



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA

MECÁNICA ELÉCTRICA

Influencia de la rugosidad y material del impulsor sobre la altura,
potencia y rendimiento de una bomba centrífuga PKM60 Pedrollo

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Eléctrico

AUTORES:

Galvez Veintimilla, Jimmy John (ORCID: 0000-0003-2921- 4072)

Torres García, Walter Daniel (ORCID: 0000-0002-3736-7733)

ASESOR:

Ms. Julca Verástegui, Luis (ORCID: 0000-0001-5158- 2686)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Generación, Transmisión y Distribución

TRUJILLO – PERÚ

2020

Dedicatoria

A nuestro padre y creador del universo, Dios, por tener vida, por darme la sabiduría necesaria y por permitirme tener a mis familiares y personas idóneas durante mi formación profesional.

A todos mis profesores que me enseñaron conocimientos y habilidades durante mi carrera, que sin ello no hubiese terminado este trabajo ni obtener mi título profesional.

A padres y mis hermanos por ser un soporte primordial e incondicional en mi vida y formación profesional, un ejemplo a seguir y huellas que dejar en su camino para que sientan orgullo y voluntad de desarrollo personal.

Agradecimiento

Damos gracias a Dios por darnos la vida y permitirnos terminar nuestra carrera profesional y convertirnos en personas de bien en beneficio de nuestras familias y de la sociedad.

Agradecemos a nuestros familiares por estar siempre a nuestro lado apoyándonos y alentándonos a ser mejores personas y lograr alcanzar nuestras metas y éxitos profesionales.

Agradecemos a la comunidad universitaria de la Universidad César Vallejo por permitirnos concluir nuestros estudios que sin su orientación y consejos hubiese sido más difícil de superar, para así convertirnos en profesionales íntegros y competentes para la sociedad.

Página del Jurado

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------

Declaratoria de autenticidad

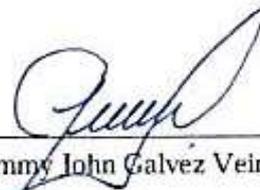
Nosotros Jimmy John Galvez Veintimilla, con DNI 41410069, y Walter Daniel Torres García con DNI 40875595; a efectos de cumplir con las disposiciones vigentes considerando el reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica, declaramos bajo juramento que todo documento que acompañamos es veras y legítimo. Así mismo también bajo juramento que todos los datos e información que se presentan en la presente tesis son legítimos y veraces.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto en los documentos como de información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, agosto de 2020



Walter Daniel Torres Garcia
DNI: 40875595



Jimmy John Galvez Veintimilla
DNI: 41410069

Presentación

Señores integrantes miembros del jurado, presentamos ante su digna persona la presente Tesis titulada “Influencia de la Rugosidad y material del Impulsor sobre la altura, potencia y rendimiento de una Bomba Centrífuga PKM60 Pedrollo” para así dar cumplimiento al Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo que establece los requisitos para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico.

Estando seguros de haber cumplido con los requisitos de aprobación, confiamos en que revisarán y de ser necesario se corregirá lo observado, esperando que son su justo criterio emitan el dictamen correspondiente por el trabajo realizado y sustentación defendida, para lo cual expresamos nuestra gratitud y consideración personal.

Trujillo, Agosto de 2020



Torres García Daniel

Autor

DNI 40875595



Gálvez Veintimilla Jimmy John

Autor

DNI 41410069

Índice

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Página del Jurado.....	iv
Declaratoria de autenticidad	v
Presentación.....	vi
Índice	vii
RESUMEN	ix
ABSTRACT..	x
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Realidad problemática	2
1.2 Trabajos previos.....	2
1.3 Teorías relacionadas al tema.....	4
1.4 Formulación del problema	10
1.5 Justificación del estudio.....	10
1.6 Hipótesis	10
1.7. Objetivos.....	11
1.7.1 General.....	11
1.7.2 Específicos	11
II. MÉTODO.....	12
2.1. Diseño de Investigación.....	13
2.2 Variables	13
2.2.1 Variable dependiente	13
2.2.2 Variable independiente	13
2.2.3. Operacionalización de variables	14
2.3 Población y muestra.....	15
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	15
2.5 Métodos de análisis de datos	16
2.6 Aspectos éticos	16

III. RESULTADOS	17
IV. DISCUSIÓN	28
V. CONCLUSIONES	31
VI. RECOMENDACIONES	33
REFERENCIAS	35
ANEXOS	37
Anexo 1: Fotografía realizando la construcción del banco de ensayos y realización de las mediciones.....	38
Anexo 2: Impulsor IB1 de alineación de bronce con 46 μm de rugosidad.....	42
Anexo 3: Impulsor de fibra polimérica con 7 μm de rugosidad.....	43
Anexo 4: Impulsor IF2 de fibra polimérica con 46 μm de rugosidad.....	44
Anexo 5: Impulsor IF3 de fibra polimérica con 200 μm de rugosidad.....	45
Anexo 6: Acta de Aprobación de Originalidad de Tesis.....	46
Anexo 7: Reporte Turnitin.....	47
Anexo 8: Autorización de Publicación de Tesis en Repositorio Institucional UCV.....	48
Anexo 9: Autorización de Publicación de Tesis en Repositorio Institucional UCV.....	49
Anexo10: Autorización de la versión final del trabajo de investigación.....	50
Anexo11: Autorización de la versión final del trabajo de investigación.....	51

RESUMEN

El estudio realizado permitió determinar la influencia de la rugosidad de las superficies sólidas, como efecto del proceso de manufactura de los impulsores de bombas de agua domésticas, así como también la influencia del material con el cual son fabricados, lo cual condiciona el peso del impulsor de estas bombas.

Se utilizaron 3 diferentes impulsores con diferente acabado superficial logrando establecer tres niveles de rugosidad de 7, 46 y 200 micrómetros, para impulsores fabricados de material polimérico, siendo analizados mediante simulación computacional usando un software especializado MVF solidworks flow simulation y ensayando los impulsores en un banco de ensayo construido para este fin y así determinar los parámetros de altura, potencia y rendimiento que se presentan en esta bombas de uso doméstico.

Los resultados muestran que con material polimérico mejora el rendimiento de la bomba, se reduce la potencia consumida, sin embargo, la altura de bomba no se modifica de manera significativa, respecto a los parámetros de la bomba de aleación de bronce, concluyendo que a mayor rugosidad los parámetros de potencia aumentan y la altura y rendimiento disminuyen.

Palabras claves: impulsor de bomba, rendimiento de bomba, rugosidad.

ABSTRACT

The study made it possible to determine the influence of the rugosity of the solid surfaces, as an effect of the manufacturing process of the domestic water pump impellers, as well as the influence of the material with which they are manufactured, which conditions the weight of the impeller of these pumps.

Three different impellers with different surface finish were used, achieving three roughness levels of 7, 46 and 200 micrometers, for impellers made of polymeric material, being analyzed by computational simulation using specialized software MVF solid works flow simulation and testing the impellers in a bank. of test built for this purpose and thus determine the parameters of height, power and performance that are presented in these pumps for domestic use.

The results show that with polymer material improves the performance of the pump, the power consumed is reduced, however, the pump height does not change significantly, with respect to the parameters of the bronze alloy pump, concluding that the higher roughness the power parameters increase and the height and performance decrease.

Keywords: pump impeller, pump performance, roughness.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

Debido a la aparición de nuevos materiales para los sistemas de Ingeniería, los materiales poliméricos avanzados empezaron a ser utilizados en el mantenimiento industrial. En cuestión de medio siglo, la industria ha innovó la forma de reparar y resolver problemas de mantenimiento gracias al uso de los polímeros en reemplazo de algunos metales tales como el acero, bronce, aluminio, etc., cuyo acabado superficial es mejor que la de los metales o bronce, debido a su mejor maquinado que puede lograrse. (Belzona, 2017)

Los materiales del impulsor que podrían utilizarse son el nylon y teflón, estos polímeros son comerciales y lo podemos encontrar en el mercado industrial, y cuya rugosidad es mucho menor a la de los metales aluminio o bronce, teniendo en cuenta que la rugosidad es uno de los factores que influye directamente en la intensidad de los esfuerzos cortantes que asociado al aligeramiento de los impulsores es posible mejorar la performance de estas bombas de amplio y común uso doméstico e industrial. (Macaplast, 2017).

Un ejemplo de este cambio o reemplazo de los impulsores de las electrobombas para utilizarlas en aplicaciones puntuales como un fluido altamente oxidante o un ácido, es para evaluar la factibilidad de ser posible el cambio. Realmente existe escasa información respecto a este tipo particular de bombas si nuestro propósito es saber en primera instancia, cuál es su historia, donde son empleadas, cómo funcionan, a que clase pertenecen, que estudios se han realizado; por último, que motiva investigarlas.

1.2 Trabajos previos

En la mayor parte de la literatura que abarcan el estudio de bombas en general, el hecho de mencionar a las bombas periféricas, solo obedece a la necesidad de llenar el hueco que existe entre las bombas dinámicas y las bombas de desplazamiento positivo (Mott, 1996), mas no detallan sus principios o modelos de corriente, como existe para el caso de las bombas centrifugas, lo cual facilitaría su estudio. Es así que, para la obtención de los valores teóricos (sin tener en cuenta las perdidas) de los parámetros principales, ósea, la altura y caudal, se recurre a la ecuación de cantidad de movimiento aplicado sobre un modelo de corriente extremadamente simplificado, puesto que el modelo real y las dependencias cuantitativas son extremadamente

complejas (Mataix, 1996), ahora, las expresiones simplificadas llevan consigo parámetros constructivos y dado lo escaso de la información respecto al diseño, resulta una tarea bastante difícil obtener aproximaciones teóricas cuantitativas.

Tampoco se ha encontrado información sobre la relación entre las características constructivas, particularmente nos referimos al impulsor, con los parámetros de altura útil y rendimiento. Un modo de evaluar sería mediante la técnica de Dinámica Computacional de Fluidos (CFD); que en la actualidad es empleada cada vez con mayor frecuencia, pero su empleo demanda una inversión importante para la licencia de un programa especializado, en este caso para aplicaciones en turbo-máquinas, que debe ser complementado con capacitación para interpretar o analizar bien los resultados así como para dominar su manejo; esta técnica permitiría estudiar el fenómeno dinámico del flujo complementando la experimentación. (Franzini, 1999). En otras palabras, las investigaciones sobre este tipo particular de bombas se siguen llevando a cabo, y ello requiere de laboratorios implementados con el equipo apropiado, de tal forma que la experimentación permita determinar los parámetros que caracterizan su funcionamiento; como la altura útil y rendimiento, así como también, para evaluar la relación que existe de estos con las características constructivas del impulsor.

