



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TÍTULO:

**“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN IMPULSOR CENTRÍFUGO RADIAL SEMI
ABIERTO PARA BOMBAS DE TORBELLINO”**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Electromecánico

Autores:

Bonilla Villalba Andrés German

Núñez Villacrés Jorge Aníbal

Tutor:

PhD. Héctor Luis Laurencio Alfonso

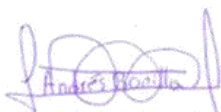
Latacunga - Ecuador

Febrero 2020

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

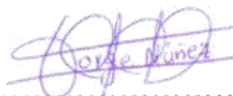
Nosotros Bonilla Villalba Andrés German y Núñez Villacres Jorge Aníbal declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN IMPULSOR CENTRÍFUGO RADIAL SEMI ABIERTO PARA BOMBAS DE TORBELLINO”, siendo PhD. Héctor Luis Laurencio Alfonso; tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad


.....

Bonilla Villalba Andrés German

C.I. 171993195-6


.....

Núñez Villacres Jorge Aníbal

C.I. 1804536280

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN IMPULSOR CENTRIFUGO RADIAL SEMIABIERTO PARA BOMBAS DE TORBELLINO”, de **BONILLA VILLALBA ANDRÉS GERMAN** y **NÚÑEZ VILLACRÉS JORGE ANÍBAL**, de la carrera **Ingeniería Electromecánica**, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias De La Ingeniería Y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 31 de enero del 2020



.....
Tutor de Titulación

Nombre: Héctor Luis Laurencio Alfonso

CI: 1758367252

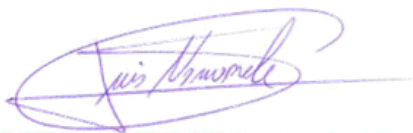
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de **CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**; por cuanto, el o los postulantes: **BONILLA VILLALBA ANDRÉS GERMAN** y **NÚÑEZ VILLACRÉS JORGE ANÍBAL** con el título de Proyecto de titulación: “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN IMPULSOR CENTRÍFUGO RADIAL SEMI ABIERTO PARA BOMBAS DE TORBELLINO” han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

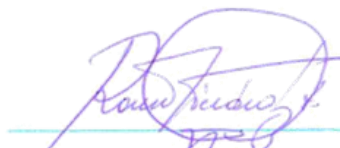
Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 06 de febrero del 2020

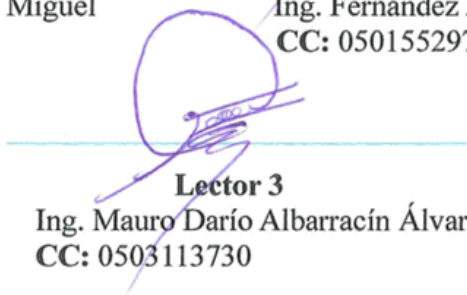
Para constancia firman:



Lector 1 (Presidente)
Ing. Navarrete López Luis Miguel
CC: 1803747284



Lector 2
Ing. Fernández Zambrano Ramiro Trajano
CC: 0501552970


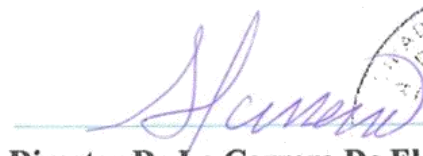


Lector 3
Ing. Mauro Darío Albarracín Álvarez.
CC: 0503113730

AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

Mediante el presente pongo a consideración que, los señores: **Bonilla Villalba Andrés German** con C.I: 1719931956 y **Núñez Villacrés Jorge Anibal** con C.I: 1804536280, de la carrera de ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, realizaron su trabajo de **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**, aportando al proyecto “Invernadero inteligente con autonomía energética para el estudio experimental de cultivos” dentro de la Universidad Técnica de Cotopaxi, extensión Salache con su tema “**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN IMPULSOR CENTRÍFUGO RADIAL SEMI ABIERTO PARA BOMBAS DE TORBELLINO**”, el mismo que se implementó y se probó de manera satisfactoria.

Latacunga 12 de febrero del 2020



Director De La Carrera De Electricidad
PhD. Secundino Marrero Ramírez
CI: 1757107907

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, al permitirme culminar la etapa de formación académica en esta prestigiosa institución, primero doy gracias a Dios por acompañarme y bendecirme cada día en esta etapa de mi vida estudiantil.

Doy gracias a mis padres por tener el amor, coraje, dedicación, valor, paciencia y sobre todo por su fortaleza para no rendirse en la vida, me dio las fuerzas necesarias para superar los retos y dificultades de la etapa académica.

Agradecimiento al PhD. Héctor Luis Laurencio Alfonso, por la colaboración en la orientación técnica y metodológica para la ejecución del proyecto de investigación.

Andrés.



AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, al permitirme culminar la etapa de formación académica en esta prestigiosa institución, primero doy gracias a Dios por acompañarme y bendecirme cada día en esta etapa de mi vida estudiantil.

Doy gracias a mis padres y hermanos por darme su fortaleza y tener la perseverancia para no rendirme en la vida, el cual me ayudo a superar todos los retos de la etapa estudiantil.

Agradecimiento al PhD. Héctor Luis Laurencio Alfonso, por la colaboración en la orientación técnica y metodológica para la ejecución del proyecto de investigación.

