10. Oude Weme, D. D., van der Schoot, M. S., Kruyt, N. P., & van der Zijden, E. J. (2018). Prediction of the Effect of Impeller Trimming on the Hydraulic Performance of Low Specific-Speed Centrifugal Pumps. *Journal Of Fluids Engineering*, 140(8), 1-7. doi:10.1115/1.4039251
11. Heng-xuan, L., Qing-guang, C., Li-yuan, W., Yuan-zhong, L., & Jie, L. (2016). Numerical computation of the flow noise for the centrifugal pump with considering the impeller outlet width. *Journal Of Vibroengineering*, 18(4), 2601-2612. doi:10.21595/jve.2016.16656
12. Xiao, Q., & Li, W. (2016). Effects of Impeller Trimming Methods on Performances of Centrifugal Pump. *Journal of Energy Engineering*, 142 (4), 1-11. doi: 10.1061 / (ASCE) EY.1943-7897.0000343

13. Kai, W., Zixu, Z., Linglin, J., Houlin, L., & Yu, L. (2017). Effects of impeller trim on performance of two-stage self-priming centrifugal pump. *Advances In Mechanical Engineering* (Sage Publications Inc.), 9(2), 1-11. doi:10.1177/1687814017692493
14. Zou, Z., Wang, F., Yao, Z., Tao, R., Xiao, R., & Li, H. (2016). Impeller radial force evolution in a large double-suction centrifugal pump during startup at the shut-off condition. *Nuclear Engineering & Design*, 310410-417. doi:10.1016/j.nucengdes.2016.10.034
15. Minggao, T., Naichang, H., Houlin, L., Xianfang, W., & Jian, D. (2016). Experimental test on impeller clocking effect in a multistage centrifugal pump. *Advances In Mechanical Engineering* (Sage Publications Inc.), 8(4), 1-10. doi:10.1177/1687814016644376
16. Chuan, W., Weidong, S., Qiaorui, S., & Ling, Z. (2014). 1277. Numerical calculation and finite element calculation on impeller of stainless steel multistage centrifugal pump. *Journal Of Vibroengineering*, 16(4), 1723-1734.
17. Xin, Z., Yongxue, Z., Zhongli, J., & Long, C. (2014). The Impeller Improvement of the Centrifugal Pump Based on BVF Diagnostic Method. *Advances In Mechanical Engineering* (Hindawi Publishing Corporation), 1-9. doi:10.1155/2014/464363
18. Yang, S., Liu, H., Kong, F., Dai, C., & Dong, L. (2013). Experimental, Numerical, and Theoretical Research on Impeller Diameter Influencing Centrifugal Pump-as-Turbine. *Journal Of Energy Engineering*, 139(4), 299-307. doi:10.1061/(ASCE)EY.1943-7897.0000128

19. Kim, E., & Palazzolo, A. (2016). Rotordynamic Force Prediction of a Shrouded Centrifugal Pump Impeller--Part II: Stability Analysis. *Journal Of Vibration & Acoustics*, 138(3), 1-13. doi:10.1115/1.4032723
20. Qian, K. X., Wang, F. Q., Zeng, P., Ru, W. M., Yuan, H. Y., & Feng, Z. G. (2006). Computational fluid dynamics verified the advantages of streamlined impeller design in improving flow patterns and anti-haemolysis properties of centrifugal pump. *Journal Of Medical Engineering & Technology*, 30(6), 353-357. doi:10.1080/03091900500130807
21. Sanda, b., & daniela, c. v. (2012). the influence of the inlet angle over the radial impeller geometry design approach with ansys. *Journal Of Engineering Studies & Research*, 18(4), 32-39.
22. Qian, K. X., Zeng, P., Ru, W. M., Yuan, H. Y., & Feng, Z. G. (2001). Axial reciprocation of rotating impeller: a new concept of antithrombogenicity in centrifugal pump. *Journal Of Medical Engineering & Technology*, 25(1), 25-27. doi:10.1080/03091900010022256
23. Gonzalez, J., Fernandez, J., Blanco, E., & Santolaria, C. (2002). Numerical Simulation of the Dynamic Effects Due to Impeller-Volute Interaction in a Centrifugal Pump. *Journal Of Fluids Engineering*, 124(2), 348.
24. Pedersen, N., Larsen, P. S., & Jacobsen, C. B. (2003). Flow in a Centrifugal Pump Impeller at Design and Off-Design Conditions--Part I: Particle Image Velocimetry (PIV) and Laser Doppler Velocimetry (LDV) Measurements. *Journal Of Fluids Engineering*, 125(1), 61.

25. Friedrichs, J., & Kosyna, G. (2002). Rotating Cavitation in a Centrifugal Pump Impeller of Low Specific Speed. *Journal Of Fluids Engineering*, 124(2), 356.
26. Baun, D. O., & Kostner, L. (2000). Effect of Relative Impeller-to-Volute Position on Hydraulic Efficiency and Static Radial Force Distribution in a Circular Volute Centrifugal Pump. *Journal Of Fluids Engineering*, 122(3), 598.
27. Fannian, M., Quanlin, D., Pengfei, W., & Yan, W. (2014). Multiobjective Optimization for the Impeller of Centrifugal Fan Based on Response Surface Methodology with Grey Relational Analysis Method. *Advances In Mechanical Engineering (Hindawi Publishing Corporation)*, 1-13. doi:10.1155/2014/614581