- En la Universidad Nacional de Trujillo, como antecedente de trabajo de investigación más próximo en cuanto a sus objetivos es el de Cruzado José, “INFLUENCIA DEL NUMERO DE ASPAS RADIALES DEL IMPULSOR EN LA ALTURA, POTENCIA Y RENDIMIENTO DE LA ELECTROBOMBA PERIFERICA MODELO PKm60 DE LA MARCA PEDROLLO”. Tesis Ing. Mecánica. Trujillo, 2009. En cuyo trabajo se evaluó la influencia del número de aspas en el impulsor fabricado de bronce, encontrando la influencia del aumento del número de aspas sobre la potencia y rendimiento en estas bombas.
- Optimización del sistema de bombeo de agua potable del Hospital General San Juan de Dios, cuyo autor, Edgar Rolando Champet Pérez de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009, en cuyo trabajo de Ejercicio Profesional Supervisado, se plantea un diseño para la optimización del sistema de bombeo de agua potable del Hospital General San Juan de Dios. Se diseñó el plan de optimización del sistema de bombeo aplicando principios mecánicos y eléctricos, para satisfacer las necesidades principales. Con este proyecto se busca minimizar

las horas hombre que actualmente se utilizan y se espera que económicamente se reduzcan los gastos que actualmente se realizan por operación de la maquinaria. El plan se basa en la recuperación física del sistema de bombeo, la implementación de sistemas de control y seguridad y la automatización del funcionamiento del sistema utilizando un PLC. Se concluye que mejoró la eficiencia de la maquinaria, se redujo el error en la operación del sistema y registró datos de eventos que se producen en la maquinaria que serán de beneficio para el departamento de Mantenimiento que tendrá más herramientas para un mejor plan de mantenimiento preventivo de las bombas de agua.

1.3 Teorías relacionadas al tema

Bombas Hidráulicas. (Mott, 1996)

Las bombas son máquinas de fluido incompresible que se utilizan para impulsar líquidos a través de conductos o tuberías, mediante la conversión de la energía mecánica en hidráulica. Según el tipo de aplicación existen una gran variedad de bombas para traslado de líquidos y para presurizar o crear vacío en aplicaciones industriales o donde se necesite una diferencia de presiones o elevar algún tipo de fluido. Hay dos tipos de bombas: rotodinámicas y de desplazamiento positivo (hidrostáticas). El proceso de transferencia de energía mecánica y su transformación se efectúa entre las dos etapas siguientes:

- a) Entrada del flujo o Aspiración. – La rotación del impulsor o desplazamiento de paredes sólidas origina una succión que permite la entrada del fluido dentro de la bomba.
- b) Salida del flujo o Descarga. – Las paredes sólidas móviles permiten desplazar o impulsar el fluido fuera de la bomba.

Bombas rotodinámicas

Las bombas rotodinámicas se usan principalmente para transferir fluidos a través de un impulsor o rodete.

Bombas centrífugas

Una bomba centrífuga es un tipo de bomba rotodinámica con un impulsor, gracias a la fuerza centrífuga que se genera cuando giran las paletas del rodete.

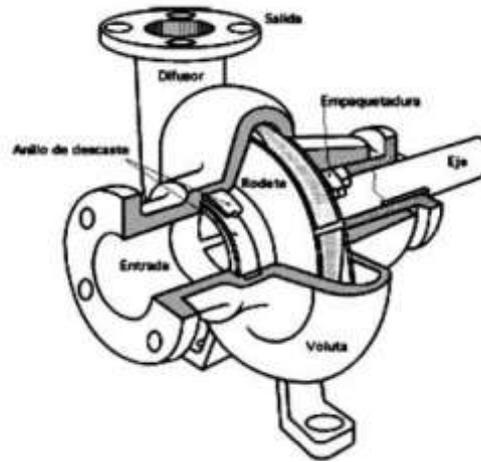


Figura: 05: Partes de una bomba centrífuga. Fuente: Mataix, 1996.

Clasificación de bombas centrífugas

- a) **Centrífugas o radiales:** son las más conocidas y a veces las únicas existentes en el mercado. Se caracterizan por hacer uso de la fuerza centrífuga para impulsar el agua, razón por la cual ésta sale de la bomba en forma perpendicular al eje del rodete. En este tipo de bombas proporciona un flujo de agua uniforme y son apropiadas para elevar caudales pequeños a grandes alturas.
- b) **Bombas axiales o helicoidales:** no hacen uso de la fuerza centrífuga, sino que mueven el agua en forma similar como lo hace un ventilador para mover el aire, el agua sale en forma paralela al eje de rotación del impulsor. Son especialmente indicadas para elevar grandes caudales ($11 \text{ m}^3/\text{seg.}$) a baja altura hasta 6 mca (metro de columna de agua).
- c) **Bombas de flujo mixto:** debido a un movimiento axial y radial centrífugo, se les denomina de flujo mixto y su mejor rendimiento se logra con caudales entre 30 y 3000 lt/seg. y alturas de 3 a 18 mca.

Curva característica del funcionamiento de la bomba

Representa la gráfica que muestra la energía total desarrollada por la bomba en metros en función del caudal entregado por la misma, a una determinada velocidad de rotación constante. En la Figura 06. Se muestra una curva de Funcionamiento típica de una bomba centrífuga. La altura total entregada por la bomba disminuye a medida que el caudal aumenta.

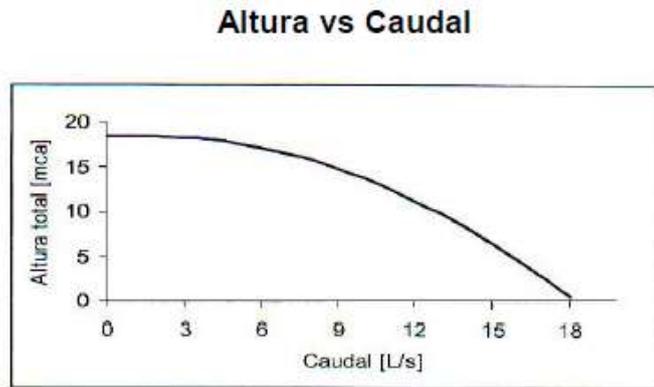


Figura: 06 Curva de funcionamiento de una bomba
(Mott, 1996)

Ecuación 01. Ecuación de la energía en metros con pérdidas de carga aplicado entre la entrada y salida de una bomba (Mott, 1996)

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad (01)$$

Dónde:

$\frac{P_1}{\gamma}$ = Presión de succión en la entrada de la bomba (mca).

$\frac{V_1^2}{2g}$ = Velocidad en la entrada de la bomba (mca).

Z_1 = Altura geodésica en la entrada o succión de la bomba (m).

$\frac{P_2}{\gamma}$ = Presión de descarga en la salida de la bomba (mca).

$\frac{V_2^2}{2g}$ = Velocidad en la salida de la bomba (mca).

Z_2 = Altura geodésica en la salida o descarga de la bomba (m).

h_A = Energía total entregada por la bomba (mca).

Curva característica de la eficiencia de la bomba. (Viejo, 2000)

La curva característica de la eficiencia o rendimiento total de un sistema de bombeo es la relación entre la potencia hidráulica entregada por la bomba al fluido y la potencia eléctrica consumida por el motor. En la Figura 07. Se muestra una curva típica de la eficiencia de una bomba centrífuga. Con el aumento del caudal, la eficiencia aumenta hasta un valor máximo, denominado punto de máximo rendimiento. A partir de este punto, cuando aumenta el caudal, la eficiencia empieza a disminuir. La ecuación 3 es la expresión matemática que se utiliza para calcular la eficiencia de una bomba.

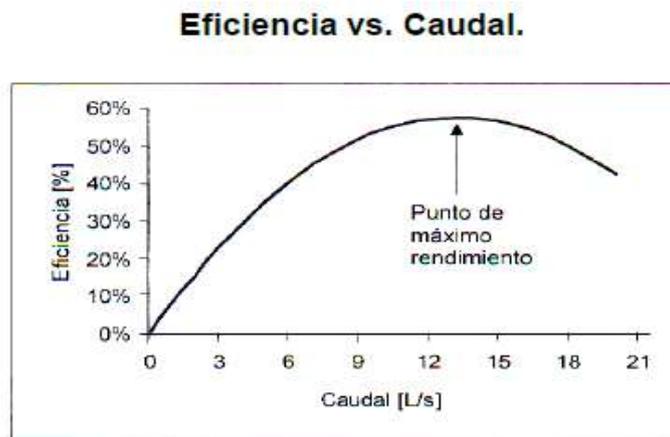


Figura 07. Característica de la eficiencia de una bomba centrífuga (Mott, 1996)

Ecuación 3. Ecuación para hallar la Eficiencia de una bomba (Mott, 1996)

$$P_e = \frac{P_H}{\eta} \quad (03)$$

Dónde:

P_h =Potencia hidráulica entregada por la bomba al fluido (w).

P_e =Potencia eléctrica de accionamiento del motor eléctrico (w).

η = Rendimiento o Eficiencia total de la bomba.

Potencia hidráulica transmitida por la bomba

Representa la cantidad de energía que la bomba transfiere al fluido, se calcula por la ecuación N°04.

Ecuación 4. Potencia hidráulica entregada por una bomba

$$P_h = \gamma \cdot Q \cdot h_A \quad (04)$$

Dónde:

P_h =Potencia hidráulica agregada por bomba al fluido (w).

γ =Peso específico del fluido(N/m³).

Q =Caudal Volumétrico (m³/s).

h_A =Altura total entregada por la bomba (mca).

Potencia eléctrica consumida por el motor a la bomba

Cuando la bomba es accionada por un motor trifásico, la Ecuación 6 expresa la potencia que consume un motor monofásico.

Ecuación 6. Para un motor monofásico. (Taha, 2004)

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (06)$$

Dónde:

P = Potencia eléctrica en watt (w).