Jorge.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. RESUMEN DEL PROYECTO	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	2
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	3
5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
5.1 Análisis de las causas y efectos del problema	3
6. OBJETIVOS.....	4
6.1 General.....	4
6.2 Específicos	4
7. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	5
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	6
8.1 Análisis de los trabajos precedentes	6
8.2 Normativas que rigen el diseño del impulsor	7
8.3 Principios técnicos básicos	8
8.3.1. Tipos de bombas.....	8
Bombas Centrífugas	8
Bombas de torbellino o periféricas.....	9
8.3.2. Características de las bombas de torbellino	9
8.3.3. Aplicaciones y usos de las bombas de torbellino	10
8.3.4. Ventajas de las bombas de torbellino	10
8.3.5. Elementos de las bombas de torbellino	10
8.4 Fenómenos del sistema hidráulico	11
8.4.1. Cavitación existente en las bombas de torbellino	12
8.4.2. Recirculación interna del agua.	12
8.4.3. Empuje Axial.....	13

8.5 Tipos de impulsores	13
8.6 Rendimiento de la bomba centrífuga	15
9. PREGUNTA CIENTÍFICA O HIPÓTESIS	16
10. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL	16
10.1 Metodología del diseño.....	16
10.1.1 Metodología bibliográfica	16
10.1.2. Metodología de campo	16
10.1.3. Metodología experimental.....	16
10.1.4. Metodología inductiva.....	17
10.1.5. Metodología cuantitativa.....	17
10.2 Diseño Conceptual	17
10.3 Ecuaciones que rigen el funcionamiento de las bombas centrífugas.....	18
10.4 Metodología del diseño del impulsor.....	20
Proceso de la estimación del caudal y altura.....	20
Método para la obtención de la velocidad específica de la bomba	20
Rendimiento total de la bomba	21
10.5 Rendimiento hidráulico.....	27
10.6 Curva característica de la bomba	27
10.7 Maquinaria para el mecanizado del impulsor	27
10.8 Elementos para la construcción de un banco de pruebas	28
10.9 Diseño y simulación mediante Software.....	29
11. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.	29
11.1 Diseño Hidráulico	29
11.2 Diseño Mecánico	33
11.3 Análisis de flujo	35
11.4 Rendimiento hidráulico.....	42
11.5 Comprobación de hipótesis.....	43

12.	IMPACTOS DE LA INVESTIGACIÓN	48
13.	PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO	49
14.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
15.	BIBLIOGRAFÍA.....	55
16.	ANEXOS	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Matriz causa efecto de acuerdo al problema.....	4
Figura 2: Bomba centrífuga.....	8
Figura 3: Bomba Paolo PKM 80.....	9
Figura 4: Representación de la cavitación.....	12
Figura 5: Empuje Axial.....	13
Figura 6: Modelo de impulsor abierto.....	14
Figura 7: Modelo de impulsor semi abierto.....	14
Figura 8: Modelo de impulsor cerrado.....	15
Figura 9: Partes de un sistema de bombeo.....	17
Figura 10: Diagrama de velocidades en el impulsor.....	19
Figura 11: a) Triángulo de velocidades a la entrada. b) salida del impulsor.....	19
Figura 12: Distribución de los álabes por simetría.....	32
Figura 13: Diseño final Impulsor centrífugo semi abierto.....	33
Figura 14: Análisis de tensión en el impulsor.....	34
Figura 15: Voluta de la bomba PKM 80.....	34
Figura 16: Ajuste del impulsor al eje del motor.....	35
Figura 17: a) Impulsor radial de la bomba PKM 80.....	36
b) Impulsor semiabierto de la bomba.....	36
Figura 18: Diferencia de presiones de acuerdo al diseño del impulsor.....	36
Figura 19: Banco de Pruebas.....	38
Figura 20: Curva característica de la bomba con el impulsor centrífugo.....	40
Figura 21: Gráfica de regresión polinomial de acuerdo al Caudal y Altura.....	42
Figura 22: Rendimiento Hidráulico.....	43
Figura 23: Comparación de presiones internas producidas por el impulsor.....	45
Figura 24: Determinación gráfica de la zona de rechazo.....	47
Figura 25: Regresión lineal de la variable Caudal.....	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Actividades por objetivo.....	5
Tabla 2: Normativas y regulación para el diseño de un impulsor.....	7
Tabla 3: Parámetros iniciales del sistema.....	17
Tabla 4: Clasificación de las bombas con respecto a la velocidad específica.....	21
Tabla 5: Maquinaria para la fabricación del impulsor semi abierto.....	27
Tabla 6: Materiales para la construcción.....	28
Tabla 7: Elementos para el banco de pruebas.....	28
Tabla 8: Resultado de la clasificación de las bombas.....	30
Tabla 9: Rendimiento de la bomba.....	30
Tabla 10: Caudal mínimo para uso de Hidroponía.....	30
Tabla 11: Diámetros de entrada y salida del impulsor.....	31
Tabla 12: Resultado triángulo de velocidades.....	31
Tabla 13: Ángulos β_1 y β_2 del impulsor.....	31
Tabla 14: Dimensiones para definir el ancho del álabe a la salida del impulsor.....	32
Tabla 15: Definición $H_{t\infty}$ para los valores nominales.....	37
Tabla 16: Definición H_{tz} de acuerdo a los valores calculados.....	38
Tabla 17: Dimensiones de caudal, presión y altura obtenidos por medición.....	39
Tabla 18: Resultados metodológicos en relación al impulsor semiabierto.....	40
Tabla 19: Análisis de regresión polinómica.....	41
Tabla 20: Sistema de ecuaciones de 3er nivel generado.....	41
Tabla 21: Ecuación polinómica generada.....	42
Tabla 22: Rendimiento Hidráulico.....	43
Tabla 23: Valores de presión interna simulado con respecto al impulsor.....	44
Tabla 24: Valores de caudal obtenidos en la parte experimental.....	46
Tabla 25: Resumen de la prueba t de dos muestras emparejadas.....	46
Tabla 26: Mediciones de los decibeles al exterior del cuarto de máquinas.....	49
Tabla 27: Mediciones de los decibeles al interior del cuarto de máquinas.....	49
Tabla 28: Costos fijos del proyecto de investigación.....	50
Tabla 29: Costos variables del Proyecto de investigación.....	50

Tabla 30: Sueldos y Salarios	51
Tabla 31: Salario administrado y socio.....	51
Tabla 32: Costo unitario de producto.....	51
Tabla 33: Datos de acuerdo al país de elaboración del producto.....	52
Tabla 34: Precio en función del tiempo.....	52
Tabla 35: Cantidad en función del tiempo.....	52
Tabla 36: Flujo de Efectivo para determinar el VAN Y TIR.....	52
Tabla 37: Resumen de la determinación del VAN y TIR.....	53

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN IMPULSOR CENTRÍFUGO RADIAL SEMI ABIERTO PARA BOMBAS DE TORBELLINO”.