V =Voltaje o tensión (Volt).

I =Intensidad de corriente (A).

$\cos\varphi$ =Factor de potencia constante para corriente eléctrica.

Curva característica del sistema de bombeo. (Viejo 2000)

Al igual que existe la curva característica de una bomba, también para el sistema de tuberías se obtiene una gráfica que muestra la altura de bombeo requerida en función del caudal a una velocidad de giro constante. La obtención de la curva característica de un sistema de bombeo se realiza de manera experimental o analítica.

Para obtener la curva, se comienza a operar el sistema en el punto de operación que se conoce.

Ecuación 7. Altura requerida por un sistema de tuberías y accesorios.

$$h_R = Z_B + h_L \quad (07)$$

Dónde:

h_R =Energía del sistema (mca).

Z_B =Altura geodésica de la descarga de la bomba (m).

h_L =Altura de pérdidas de carga de todo el sistema de tuberías (mca).

Altura requerida vs. Caudal.

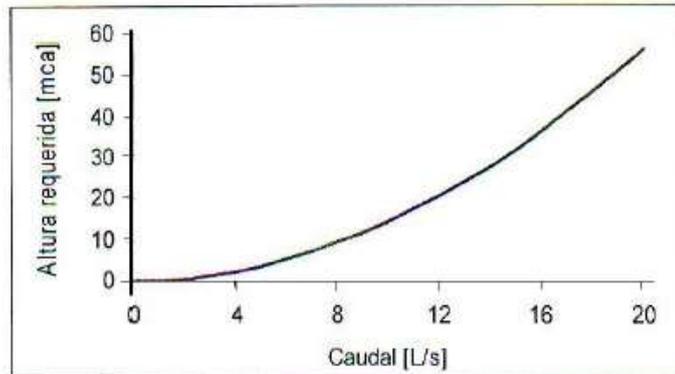


Figura 08. Curva característica de un sistema de bombeo. (Viejo, 2000).

Una curva característica típica de un sistema de tuberías, con elevación geodésica cero, se muestra en la Figura 08. La altura del sistema de tuberías requerida aumenta a medida que el caudal aumenta.

Punto de operación de un sistema de bombeo. (Franzini, 1999)

El punto de operación de un sistema de bombeo, es la intersección de las curvas, la altura total entregada por la bomba (H vs. Q) y la curva característica del sistema (H_{sist} vs. Q).

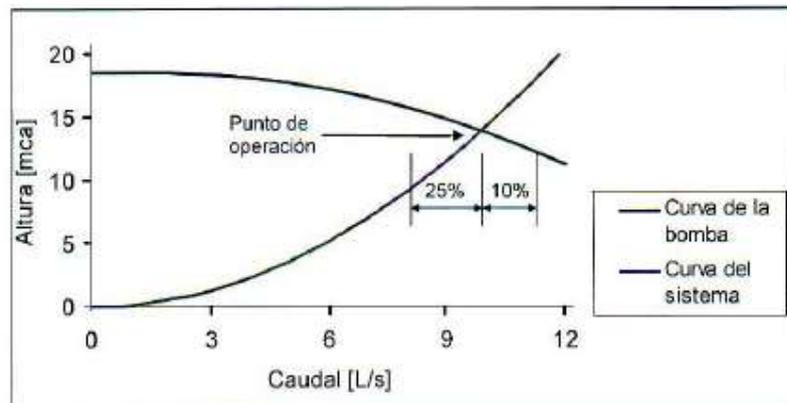


Figura 09. Punto de operación de un sistema de bombeo (Franzini, 1999)

El criterio óptimo del punto de operación sería el punto de máximo rendimiento o lo más cercano posible a este punto. La bomba seleccionada no es la adecuada para las condiciones y características del sistema de bombeo si este punto está alejado del punto de máximo rendimiento. (Franzini, 425, 1999).

1.4 **Formulación del problema**

¿Cuál es la influencia de la rugosidad y el cambio de material del impulsor sobre la altura, potencia y rendimiento de una Bomba Centrífuga PKM60 Pedrollo?

1.5 **Justificación del estudio**

La presente investigación se justificó por su **conveniencia**: servirá para que la industria manufacturera pueda establecer la importancia de la rugosidad en los parámetros de funcionamiento de una bomba. También se justificó por su **relevancia social**: contribuirá a mantener y fortalecer legal, económica y socialmente a una empresa que fabrica estas bombas así como a sus usuarios. Además, se justificó por sus **Implicancias prácticas** pues ha permitido implementar estrategias técnicas para ensayar este tipo de bombas y aplicar la utilización de materiales alternativos. En cuanto a su **valor teórico** existen pocos estudios en la realidad específica que investiga, en particular en el ramo industrial, la problemática y sobre todo “cómo influye la rugosidad”; por este motivo contribuirá a investigar, documentar y como antecedente. Por otro lado, estudios como el presente permite hacer una revisión y actualización del estado de conocimiento técnico sobre el tema y la tecnología para llevarlo a cabo. Finalmente se justificó por su utilidad metodológica, pues permite configurar variables de estudio adaptadas a la realidad investigada, dimensionarlas y adaptar instrumentos de medición y análisis y de esta manera tener una idea objetiva, científica y técnica sobre la realidad que se investiga.

1.6. **Hipótesis**

H0: La rugosidad de la superficie de las paredes sólidas del impulsor de la bomba centrífuga PKm60 Pedrollo NO influye en la altura, potencia y rendimiento de la bomba.

Hi: La rugosidad de la superficie de las paredes sólidas del impulsor de la bomba centrífuga PKm60 Pedrollo SI influye en la altura, potencia y rendimiento de la bomba.

1.7 Objetivos

1.7.1 General

Determinar la influencia de la rugosidad y del material del impulsor sobre las características de operación: altura, potencia y rendimiento de la electrobomba PKm60 – Pedrollo.

1.7.2 Específicos

- Recopilar información de las características de funcionamiento y dimensiones del impulsor de la bomba centrífuga PKm60 – Pedrollo.
- Modelar en software CAD el impulsor de la bomba centrífuga PKm60 – Pedrollo.
- Recopilar información de la rugosidad permisible en la fabricación del impulsor de la bomba centrífuga PKm60 – Pedrollo usando materiales alternativos.
- Analizar y simular usando software CAD CAE fluidodinámicos para obtener las variaciones de presión y torque consumidos en el impulsor de la bomba centrífuga PKm60 – Pedrollo.
- Determinar el efecto de la rugosidad y del material del impulsor sobre las características de altura de la bomba centrífuga PKm60 – Pedrollo.
- Determinar el efecto de la rugosidad y del material del impulsor sobre las características de rendimiento de la bomba centrífuga PKm60 – Pedrollo.
- Determinar el efecto de la rugosidad y del material del impulsor sobre las características de potencia de la bomba centrífuga PKm60 – Pedrollo
- Obtener gráficas del comportamiento de las curvas características de la bomba la centrífuga PKm60 – Pedrollo en función de la rugosidad relativa para cada material alternativo usado.

II. MÉTODO

2.1 Diseño de Investigación:

Se considera a esta investigación como experimental puro, debido a que se utilizan dos grupos para la aplicación del test. (Hernández et al 2010)

$$\mathbf{M1: O_1 \rightarrow X1 \rightarrow O_2}$$

$$\mathbf{M2: O_1 \rightarrow X2 \rightarrow O_2}$$

Dónde:

M: Muestra

O1: Rugosidad

X: Impulsores

O2: Altura, potencia y rendimiento de la bomba

2.2 Variables

2.2.1 Variable dependiente

Parámetros característicos de la bomba. (Cuantitativa)

- Indicadores: rendimiento, potencia y altura de la bomba

2.2.2 Variable independiente

Material del impulsor

Rugosidad.

- Indicador: acabado superficial normalizado. (cuantitativa)

2.2.3. Operacionalización de variables

Tabla 2.1. Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Escala de medición
Material y rugosidad del impulsor	Es la medida del acabado superficial	Se medirá en relación a los valores del acabado superficial normalizado	Valor de rugosidad promedio tabulados	Nominal.
Parámetros característicos de la bomba	Es el número adimensional que indica la relación entre la energía de entrada y de salida	Se medirá cuantificando la energía mecánica y la energía hidráulica	rendimiento	Nominal.
	Es la cantidad que indica la energía consumida en la unidad de tiempo.	Se medirá cuantificando el torque y la velocidad de rotación de la bomba	Potencia	Nominal.
	Es la fuerza de reacción que se produce entre el fluido y la superficie sólida.	Se medirá mediante el cálculo de la variación de presión en el impulsor	Altura	Nominal.

Fuente: Elaboración propia

2.3 Población, muestra y muestreo

Población:

- Bombas centrífugas.

Muestra

- Bomba centrífuga PKm60 Pedrollo
- A: 01 Electrobomba centrífuga marca Pedrollo, pertenece a la serie PKm modelo 60, que está constituida por un motor de monofásico de 0.5 Hp y una bomba centrífuga acoplada a la carcasa del motor con características de 1”x1” de diámetros de ingreso y salida (ingreso central).

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.

Tabla 1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Fuente: Elaboración propia

Etapas	Técnica	Instrumento	Fuente	Validez de Resultados
Determinación de las rugosidades promedio	Observación Análisis Medición	Registros de rugosidades medidas con rugosímetros	Impulsores	Determinación del valor promedio de rugosidad
Determinación de la Altura de bomba	Observación Análisis Síntesis	Ficha de registro de datos	Equipo de ensayo de bombas centrífugas	Determinación de la altura de bomba a partir de la diferencia de presiones de entrada y salida de la bomba.
Determinación de potencia hidráulica de bomba	Observación Análisis Síntesis	Ficha de registro de datos	Equipo de ensayo de bombas centrífugas	Determinación de la potencia de bomba a partir del caudal y la diferencia de presiones de entrada y salida de la bomba.
Determinación del	Observación Análisis	Ficha de registro de datos	Equipo de ensayo de	Determinación del rendimiento de bomba

Etapas	Técnica	Instrumento	Fuente	Validez de Resultados
rendimiento de la bomba	Síntesis		bombas centrífugas	a partir de la potencia hidráulica y la potencia eléctrica consumida

2.5 Métodos de análisis de datos

En este trabajo se recurrió a la toma de datos y cálculo de promedios, luego graficados considerando las líneas de tendencia de los datos recopilados.