Autores:

Bonilla Villalba Andrés German

Núñez Villacrés Jorge Aníbal

RESUMEN

Se diseña un nuevo principio de funcionamiento para la bomba de torbellino, para el cual se modifica las características base de la turbo máquina, utilizando diferentes herramientas tecnológicas para el desarrollo del proyecto, enfocando que el problema en éste tipo de bombas periféricas está en el rendimiento hidráulico y volumétrico, por lo cual se genera una hipótesis que describe la generación de un impulsor semiabierto en base a las características del sistema y de la bomba, siendo motivo para disminuir la corriente de recirculación y cavitación producida por las bombas de torbellino, se hace uso de la fuerza centrífuga por lo que se genera un nuevo sistema en la bomba. Al determinar las dimensiones adecuadas para el impulsor se usan diferentes ecuaciones matemáticas y procesos computacionales que determinan la estructura y el análisis adecuado para el funcionamiento, para la validación de datos se ejecuta un banco de pruebas en la Universidad Técnica de Cotopaxi Campus Salache dentro del proyecto “Invernadero Inteligente con Autonomía Energética para el Estudio Experimental de Cultivos”, para la medición de las variables del sistema con el objetivo de garantizar la validez de los datos que se produce en la bomba en relación a los datos nominales. Se obtienen valores máximos de caudal de $45,15 \left[\frac{l}{min}\right]$, y un rendimiento hidráulico del 0,96 %, mediante la simulación se verifica como se disminuyen las corrientes de recirculación producidas por el principio de funcionamiento de la bomba de torbellino, y generando una nueva curva característica de la bomba para los valores obtenidos en la experimentación.

Palabras clave: bomba, presión, caudal, rendimiento, curva característica

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TITLE: “DESIGN AND SIMULATION OF AN OPEN SEMI RADIAL CENTRIFUGAL DRIVER FOR VORTEX PUMPS”.

Authors:

Bonilla Villalba Andrés German
Núñez Villacrés Jorge Aníbal

ABSTRACT

A new operating principle is designed for pump vortex which modifies basic characteristics of the turbo machine, using different technological tools for the project development, focus that the problem in this type of peripheral pumps is hydraulic and volumetric performance, where a hypothesis is generated which describes the generation of a semi-open impeller based on system and pump characteristics, reason to decrease the recirculation and current cavitation produced by vortex pumps, centrifuge force is used to generate a new system in the pump. To determine appropriate dimensions for the impeller, different mathematical equations and computational processes were used to define the structure and the proper analysis for the operation, for data validation a question bank was executed at Technical University of Cotopaxi at Campus Salache on the project “ Intelligent Greenhouse with Autonomous Energy for Experimental Crops Research ”, for system measurement of the variables with the objective to guarantee the performance produced in the pump in relation to nominal data. Maximum flow values of 45.15 [l / min] are obtained, and a hydraulic efficiency of 0.96%, by means of the simulation it is verified how the recirculation currents produced by the operating principle of the vortex pump are decreased, and generating a new characteristic curve of the pump for the values obtained in the experimentation.

Keywords: pump, pressure, flow, performance, characteristic curve


AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen del proyecto de investigación al Idioma Inglés presentado por los señores: Bonilla Villalba Andrés German y Núñez Villacrés Jorge Aníbal, egresados de la **CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**, cuyo título “**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN IMPULSOR CENTRÍFUGO RADIAL SEMI ABIERTO PARA BOMBAS DE TORBELLINO**”, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, febrero 2020

Atentamente



Lcdo. Marcelo Pacheco Pruna
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C: 0502617350

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

Diseño y simulación de un impulsor centrífugo radial semi abierto para bombas de torbellino.

Fecha de inicio:

08 de abril del 2019

Fecha de finalización:

31 de enero del 2020

Lugar de ejecución:

Salache, parroquia Eloy Alfaro, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, zona 3 dentro de la Universidad Técnica de Cotopaxi

Facultad que auspicia:

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Carrera que auspicia:

Ingeniería Electromecánica

Proyecto de investigación vinculado:

Invernadero inteligente con autonomía energética para el estudio experimental de cultivos

Director del proyecto de investigación:

PhD. Laurencio Alfonso Héctor Luis.

Equipo de trabajo:

Tutor

Nombres:	Héctor Luis
Apellidos:	Laurencio Alfonso
Cedula de identidad:	1758367252
Correo electrónico:	hector.laurencio@utc.edu.ec

Coordinador 1:

Nombre:	Bonilla Villalba Andrés German
Cédula de Ciudadanía:	1719931956
Correo electrónico:	andres.bonilla1956@utc.edu.ec
Dirección:	Quito, Tumbaco

Coordinador 2:

Nombre:	Núñez Villacres Jorge Aníbal
Cédula de Ciudadanía:	1804536280
Correo electrónico:	jorge.nunez0@utc.edu.ec

Dirección: Ambato

Área de conocimiento:

Mecánica de fluidos, diseño de elementos de máquinas.

Línea de investigación:

En la Universidad Técnica de Cotopaxi según el departamento de investigación y acorde al proyecto, la línea de investigación que se deriva es eficiencia energética y protección ambiental.

Sub líneas de investigación:

El proyecto de investigación se acoge a la sub línea: Diseño, construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos.

2. RESUMEN DEL PROYECTO

Se ejecuta el estudio de los principales problemas que se generan dentro de la bomba de torbellino para el cual se plantea diseñar un nuevo principio de funcionamiento para la bomba PKM 80, adaptado un impulsor radial semi abierto y la modificación de las dimensiones de la voluta. Para esto se hace uso de diferentes herramientas tecnológicas y metodológicas en el desarrollo del proyecto, se enfoca que el problema se encuentra en el rendimiento hidráulico, por motivos de estar presente la recirculación de agua y las corrientes de arrastre, el cual produce cavitación dentro de las bombas de torbellino. Al determinar las dimensiones adecuadas para el impulsor se aplican diferentes ecuaciones matemáticas y procesos computacionales que determinan la estructura y el análisis adecuado para el funcionamiento. Para la validación de datos se elabora un banco de pruebas en la Universidad Técnica de Cotopaxi Campus Salache dentro del proyecto “Invernadero Inteligente con Autonomía Energética para el Estudio Experimental de Cultivos”, para la medición de las variables del sistema con el objetivo de garantizar la validez de los datos que se produce en la bomba en relación a los nominales, se utiliza métodos estadísticos para la comprobación de la hipótesis propuesta, en base a los valores obtenidos en la experimentación.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El desarrollo sostenible puede ser definido como “un desarrollo que integre las necesidades del usuario, sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades”.