Esta ficha se utilizó para cada impulsor de material de aleación de bronce (bomba original) con 46 μm de rugosidad promedio y para el impulsor fabricado de fibra o polimérico con rugosidades promedio de 7 μm , 46 μm y 200 μm .

Todos los ensayos fueron realizados para una velocidad de 3450 rpm en un impulsor de 135 mm de diámetro nominal.

Ficha de registro de datos de los ensayos:

Válvula (grados)	(P2-P1) Presión (Bar)	CAUDA L (m3/s)	Altura (mca)	Potencia hidráulica (Kw)	Amperios	Potencia eléctrica (Kw)	Eficiencia	Potencia HP
3								
5								
10								
15								

2.6 Aspectos éticos

Los datos obtenidos son aplicables a la bomba estudiada de propiedad de los investigadores y ensayada en laboratorio no incurriendo en responsabilidades sobre la empresa o fabricante.

III. RESULTADOS

3.1 Recopilación de los parámetros de operación de la bomba.

Diámetro del impulsor = 135 mm

a) Impulsor original fabricado de aleación de bronce

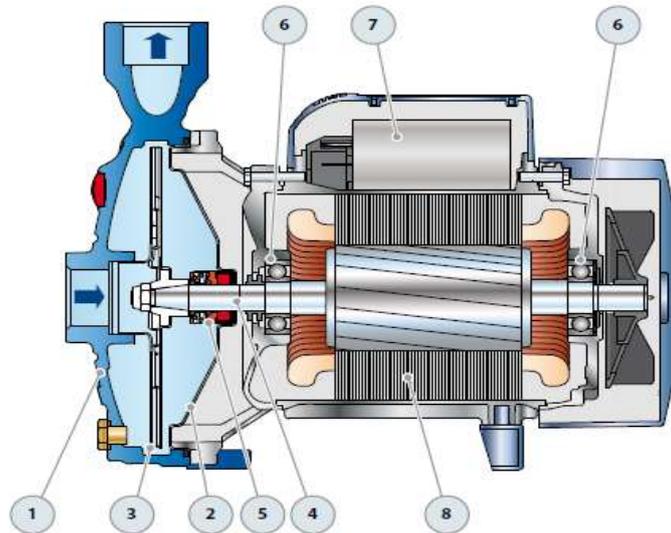


Figura N°3.1: Vista seccionada de bomba con impulsor original.

Fuente: Pedrollo, Catálogo General 2020

- 1 cuerpo de la bomba
- 2 Tapa
- 3 Rodete o impulsor
- 4 Eje motor
- 5 Sello mecánico
- 6 Rodamientos
- 7 Condensador
- 8 Motor eléctrico

b) Impulsor fabricado de aleación de fibra sintética o polimérica.



Figura N°3.2: Izq. Impulsor fabricado de fibra polimérica (vista frontal) Der. Vista lateral. Fuente. Elaboración propia.

3.2 Modelamiento CAD del impulsor para análisis y simulación.

Se procedió a dimensionar el impulsor y sus principales componentes como la carcasa y conducto de entrada. Luego se procedió a dibujar y modelar en software CAD solidworks 2020 versión educacional, considerando los materiales propuestos.

Impulsor de la bomba centrífuga:



Figura N°3.3: Izq. Impulsor centrífugo con álabes. Der. Vista detallada de álabes.

Fuente. Elaboración propia.

3.3 Rugosidades del impulsor

Se realizaron mediciones de las rugosidades de los impulsores ensayados llegando a determinar valores cercanos a los indicados en la bibliografía, los cuales se detallan a continuación:

Impulsor	Material	Rugosidad promedio en μm
IO1	Aleación de bronce	46
IF1	Polímero o fibra sintética	7
IF3	Polímero o fibra sintética	46
IF3	Polímero o fibra sintética	200

Tabla3.1: Rugosidades de materiales de impulsores Fuente: Elaboración propia.

3.4 Análisis y simulación CAD CAE del flujo a través del impulsor:

3.4.1. Impulsor IF1 de 7 μm de rugosidad.

Tabla N°3.1: Valores de parámetros del flujo obtenidos de la simulación computacional.

Fuente: Solidworks flow simulation

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Mínimum Value	Máximum Value
SG Mass Flow Rate entrada	(Kg/s)	299.2685218	299.2685218	299.2685218	299.2685218
SG Mass Flow Rate salida	(Kg/s)	-299.2685342	-299.268524	-2992.685552	-2992.684899
SG Volume Flow Rate 1	(m ³ /s)	0.3	0.3	0.3	0.3
SG Bulk Av Static Pressure de salida	(Pa)	3173836.311	3173834.824	3173834.042	3173836.311
SG Av Static Pressure de entrada	(Pa)	2398575.96	2408433.616	2395812.466	2421475.474
Aumento de Presión	(Pa)	775260.3517	765401.2082	75238.634	778023.234
Torque sobre el Impulsor	(N*m)	1186.406754	1168.443278	1135.543183	1198.184716
Rendimiento	()	0.936625527	0.939084314	0.922841053	0.950271196
GG Torque (Z) 1	(N*m)	-12228.55345	-1208.227815	-1239.256449	-1173.372555
SG Torque (Z) en piezas no movibles	(N*m)	42.1466941	39.7845371	37.26423444	42.19998925

Distribución de presiones y líneas de corriente

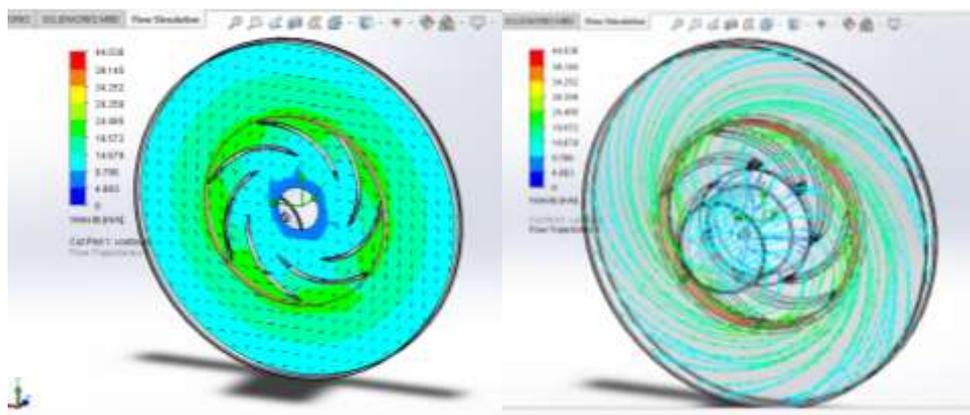


Figura N°3.4: Izq. Simulación velocidad del flujo sobre Impulsor centrífugo con álabes. Der. Líneas de corriente del flujo sobre impulsor.

Fuente: Solidworks flow simulation

3.4.2. Impulsor IF2 de 46 µm de rugosidad

Tabla N°3.2: Valores de parámetros del flujo obtenidos de la simulación computacional.

Fuente: Solidworks flow simulation

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value
GG Torque (Z) 1	(N*m)	-12228.309756	-1208.233962	-1239.299058	-1173.821828
SG Torque (Z) en piezas no movibles	(N*m)	42.27302073	39.79243389	37.3163949	42.27302073
SG Mass Flow Rate entrada	(Kg/s)	299.2685218	299.2685218	299.2685218	299.2685218
SG Mass Flow Rate salida	(Kg/s)	-299.2685303	-299.2685242	-299.2685587	-299.2684922
SG Volume Flow Rate 1	(m ³ /s)	0.3	0.3	0.3	0.3
SG Bulk Av Static Pressure de salida	(Pa)	3173836.377	3173834.842	3173834.042	3173836.377
SG Av Static Pressure de entrada	(Pa)	2398329.292	2408416.158	2395964.214	2421427.605
Torque sobre el Impulsor	(N*m)	-1270.582777	-1248.026396	-1280.572319	-1211.841646
Aumento de Presión	(Pa)	7755507.084	765418.6835	752406.5138	777871.4807
Rendimiento	()	-0.874852489	-0.879241928	-0.890285657	-0.865499472

Distribución de velocidades y de presiones

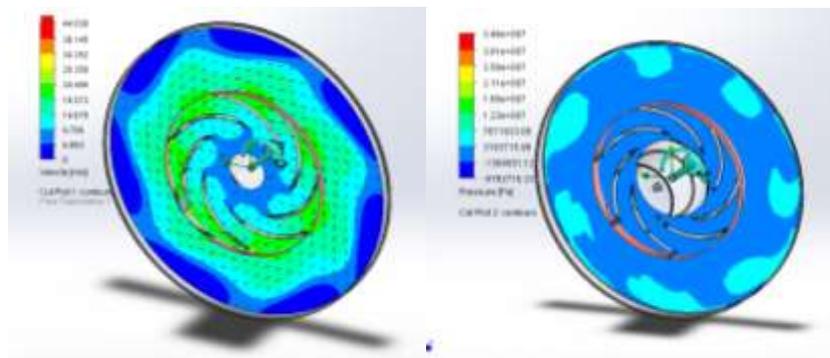


Figura N°3.5: Izq. Simulación de velocidad del flujo sobre Impulsor centrífugo con álabes. Der. Simulación de presión del flujo sobre Impulsor.

Fuente: Solidworks flow simulation

3.4.3. Impulsor IF3 de 200 µm de rugosidad

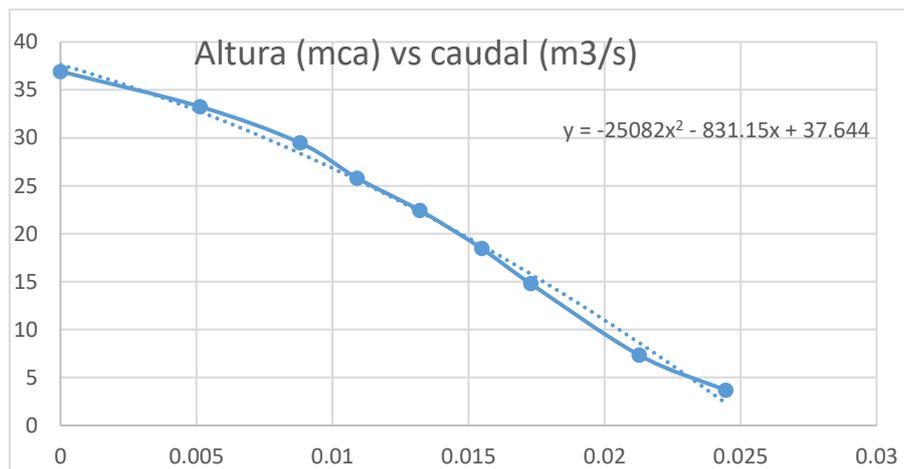
Tabla N°3.3: Valores de parámetros del flujo obtenidos de la simulación computacional.

Fuente: Solidworks flow simulation

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value
GG Torque (Z) 1	(N*m)	-1181.456553	-1166.600206	-1193.287241	-1137.134395
SG Torque (Z) en piezas no movibles	(N*m)	92.72864361	88.65659343	85.49054092	92.72864361
SG Mass Flow Rate entrada	(Kg/s)	299.2685218	299.2685218	299.2685218	299.2685218
SG Mass Flow Rate salida	(Kg/s)	-299.2685013	-299.2685198	-299.2685731	-299.268475
SG Volume Flow Rate 1	(m ³ /s)	0.3	0.3	0.3	0.3
SG Bulk Av Static Pressure de salida	(Pa)	3173834.738	3173833.668	3173833.204	3173834.738
SG Av Static Pressure de entrada	(Pa)	2436863.784	2445612.532	2435316.937	2456733.008
Torque sobre el Impulsor	(N*m)	-1274.185197	-1255.2568	-1283.887144	-1223.396545
Aumento de Presión	(Pa)	736970.9535	728221.1355	717100.2046	738517.208
Rendimiento	()	-0.829029228	-0.831646855	-0.840378794	-0.823997105

3.5. Datos recopilados de los ensayos experimentales en el banco de ensayos de Altura, potencia y eficiencia o rendimiento de la bomba.

3.5.1. Impulsor IB1 de aleación de bronce con 46 µm de rugosidad.



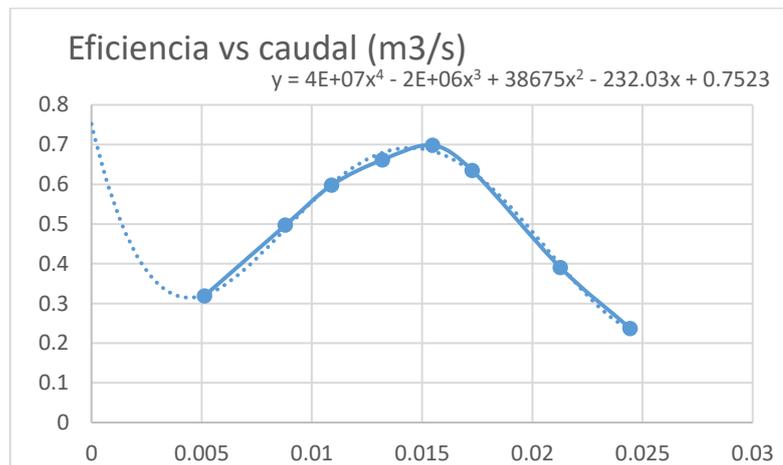
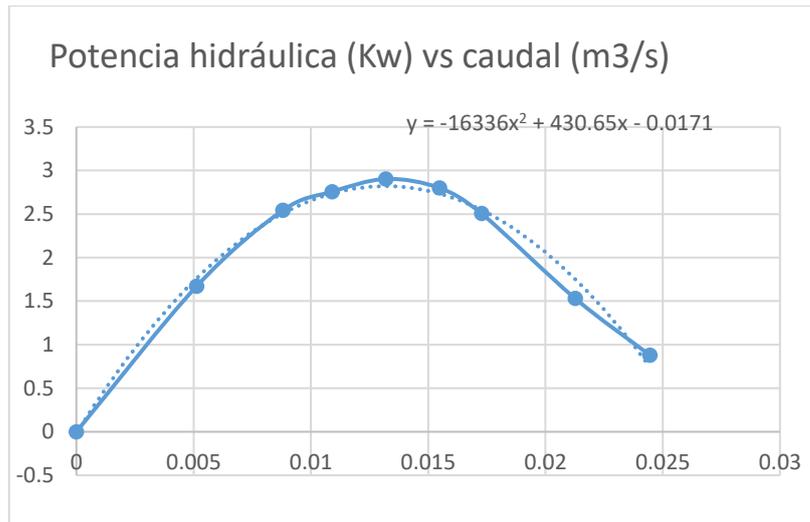


Figura N°3.6: a) Curva de Altura en m vs Caudal en m³/s b) Curva de Potencia en KW vs Caudal en m³/s c) Curva de Rendimiento vs Caudal en m³/s. Fuente: Elaboración propia.

3.5.2. Impulsor IF1 de fibra polimérica con 7 µm de rugosidad.

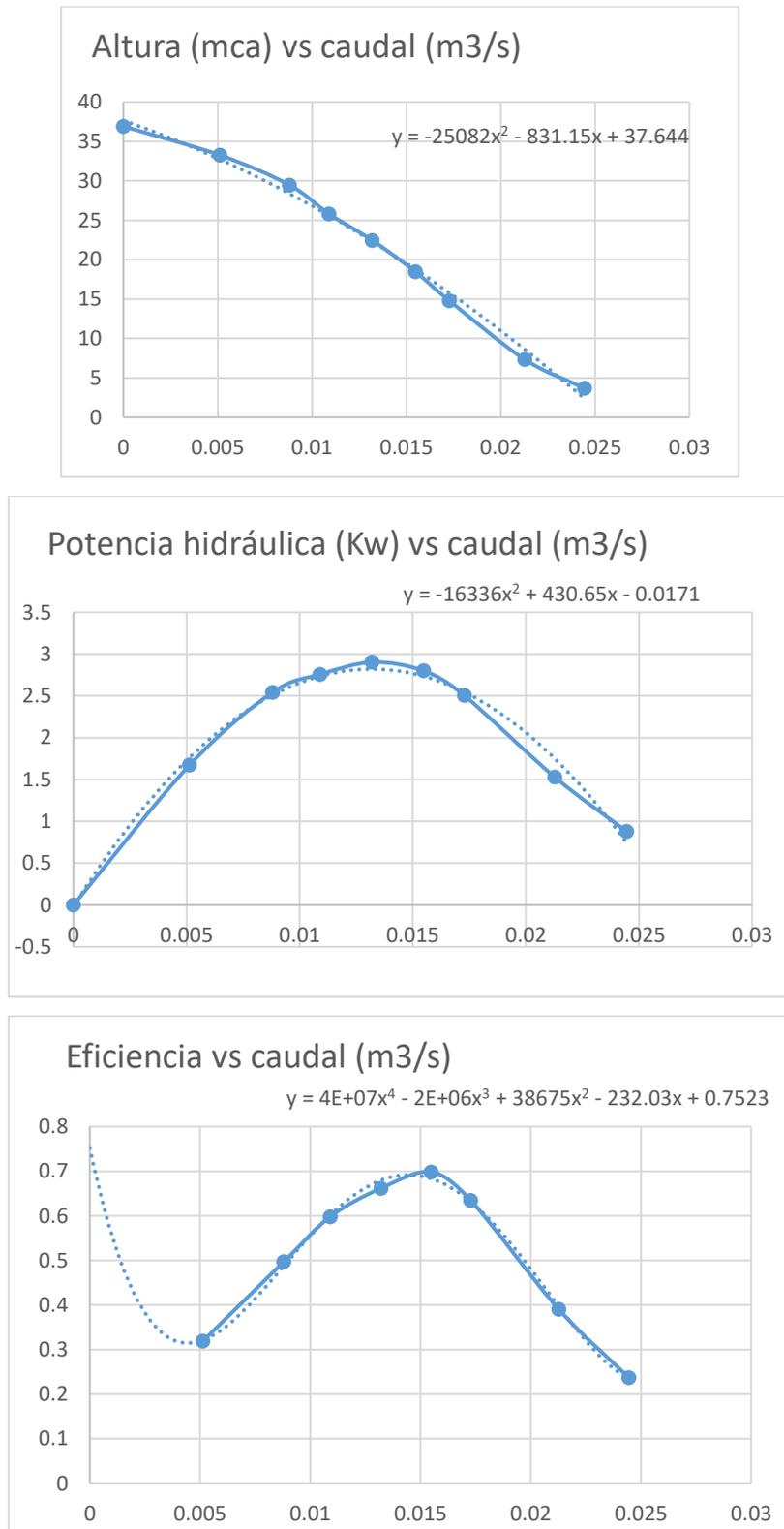


Figura N°3.7: a) Curva de Altura en m vs Caudal en m³/s b) Curva de Potencia en KW vs Caudal en m³/s c) Curva de Rendimiento vs Caudal en m³/s. Fuente:

Elaboración propia.