Una alternativa importante para facilitar el desarrollo sostenible es el aprovechamiento de los recursos tecnológicos para obtener diferentes procesos de fabricación el cual desarrolla diversos

métodos que reduzcan el consumo energético que existe actualmente, ofreciendo un mejor rendimiento a un menor precio de fabricación.

Las bombas centrífugas, tiene un rendimiento similar a las turbinas comerciales y un costo más bajo debido a la alta producción y demanda que existe en el mercado, por lo que se plantea un nuevo diseño para la bomba de torbellino en función de la fuerza centrífuga.

El proyecto, busca desde un impulsor de una bomba de torbellino existente, desarrollar un nuevo diseño y principio de funcionamiento, que se basa en métodos numéricos para resolver ecuaciones que describen el movimiento de los fluidos y el trazado de los álabes con respecto a los ángulos de entrada y salida para modelar un nuevo impulsor en base a las características del sistema.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Mediante la obtención de un nuevo impulsor para una bomba centrífuga, se pretende generar un análisis que permita obtener información acerca de la variación del rendimiento mediante la adecuación de un nuevo diseño, en la comunidad de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Se pretende indirectamente aspirar que las empresas que diseñan cierto tipo de turbomáquinas se guíen en un mejor diseño del impulsor, el cual ofrezca diferentes soluciones de acuerdo al requerimiento base de la instalación de la bomba hidráulica.

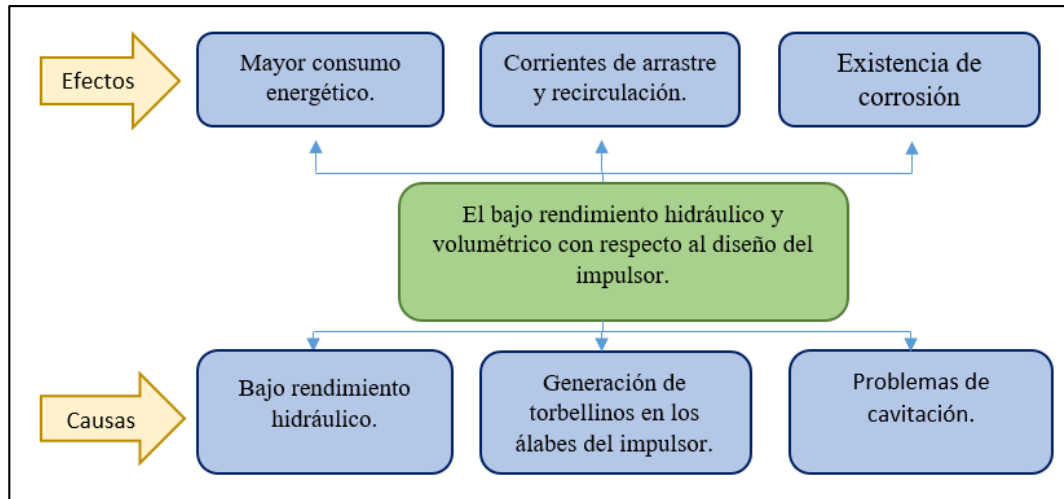
5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El bajo rendimiento hidráulico y volumétrico que se da por la generación de torbellinos en los álabes del impulsor radial dentro de la bomba de torbellino, lo cual origina corrientes de arrastre y recirculación en el sistema.

5.1 Análisis de las causas y efectos del problema

Se definen las diferentes acciones previstas agrupando las fases que tendrá la ejecución del proyecto de investigación, en el cual se identifican los factores de impacto, los cuales son sometidos a un previo estudio para establecer un diseño que permita valorar de manera cuantitativa los resultados de la investigación.

Figura 1. Matriz causa efecto de acuerdo al problema.



De acuerdo a las causas que se han postulado se obtiene en base al problema de la investigación, diferentes efectos negativos en el sistema, por lo que se requiere realizar un nuevo estudio en función a la fuerza centrífuga para resolver éstos fenómenos producidos por el bajo rendimiento y problemas de diseño.

6. OBJETIVOS

6.1 General

Definir un nuevo principio de funcionamiento para la bomba de torbellino mediante la modificación del impulsor para mejorar el rendimiento total en función de las características del sistema.

6.2 Específicos

1. Determinar los parámetros de la bomba para realizar el diseño del impulsor y la modificación de la voluta.
2. Describir la metodología de diseño y construcción e implementar un prototipo del impulsor centrífugo radial semiabierto, utilizando ecuaciones matemáticas que rigen su funcionamiento.
3. Analizar las curvas características que definen el funcionamiento de la bomba centrífuga, basándose en el rendimiento total con respecto a los parámetros hidráulicos y mecánicos que intervienen en el diseño.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 1: Actividades por objetivo.

Objetivos Específicos	Actividad (tareas)	Resultado de la actividad	Medios de Verificación
Objetivo 1	<p>Recopilación de datos acerca de los parámetros que rigen el rendimiento de la bomba.</p> <p>Determinación de los problemas que existen dentro del sistema hidráulico producido en las bombas de torbellino.</p> <p>Verificación del funcionamiento de cada tipo de impulsor y su lugar de aplicación.</p>	<p>Características de los impulsores y los factores que intervienen</p>	<p>Fundamentación teórica de la investigación</p>
Objetivo 2	<p>Desarrollo de las ecuaciones que rigen el funcionamiento de la dinámica de fluidos dentro de la bomba y el sistema.</p> <p>Obtención de los parámetros de diseño del impulsor centrífugo radial semi abierto y trazado del álabe.</p> <p>Ejecución de un sistema de banco de pruebas para la medición de las variables y validación de resultados.</p>	<p>La determinación de los diferentes métodos matemáticos para obtener variables del diseño.</p>	<p>Método para la selección de materiales y las herramientas que requiere el diseño del impulsor.</p>

Objetivo 3	<p>Estudio del comportamiento del impulsor a través del esfuerzo aplicado mediante el método de elementos finitos.</p> <p>Análisis de la curva característica de la bomba centrífuga.</p> <p>Comparación de los valores calculados y obtenidos en la medición del banco de pruebas para elaborar gráficas polinómicas.</p>	<p>Datos obtenidos en la simulación.</p> <p>Rendimiento total de la bomba.</p>	<p>Análisis de resultados.</p> <p>Simulación de software.</p>
-------------------	--	--	---

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

8.1 Análisis de los trabajos precedentes

Dentro de los estudios comprendidos en la Universidad Tecnológica de Bolívar, en la facultad de ingeniería Mecánica y Mecatrónica se desarrolló en el año 2011 un “Diseño de un impulsor para una bomba centrífuga” efectuado por Hermes Javier Ramírez León el cual concluye su trabajo estimando que con la fabricación del impulsor con la aleación de hierro fundido aleado al cromo – níquel se logra una duración 1 año de vida útil (León, 2011).

Realizando investigaciones a nivel Nacional y dentro de la provincia, como primer proyecto de interés se tiene como tema “Fabricación de un prototipo de impulsor de una bomba centrífuga del área ELPO planta de pintura de la empresa ensambladora CIAUTO” el cual se diseñó por el Ing. Choto Chariguaman Luis Santiago de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en el año 2017, el mismo que concluye si proyecto haciendo uso de la ingeniería inversa: escáner 3D, software CAD e impresora 3D, y explica que se pudo desarrollar el diseño conceptual del prototipo, lo que permitió de esta manera manufacturar un prototipo de similar geometría al original (Ing. Choto Chariguaman, 2017).

Se analiza el proyecto “Automatización del sistema de agua de riego para el centro experimental y de producción Salache de la Universidad técnica de Cotopaxi”, publicado en el año 2017 por Guanoluisa Tarco Jessica Yadira, Toctaguano Montaguano Limber Israel en el cual exponen que se ha implementado la automatización para el sistema de agua de riego del Centro

Experimental y de Producción Salache para corregir los problemas de baja presión en la parcela uno y el excesivo desperdicio de agua por el inadecuado manejo del sistema en las parcelas restantes (Guanoluisa Tarco Jessica Yadira, 2017).

8.2 Normativas que rigen el diseño del impulsor

Dentro del proyecto del diseño de un impulsor centrífugo radial semi abierto se puede encontrar diferentes normas que rigen el funcionamiento y las recomendaciones en función a la seguridad de las personas y de la máquina.

Tabla 2. Normativas y regulación para el diseño de un impulsor.

ORIGEN	NORMAS PARA EL DISEÑO DEL IMPULSOR	CONCEPTUACIÓN
Internacional	Para realizar pruebas en base al rendimiento hidráulico se considera la norma ISO 5198:1987 (Interior, 2016).	Esta Norma Nacional es la primera de un conjunto de normas asociadas que se ocupan de los ensayos de rendimiento de bombas centrífugas, flujo mixto y bombas axiales. Describe los ensayos de clase de precisión
Nacional	El 16 de noviembre de 1999, la Comisión electrotécnica Internacional publicó la norma IEC 60193 segunda edición.	Se aplica a modelos de laboratorio de cualquier tipo de turbina hidráulica de impulso.
	ISO 9001	Para términos de gestión de calidad y garantizar la seguridad.

8.3 Principios técnicos básicos

Las bombas son máquinas usadas para mover fluidos a través de tuberías mediante diferentes transformaciones de energía, ya que no puede ser solo energía eléctrica sino también energía química como en el caso de motores que utilizan combustible fósil. La rotación del impulsor en el interior de la bomba crea un vacío dando lugar a una fuerza de succión que favorece la entrada de fluido en la bomba; dentro de la bomba se incrementa la velocidad del fluido, logrando así su movimiento (Herrera Yáñez Juan Carlos, 2015).

Las bombas de torbellino son siempre rotativas y son un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un rotor impulsado por un motor eléctrico. Se pueden clasificar de diferentes maneras, ya sea por la dirección del flujo, por la posición de su eje, por diseño de su carcasa, entre otras. Estas tienen un uso muy extendido en la industria ya que son adecuadas casi para cualquier uso y constituyen no menos del 80 % de la producción mundial de bombas, porque es adecuada para mover una mayor cantidad de líquidos en comparación con la bomba de desplazamiento positivo (Soldrzano, 2016).

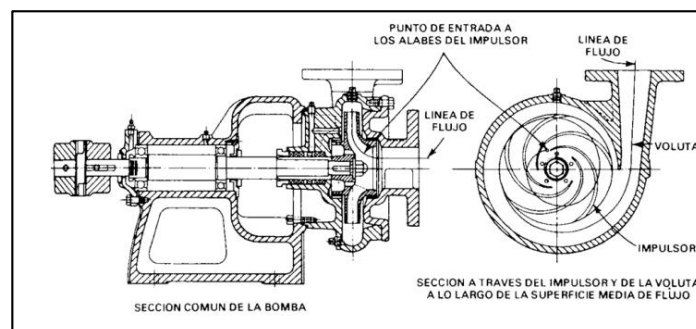
8.3.1. Tipos de bombas

Las bombas son máquinas en las cuales se produce una transformación de la energía mecánica en energía hidráulica, comunicada por el fluido que circula por ellas, existen diferentes tipos de bombas como lo son las bombas centrífugas y periféricas las cuales están agrupadas en la familia de las bombas dinámicas según como se requiera clasificarlas.