3.5.3. Impulsor IF2 de fibra polimérica con 46 µm de rugosidad.

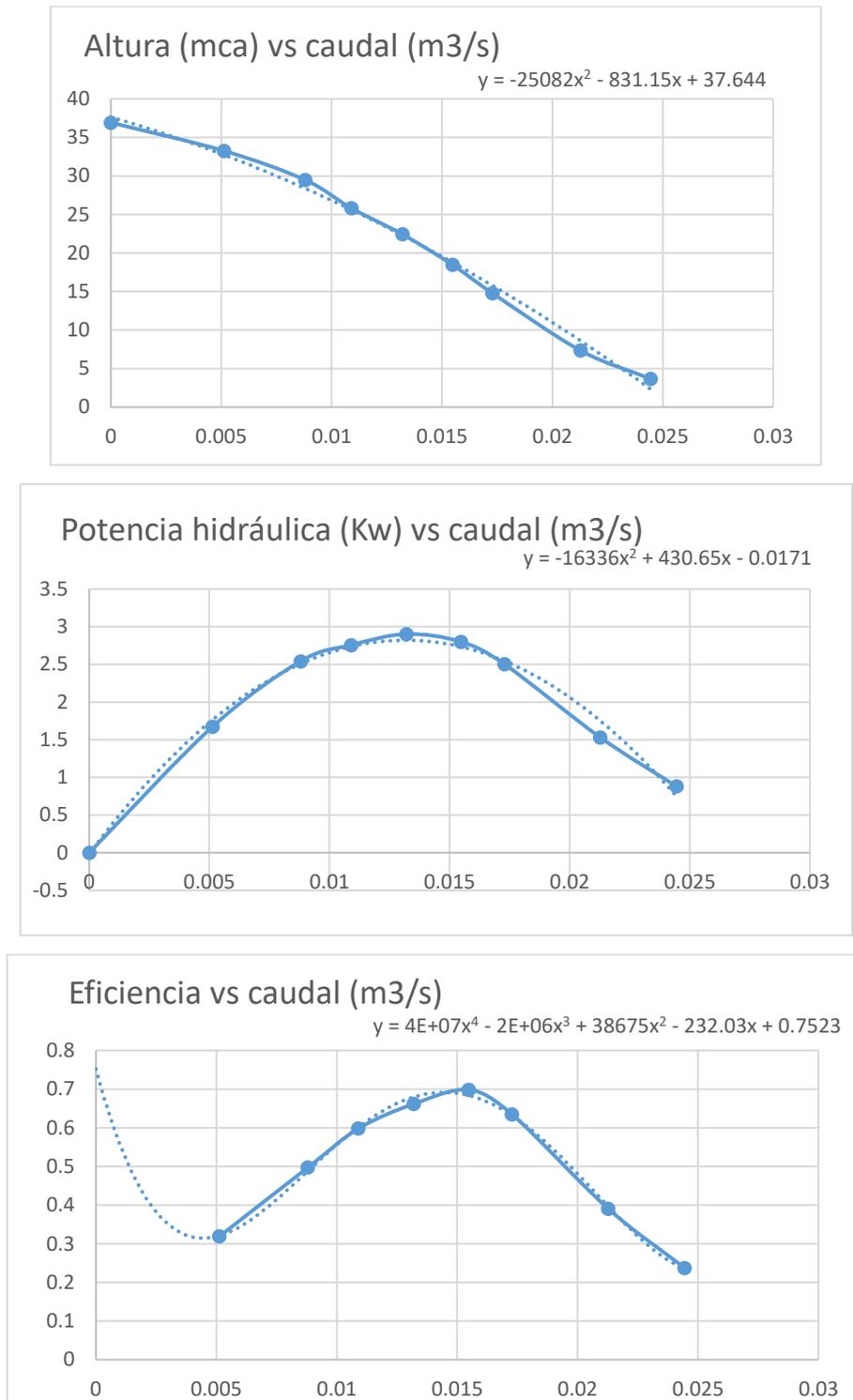


Figura N°3.8: a) Curva de Altura en m vs Caudal en m³/s b) Curva de Potencia en KW vs Caudal en m³/s c) Curva de Rendimiento vs Caudal en m³/s. Fuente: Elaboración propia.

3.5.4. Impulsor IF3 de fibra polimérica con 200 µm de rugosidad.

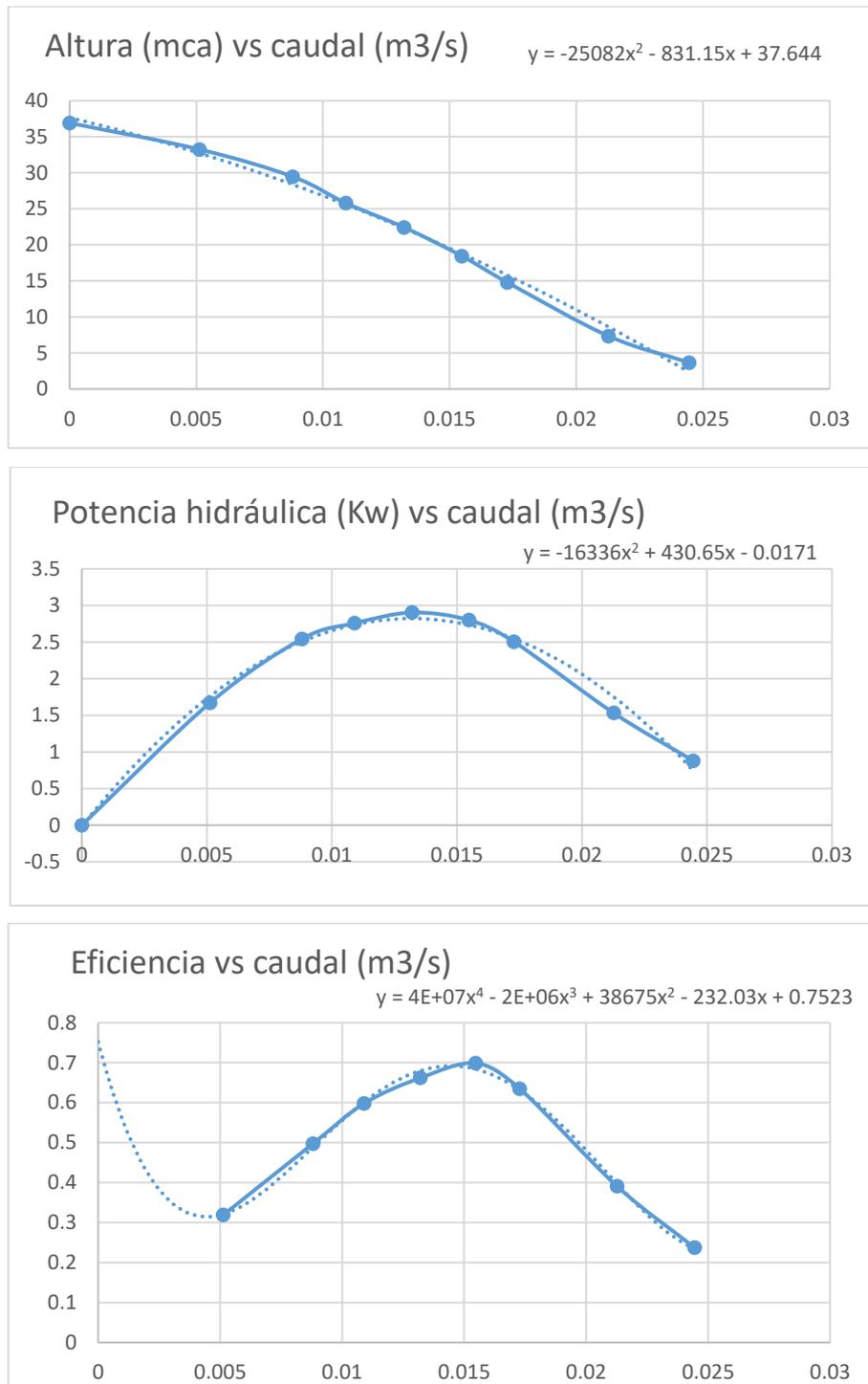


Figura N°3.9: a) Curva de Altura en m vs Caudal en m³/s b) Curva de Potencia en KW vs Caudal en m³/s c) Curva de Rendimiento vs Caudal en m³/s. Fuente: Elaboración propia.

3.5.5. Gráficos comparativos de los parámetros de operación de la bomba en función de la rugosidad.

3.5.5.1. Comportamiento de la altura de la bomba

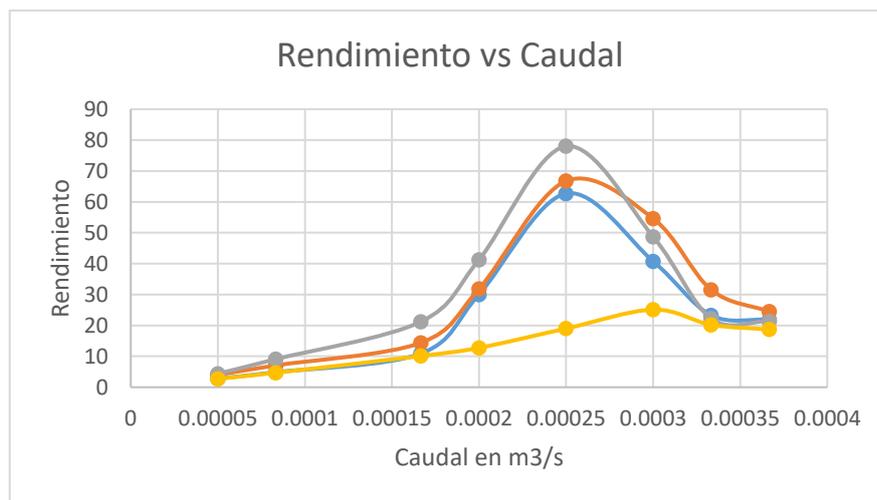
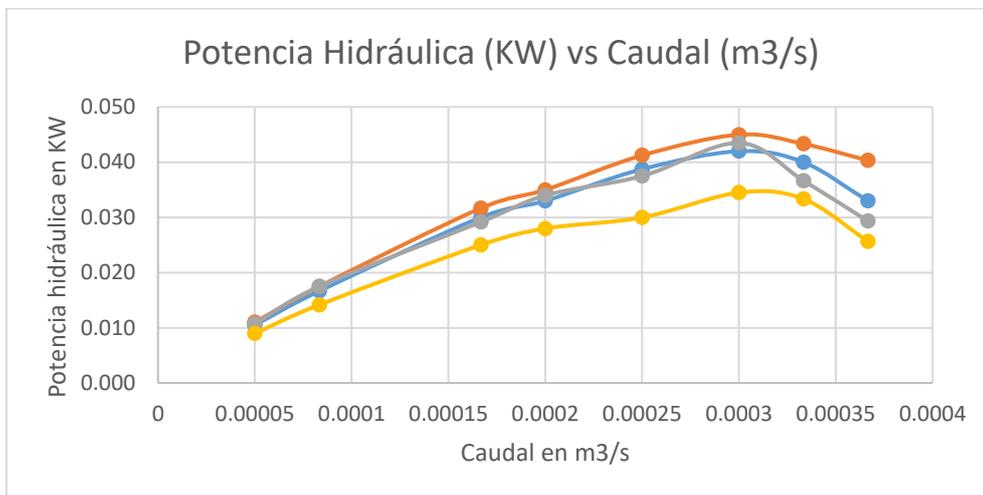
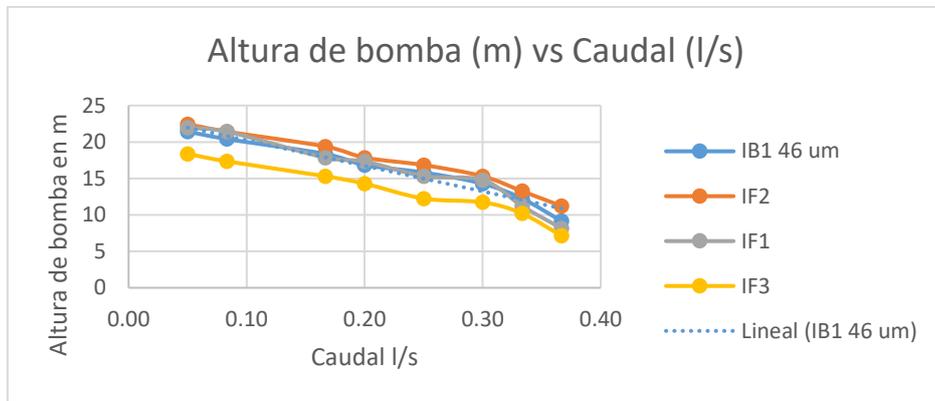


Figura N°3.10 a) Curvas de Altura en m vs Caudal en m³/s b) Curvas de Potencia en KW vs Caudal en m³/s c) Curvas de Rendimiento vs Caudal en m³/s. Fuente:

Elaboración propia.