Bombas Centrífugas

Una bomba centrífuga es una máquina que tiene un conjunto de paletas rotatorias encerradas dentro de una coraza. Las paletas proporcionan energía al fluido el cual es impulsado por la fuerza centrífuga hacia la coraza en donde gran parte de la energía de movimiento es transformada a presión (Soto Cruz, 1996).

Figura 2: Bomba centrífuga.



Fuente: (Fausto Hidrobo, 2010).

Para realizar pruebas en base al rendimiento hidráulico se considera la norma ISO 5198:1987, IDT. Esta Norma Nacional es la primera de un conjunto de normas asociadas que se ocupan de los ensayos de rendimiento de bombas centrífugas, flujo mixto y bombas axiales. Describe los ensayos de clase de precisión.

Bombas de torbellino o periféricas

Las bombas periféricas son también conocidas como bombas tipo turbina, de vértice o de torbellino; en este tipo de bomba de agua se producen remolinos en el líquido por medio de los álabes a velocidades muy altas, dentro del canal anular donde gira el impulsor (Ing. Domingo Sánchez Amado).

Para estudios del proyecto de investigación y validación de datos se usa la bomba de torbellino Paolo modelo PKM 80, que tiene una potencia de 1 hp, usando como transmisor del flujo un impulsor radial ver Anexo 1.

Figura 3: Bomba Paolo PKM 80.



8.3.2. Características de las bombas de torbellino

En las bombas de torbellino el impulsor mal llamado turbina, normalmente de bronce, es más pequeño que en las centrífugas, éste trabaja casi pegado al cuerpo interior lo que hace correr el riesgo de que si la bomba está parada un cierto tiempo alguna partícula de óxido lo trabe y consiguientemente se quemé el motor.

Otra de sus características es que son rotativas, y al mismo tiempo es un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor en energía cinética. Las entradas de las tuberías son de una pulgada y puede llegar a una altura máxima de 22 metros, así que debido a la geometría de su cuerpo el fluido es conducido hacia las tuberías de salida por la forma de su impulsor (Suhissa, 2018).

8.3.3. Aplicaciones y usos de las bombas de torbellino

Tienen un gran número de aplicaciones, entre estos se destacan el suministro de agua, drenaje e irrigación, para sistema contra incendios, para ser utilizadas en plantas de vapor, para impulsar combustibles de diferentes tipos, pulpa de papel, minería, etc.

Los propósitos y objetivos de llevar a cabo esta tarea de la normalización de las bombas es promover la uniformidad en diversos parámetros de la construcción y el diseño de las bombas. Los beneficios de esta normalización son el desarrollo de la manufactura ingenieril, así como el evitar problemas en el mantenimiento y la construcción de las partes de las bombas; además de promover el desarrollo y la publicación de los estándares de las bombas (Barrera, 1998).

Para determinar el uso de bombas centrífugas de manera residencial se utiliza la norma NTE INEN 2 517:2010, el objetivo de esta norma es establecer los requisitos para cumplir con los valores mínimos de eficiencia en los conjuntos motor-bomba, que utilizan motores eléctricos estacionarios monofásicos y trifásicos para manejo de agua de uso residencial (Interior, 2016).

8.3.4. Ventajas de las bombas de torbellino

- Su construcción es simple y su precio es bajo.
- La Línea de descarga puede interrumpirse o reducirse completamente sin dañar la bomba.
- Flujo suave no pulsante.
- El impulsor y eje son las únicas partes en movimiento.
- Se adaptan a servicios comunes, suministros de agua, hidrocarburos, transferencia de productos.

8.3.5. Elementos de las bombas de torbellino

Álabe

Parte curva del impulsor que va unida al cubo.

Diámetro de succión

Comprende la parte circular que está a la entrada de la bomba del lado de succión exactamente antes de los álabes.

Impulsor

Formado por un conjunto de álabes que pueden adoptar diversas formas, según la misión a que vaya a ser destinada la bomba, los cuales giran dentro de una carcasa circular.

El impulsor es accionado por un motor, y va unido solidariamente al eje, siendo la parte móvil de la bomba.

El líquido penetra axialmente por la tubería de aspiración hasta la entrada del impulsor, experimentando un cambio de dirección más o menos brusco, pasando a radial, permaneciendo axial, acelerándose y absorbiendo un trabajo (Gálvez).

Los álabes del impulsor someten a las partículas de líquido a un movimiento de rotación muy rápido, siendo proyectadas hacia el exterior por la fuerza centrífuga, creando una altura dinámica de forma que abandonan el impulsor hacia la voluta a gran velocidad, aumentando también su presión en el impulsor según la distancia al eje. La elevación del líquido se produce por la reacción entre éste y el impulsor sometido al movimiento de rotación.

Difusor

Forma parte del conducto hidráulico, proporciona soporte y continuidad estructural y guía el agua una vez que abandona el impulsor y entra en la cámara espiral, convirtiendo la energía cinética en energía de presión (Ingeniería, s.f.).

Voluta de la bomba

La finalidad de la voluta es la de recoger el líquido a gran velocidad, cambiar la dirección de su movimiento y encamilarlo hacia la brida de impulsión de la bomba. La voluta es también un transformador de energía, ya que disminuye la velocidad (transforma parte de la energía dinámica creada en el impulsor en energía de presión), aumentando la presión del líquido a medida que el espacio entre el impulsor y la carcasa aumenta. La voluta está dispuesta en forma de caracol, de tal manera, que la separación entre ella y el impulsor es mínima en la parte superior; la separación va aumentando hasta que las partículas líquidas se encuentran frente a la abertura de impulsión; en algunas bombas existe, a la salida del impulsor, una directriz de álabes que guía el líquido a la salida del impulsor antes de introducirlo en la voluta (ocwus, 2008).

8.4 Fenómenos del sistema hidráulico

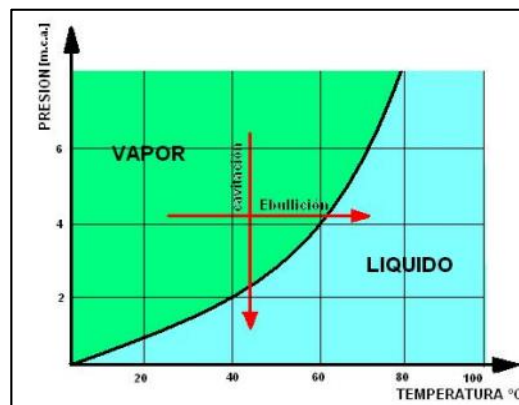
Son aquellos que se presentan dentro del sistema hidráulico debido a la existencia de flujos transitorios, así como mezclas de aire y agua, los mismos que se deben tratar con un correcto dimensionamiento dentro de la bomba y el sistema en donde se lleva a cabo la instalación.

8.4.1. Cavitación existente en las bombas de torbellino

Es un fenómeno de vital importancia en la mecánica de fluidos y de manera particular en el funcionamiento de todo sistema hidráulico, teniendo problemas al operar fuera de las condiciones de diseño.

Cavitación es la formación de bolsas localizadas de vapor dentro del líquido, formadas en las proximidades de las superficies solidas que limitan el flujo normal del líquido (Marchegiani, Cavitación, 2006).

Figura 4: Representación de la cavitación.



Fuente: (Marchegiani, Cavitación, 2006)

La condición física fundamental para la aparición de la cavitación es, que la presión en el punto de formación de estas bolsas caiga hasta la tensión de vapor del fluido en cuestión. Puesto que las diferencias de presión en máquinas que trabajan con líquido son normalmente del mismo orden que las presiones absolutas.

8.4.2. Recirculación interna del agua.

Se produce por bajo flujo de bombeo, el flujo exacto donde ocurre la recirculación en la succión o descarga de la bomba depende del diseño del impulsor. A mayor superficie del ojo del impulsor mayor será la capacidad a la que ocurre la recirculación, como porcentaje de la capacidad del mejor punto de eficiencia. La recirculación interna produce vórtices muy intensos a altas velocidades en el centro del vórtice, reduciendo la presión estática de ese lugar.

Como consecuencia de esta situación las pulsaciones de presión que se generan, dañan considerablemente los materiales de los impulsores, platos de succión y otros elementos de la parte hidráulica del equipo. Cuando se bombean sólidos en un medio líquido, estos vórtices se

acentúan, produciendo un elevado desgaste erosivo en las zonas donde se localizan los vórtices (Cisneros, 2008).

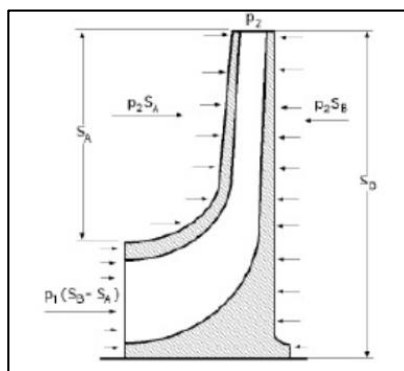
Es uno de los fenómenos que suceden en las bombas de tipo centrífugas que en general es llamado recirculación interna, que es un proceso poco conocido para la mayoría de los usuarios de plantas industriales.

8.4.3. Empuje Axial

El empuje axial es la fuerza hacia abajo que el conjunto rotante experimenta cuando la bomba está funcionando. La mayoría de las bombas y los motores están diseñados para trabajar bajo condiciones de empuje axial continuo, pero demasiado empuje axial puede crear problemas para la bomba y el motor (Grundfos).

Los problemas de empuje axial ocurren cuando la bomba está trabajando con caudales muy bajos resultando en presiones de descarga más altas y cargas de empuje axial mayores. La operación continua en este rango puede dañar el cojinete de empuje axial en el motor y puede también causar problemas dentro de la voluta.

Figura 5: Empuje Axial.



Fuente: (Fausto Hidrobo, 2010).

Para minimizar los problemas de empuje axial, la bomba debe trabajar dentro de su rango de caudal máximo y mínimo.

8.5 Tipos de impulsores

Existen diferentes tipos de impulsores y mediante ellos se clasifican las bombas centrífugas, el sistema que tiene la bomba mediante la modificación de la voluta es centrífuga, por lo que se utilizan los siguientes tipos de impulsores según el requerimiento de la instalación.

Impulsor abierto.

Los impulsores abiertos tienen las paletas libres en ambos lados, son estructuralmente débiles. Por lo general, se usan en bombas de pequeño diámetro y de bajo costo y bombas que manejan sólidos suspendidos (Connor, 2019).

Figura 6: Modelo de impulsor abierto.



Fuente: (Connor, 2019).

Impulsor semi abierto.

Los álabes son libres por un lado y cerrados por el otro. La cubierta agrega resistencia mecánica. También ofrecen mayores eficiencias que los impulsores abiertos. Se pueden usar en bombas de diámetro medio y con líquidos que contienen pequeñas cantidades de sólidos en suspensión. Debido a la minimización de la recirculación y otras pérdidas, es muy importante que exista un pequeño espacio libre entre los álabes del impulsor y la carcasa (Connor, 2019).

Figura 7: Modelo de impulsor semi abierto.



Fuente: (Connor, 2019).

Impulsor cerrado.

Las paletas se encuentran entre los dos discos, todo en un solo bastidor. Se utilizan en bombas grandes con altas eficiencias y bajo cabezal de succión positivo neto requerido. Las bombas centrífugas con impulsor cerrado son las bombas más utilizadas para el manejo de líquidos

transparentes. Dependen de anillos de desgaste de espacio libre cercano en el impulsor y en la carcasa de la bomba. El impulsor cerrado es un diseño más complicado y costoso, no solo por el impulsor, sino que también se necesitan anillos de desgaste adicionales (Connor, 2019).

Figura 8: Modelo de impulsor cerrado.



Fuente: (Connor, 2019).

Ventajas entre los impulsores

Dentro de sus principales ventajas se encuentran:

El impulsor semi abierto puede bombear líquidos corrosivos y abrasivos con sólidos.