IV. DISCUSIÓN

Estos resultados están acordes con la bibliografía, en la cual se señala que las pérdidas hidráulicas aumentan con la rugosidad del material de los conductos a través de los cuales se transporta un fluido, sin embargo, se define para conductos de significativa longitud.

De acuerdo a la ficha técnica de la bomba centrífuga PKm 60 de la marca Pedrollo, se puede verificar los valores de la altura de bomba en función el caudal proporcionados por el fabricante, lo cuales son similares a los obtenidos en el banco de ensayos durante la operación de la bomba centrífuga con el impulsor de aleación de bronce original, el cual se consideró con una rugosidad de 46 μm .

Para los impulsores fabricados de fibra se consideró rugosidades de 7, 46 y 200 μm , las cuales se lograron alcanzar con un acabado rugoso con lijas normalizadas y luego medibles con rugosímetros calibrados.

El modelamiento del impulsor se realizó en el software solidworks 2020, versión educacional, siendo el mismo impulsor para todas las simulaciones computacionales, cambiando el valor de la restricción de pared real incluyendo las rugosidades de 7, 46 y 200 μm . Los alabes se modelaron considerando la geometría y dimensiones externas e internas de los alabes en base a plantillas elaboradas por los autores, lo cual nos dio un resultado geométrico aproximado.

De los resultados del análisis y simulación CAD CAE, se obtuvieron resultados coherentes con la experimentación realizada, en los cuales los rendimientos se observan que disminuyen con el aumento de la rugosidad, lo cual se sustenta en el aumento de las pérdidas hidráulicas por efecto de la rugosidad incrementada pues el espesor de capa limite aumenta y los esfuerzos viscosos o cortantes también aumentan.

De los resultados experimentales se observa que para el impulsor original, los valores de la altura, potencia y rendimiento se asemejan a los proporcionados por el fabricante, en su ficha técnica, a pesar de que solamente se muestra la potencia nominal de 0.37 KW para una corriente de 2.7 A y 220 V, debido a esto los valores del factor de potencia y del rendimiento eléctrico del motor fueron asumidos como 0.80 y 0.78 respectivamente.

Para los impulsores de fibra se observa que la altura disminuye con el aumento de la rugosidad, lo cual se sustenta en las mayores pérdidas hidráulicas, sin embargo, con la corriente eléctrica se observa un aumento coherente con el aumento de la rugosidad, con lo cual la potencia eléctrica también aumenta. En cuanto a los rendimientos se observa que el impulsor con menor rugosidad es decir para el de 7 μm , la eficiencia del abomba es mayor

disminuyendo este rendimiento con el aumento de la rugosidad para condiciones nominales de operación de la bomba.

V. CONCLUSIONES

- Se determinó por comparación de acabado superficial que la rugosidad del impulsor de aleación de bronce original o nuevo es de 46 μm .
- Se lograron obtener las rugosidades de 7, 46 y 200 μm mediante acabados superficiales manuales de los impulsores.
- Del análisis CAD CAE usando software solidwork flow simulation se obtuvieron comportamientos de la altura de bomba y eficiencia coherentes con los resultados experimentales, verificando que los rendimientos y alturas disminuyen con el aumento de la rugosidad.
- Las curvas de la altura de bomba muestran el mismo comportamiento que las del fabricante y bibliografía de bombas, lo cual valida los resultados obtenidos, siendo su altura máxima de 21.42 m, 22.44m, 21.93m y 18.36m para un caudal mínimo de 10 l/min en la bomba original de aleación de bronce, de fibra de 7, 46 y 200 μm respectivamente.
- Las curvas de potencia hidráulica de bomba muestran el mismo comportamiento que las del fabricante y bibliografía de bombas, lo cual valida los resultados obtenidos, siendo su potencia máxima de 42 W, 45W, 43W y 34W en la bomba original de aleación de bronce, de fibra de 7, 46 y 200 μm respectivamente.
- Las curvas de eficiencia o rendimiento de bomba muestran el mismo comportamiento que las del fabricante y bibliografía de bombas, lo cual valida los resultados obtenidos, siendo su rendimiento máximo de 62.7%, 66.7%, 78% y 25.1% en la bomba original de aleación de bronce, de fibra de 7, 46 y 200 μm respectivamente.
- Se logró demostrar que la rugosidad si influye directamente en la altura, potencia y rendimiento de la bomba así como una mejor performance con el material de fibra del impulsor de la bomba centrifuga modelo PKm 60 de la marca Pedrollo.

VI. RECOMENDACIONES

- Diseñar y construir nuevos impulsores de otras fibras orgánicas y evaluar la relación del peso sobre los parámetros de operación de la bomba.
- Evaluar este trabajo en otros tipos de impulsores.
- Evaluar la influencia de la rugosidad y material sobre la resistencia a la cavitación en las bombas centrifugas.

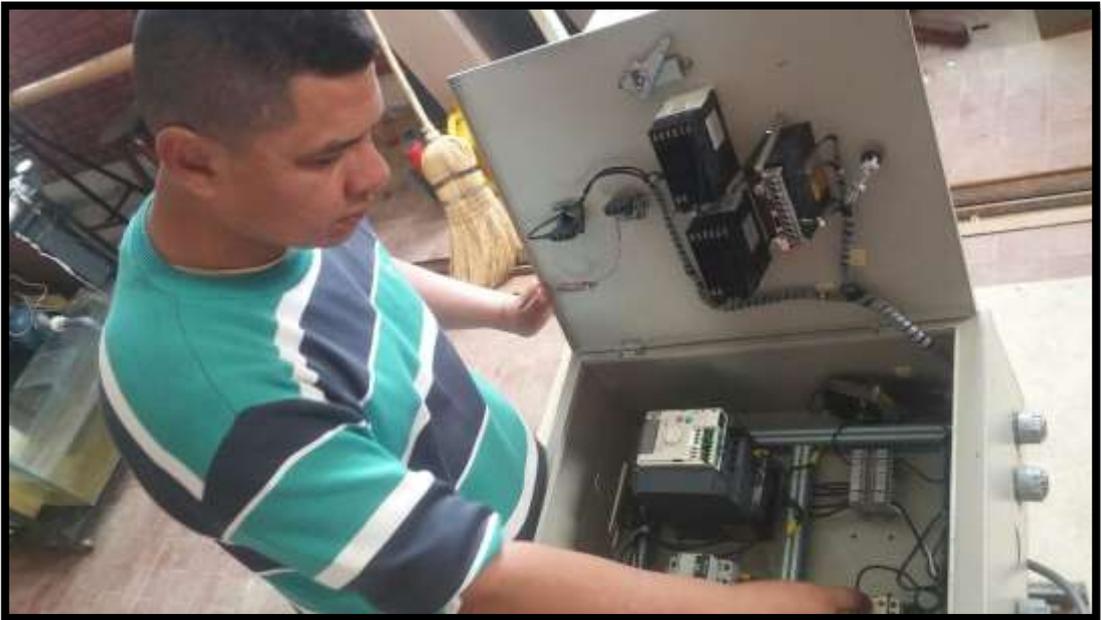
REFERENCIAS

- TAHA, Hamdy A. 2004. *Investigacion de Operaciones*. 7a Edicion. Mexico : Pearson Educacion, 2004. pág. 848. ISBN/ISSN.
- Franzini. 1999. *Mecanica de fluidos con aplicaciones en ingenieria*. Madrid : MCGraw-Hill, 1999. 9788448124748.
- Mataix. 1996. *Maquina de fluidos-y maquinas hidraulicas*. Madrid : Del Castillo S.A, 1996. 8421901753.
- Mott, Robert L. 1996. *Mecanica de fluidos aplicada*. Mexico : Pearson, 1996. 0023842318.
- Champet Edgar. Octubre 2009. OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA POTABLE DEL HOSPITAL GENERAL SAN JUAN DE DIOS, Trabajo de Graduación. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Cruzado José. “INFLUENCIA DEL NUMERO DE ASPAS RADIALES DEL IMPULSOR EN LA ALTURA, POTENCIA Y RENDIMIENTO DE LA ELECTROBOMBA PERIFERICA MODELO PKm60 DE LA MARCA PEDROLLO”. Tesis de título de Ingeniero Mecánico. Trujillo, Perú. 2009
- Manuel Viejo. 2000. *Bombas: Teoría, diseño y aplicaciones*. Segunda edición. Editorial LIMUSA S.A. Grupo Noriega Editores. 9684805097.
- Pedrollo, 2017. Catálogo general de bombas periféricas.
- Hernández R, Fernández C y Baptista P. *Metodología de la Investigación*. México: Mc Graw-Hill Interamericana. 2010.
- URL 01: <http://www.fvsbelzona.com/index.php/productos/soluciones-polimericas>. Consulta en línea: 17 de noviembre del 2017.
- URL 02: <http://www.macaplast.com/plasticos-ingenieria-medellin-nylon/>. Consulta en línea: 12 de setiembre del 2015.

ANEXOS

Anexo 1. Fotografías realizando la construcción del banco de ensayos y realización de las mediciones

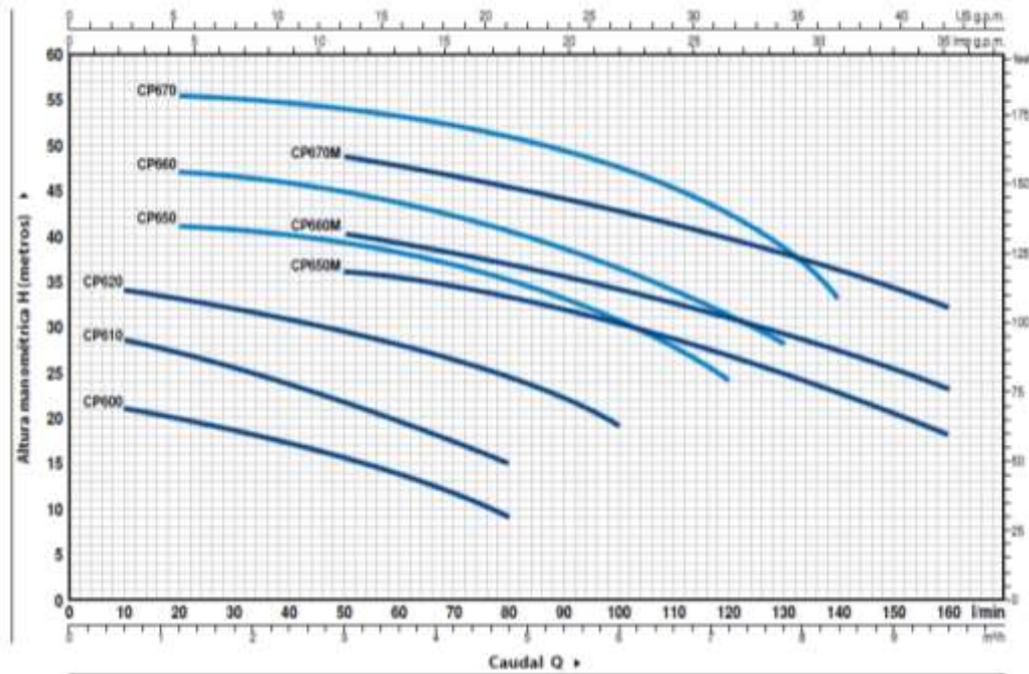




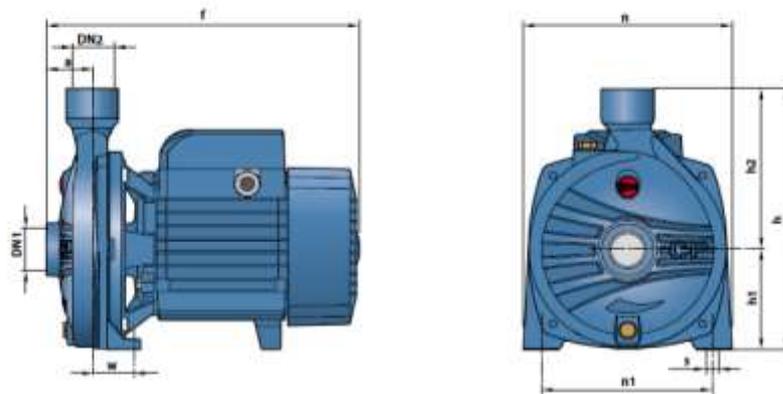
Curvas características de la bomba:

CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 rpm HS= 0 m



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												8.7	8.2

CATÁLOGO DEL FABRICANTE DE LA BOMBA CENTRÍFUGA CP600 PEDROLLO

CP

Electrobombas centrifugas

-  Agua limpia
-  Utilizo doméstico
-  Utilizo civil



CAMPO DE PRESTACIONES

- Caudal hasta 160 l/min (0,6 m³/h)
- Altura manométrica hasta 57 m

LIMITES DE UTILIZO

- Altura de aspiración manométrica hasta 7 m
- Temperatura del líquido de -10 °C hasta +90 °C
- Temperatura ambiente hasta +40 °C
- Presión máxima en el cuerpo de la bomba:
 - 6 bar para CP 600-610-620
 - 10 bar para CP 650-660-670
- Funcionamiento continuo S1

EJECUCION Y NORMAS DE SEGURIDAD

EN 60335-1
IEC 60335-1
CEI 61-150

EN 60034-1
IEC 60034-1
CEI 2-3



CERTIFICACIONES

Empresa con sistema de gestión certificado DNV
ISO 9001: CALIDAD
ISO 14001: AMBIENTE

UTILIZOS E INSTALACIONES

Son recomendadas para bombear agua limpia, sin partículas abrasivas y líquidos químicamente no agresivos con los materiales que constituyen la bomba. Por su confiabilidad y simplicidad encuentran un amplio utilizzo en el sector doméstico y civil, particularmente para la distribución del agua acopladas a pequeños o medianos tanques autoclaves, para el vaciado o para la irrigación de huertos o jardines. La instalación se debe realizar en lugares cerrados o protegidos de la intemperie.

PATENTES - MARCAS - MODELOS

- Modelo comunitario registrado n° 002698434

EJECUCION BAJO PEDIDO

- Electrobomba con rodete en tecnopolímero (CP500X, CP610X, CP620X)
- Sello mecánico especial
- Otros voltajes
- Protección IP X5 para CP 170, CP 170M

GARANTIA

2 años según nuestras condiciones generales de venta

Anexo 2. Impulsor IB1 de aleación de bronce con 46 µm de rugosidad.

DATOS DE ENSAYOS PARA IMPULSOR DE BRONCE CON 46 µm									
Válvula (grados)	caudal (l/s)	(P2- P1)Presión (Bar)	CAUDAL (m3/s)	Altura (mca)	Potencia hidraulica (Kw)	Amperios	Potencia eléctrica (Kw)	Eficiencia	Potencia HP
3	0.05	2.1	0.00005	21.42	0.010	2.70	0.37	2.832	0.497064464
5	0.08	2	8.33333E-05	20.4	0.017	2.50	0.34	4.854	0.460244874
10	0.17	1.8	0.000166667	18.36	0.030	2.00	0.27	10.922	0.368195899
12	0.20	1.65	0.0002	16.83	0.033	0.80	0.11	30.036	0.14727836
15	0.25	1.55	0.00025	15.81	0.039	0.45	0.06	62.702	0.082844077
18	0.30	1.4	0.0003	14.28	0.042	0.75	0.10	40.776	0.138073462
20	0.33	1.2	0.000333333	12.24	0.040	1.25	0.17	23.301	0.230122437
22	0.37	0.9	0.000366667	9.18	0.033	1.10	0.15	21.844	0.202507745

Anexo 3. Impulsor IF1 de fibra polimérica con 7 µm de rugosidad.

DATOS DE ENSAYOS PARA IMPULSOR DE FIBRA CON 7 um									
Válvula (grados)	caudal (l/s)	(P2- P1)Presión (Bar)	CAUDAL (m3/s)	Altura (mca)	Potencia hidraulica (Kw)	Amperios	Potencia eléctrica (Kw)	Eficiencia	Potencia HP
3	0.05	2.2	0.00005	22.44	0.011	2.00	0.27	4.005	0.37
5	0.08	2.1	8.33333E-05	21.42	0.017	1.80	0.25	7.079	0.33
10	0.17	1.9	0.000166667	19.38	0.032	1.60	0.22	14.411	0.29
12	0.20	1.75	0.0002	17.85	0.035	0.80	0.11	31.856	0.15
15	0.25	1.65	0.00025	16.83	0.041	0.45	0.06	66.747	0.08
18	0.30	1.5	0.0003	15.3	0.045	0.60	0.08	54.611	0.11
20	0.33	1.3	0.000333333	13.26	0.043	1.00	0.14	31.553	0.18
22	0.37	1.1	0.000366667	11.22	0.040	1.20	0.16	24.474	0.22

Anexo 4. Impulsor IF2 de fibra polimérica con 46 µm de rugosidad.

DATOS DE ENSAYOS PARA IMPULSOR DE FIBRA CON 46 µm									
Válvula (grados)	caudal (l/s)	(P2- P1)Presión (Bar)	CAUDAL (m3/s)	Altura (mca)	Potencia hidraulica (Kw)	Amper ios	Potencia eléctrica (Kw)	Eficien cia	Potenci a HP
3	0.05	2.15	0.0000500	21.93	0.011	1.80	0.25	4.349	0.331
5	0.08	2.1	0.0000833	21.42	0.017	1.40	0.19	9.102	0.258
10	0.17	1.75	0.0001667	17.85	0.029	1.00	0.14	21.238	0.184
12	0.20	1.7	0.0002000	17.34	0.034	0.60	0.08	41.262	0.110
15	0.25	1.5	0.0002500	15.3	0.037	0.35	0.05	78.016	0.064
18	0.30	1.45	0.0003000	14.79	0.043	0.65	0.09	48.730	0.120
20	0.33	1.1	0.0003333	11.22	0.037	1.20	0.16	22.249	0.221
22	0.37	0.8	0.0003667	8.16	0.029	1.00	0.14	21.359	0.184

Anexo 5. Impulsor IF3 de fibra polimérica con 200 µm de rugosidad.

DATOS DE ENSAYOS PARA IMPULSOR DE FIBRA CON 200 um									
Válvula (grados)	caudal (l/s)	(P2- P1)Presión (Bar)	CAUDAL (m3/s)	Altura (mca)	Potencia hidraulica (Kw)	Amperios	Potencia eléctrica (Kw)	Eficiencia	Potencia HP
3	0.05	1.8	0.00005	18.36	0.009	2.40	0.33	2.731	0.441835079
5	0.08	1.7	8.33333E-05	17.34	0.014	2.20	0.30	4.689	0.405015489
10	0.17	1.5	0.000166667	15.3	0.025	1.80	0.25	10.113	0.331376309
12	0.20	1.4	0.0002	14.28	0.028	1.60	0.22	12.743	0.294556719
15	0.25	1.2	0.00025	12.24	0.030	1.15	0.16	18.995	0.211712642
18	0.30	1.15	0.0003	11.73	0.034	1.00	0.14	25.121	0.18409795
20	0.33	1	0.000333333	10.2	0.033	1.20	0.16	20.226	0.220917539
22	0.37	0.7	0.000366667	7.14	0.026	1.00	0.14	18.689	0.18409795