1. La menor tendencia a obstruirse que le hace adecuado para líquidos sucios.
2. El menor roce hidráulico del disco, al tener sólo una pared girando, de lo que se deduce un buen rendimiento.
3. Una mayor accesibilidad de los álabes para el mecanizado, lo que permite conseguir mejores acabados.
4. Se puede utilizar una mayor variedad de materiales constructivos.

8.6 Rendimiento de la bomba centrífuga

El rendimiento hidráulico de una bomba centrífuga incluye tres factores básicos:

1. La capacidad (expresada en unidad de volumen por unidad de tiempo).
2. La carga total (expresada en unidades de longitud del líquido que se bombea).
3. La velocidad a la cual funciona la bomba (generalmente expresada en r.p.m).

El rendimiento o comportamiento de la bomba se presenta en forma de curvas. La curva también indica el caballaje al freno requerido con diversos flujos y la eficiencia correspondiente de la bomba. La capacidad a la cual la bomba trabaja con más eficiencia se llama punto de máxima eficiencia (I. Martín, 2011).

Una bomba centrífuga de flujo axial el movimiento del fluido inicia en el centro del impulsor, este dispone de unos álabes para conducir el fluido y por medio de la fuerza centrífuga generada de la rotación, hacia las paredes internas de la carcasa o cuerpo de la bomba que por su diseño hace que el fluido circule hacia la descarga de la bomba.

9. PREGUNTA CIENTÍFICA O HIPÓTESIS

Utilizando un nuevo principio de funcionamiento para la bomba de torbellino, mediante el diseño de un impulsor centrífugo radial semi abierto, se disminuirán las corrientes de arrastre y recirculación del agua, aumentando la presión interna, el caudal, conduciéndose a la mejora del rendimiento hidráulico de la bomba.

10. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

10.1 Metodología del diseño

Se utilizan diferentes herramientas para la obtención de los valores teóricos y experimentales dentro del proyecto de investigación lo cuales se registran dentro de tablas comparativas para su análisis posterior.

10.1.1 Metodología bibliográfica

Es necesario tener en cuenta políticas públicas y normas que contribuyan a determinar los diferentes aspectos que debe tener un sistema hidráulico de una manera responsable y planificada, así como también trabajos antecedentes con relación al diseño del impulsor, rendimiento de la bomba y la vida útil.

10.1.2. Metodología de campo

Para un determinado sistema es importante conocer las características que lo rigen como son: el caudal inducido, la velocidad que genera el motor en el fluido, la altura generada por la presión, para determinar el rendimiento total de la bomba.

10.1.3. Metodología experimental

De la investigación este método se constituyó como uno de los más importantes, ya que existen algunas dificultades para el diseño y construcción del impulsor de una bomba de torbellino, que solo serán posibles solucionar a través de la experimentación práctica y la repetitividad de las operaciones realizadas, donde se define las variables físicas que intervienen en el funcionamiento del prototipo.

10.1.4. Metodología inductiva

Dentro del proceso investigativo el método inductivo ha sido de gran utilidad, puesto que es indispensable la observación de los fenómenos, así como llevar un registro de las causas y efectos que lo producen. Además, la clasificación de los hechos para su estudio, generalización y finalmente contrastación de los mismos han permitido establecer los parámetros de análisis necesarios para el estudio de la metodología del diseño y construcción.

10.1.5. Metodología cuantitativa

Este método consiste en la tabulación de las principales características del sistema y la bomba centrífuga.

Los datos que se deben tomar en cuenta para la tabulación son los siguientes:

Tabla 3: Parámetros iniciales del sistema.

H	Altura de elevación [<i>m</i>]
Q	Caudal [$\frac{m^3}{h}$]
n	Número de revoluciones [<i>r.p.m</i>]

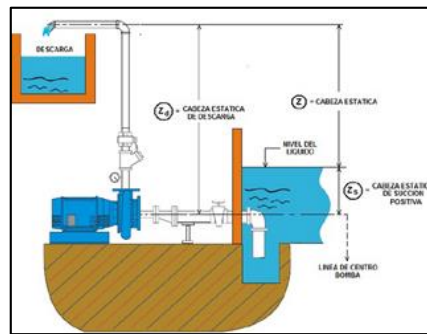
10.2 Diseño Conceptual

Para el análisis del nuevo diseño del impulsor se toma en cuenta los valores técnicos y las dimensiones originales de la bomba de torbellino. Teniendo como principio que los cambios al impulsor son de dimensiones, forma y sentido. Los parámetros del diseño del impulsor están planteados en base a la disponibilidad de las herramientas y materiales.

El análisis inicia desde las características adecuadas que debe tener el sistema de bombeo, para ver si es el adecuado para cumplir el trabajo, con la finalidad de evitar un mal diseño y selección de componentes dentro del área de trabajo, la modelación se detalla en pasos.

De acuerdo a los parámetros a obtener del impulsor se analiza el funcionamiento del sistema en relación al rendimiento de la bomba, la implementación del impulsor centrífugo radial semi abierto y las condiciones de la instalación.

Figura 9: Partes de un sistema de bombeo.



Fuente: (Hidráulica.blogspot, 2012).

Partiendo desde el problema que ocasiona el desgaste acelerado de los impulsores y haciendo énfasis al correcto funcionamiento del sistema de bombeo, existen diferentes características de diseño que se deben cumplir.

10.3 Ecuaciones que rigen el funcionamiento de las bombas centrífugas.

La ecuación base para el funcionamiento de los impulsores centrífugos fue desarrollada por el matemático Leonardo Euler en 1754, por la actualmente llamada ecuación de Euler.

El procedimiento permite calcular la carga teórica que podría desarrollar un impulsor centrífugo en condiciones ideales. Con la ayuda de coeficientes experimentales se puede, a partir de esta ecuación, determinar la carga real que puede desarrollar un impulsor dado (Marchegiani, Ecuación de Euler, 2004).

Las condiciones que permiten el desarrollo teórico de esta ecuación son las siguientes:

1. El flujo de masa se considera constante y su estado debe permanecer constante.
2. Todas las partículas de fluido realizan idénticos procesos dentro del impulsor.
3. Se considera que el impulsor tiene un número infinito de álabes, lo que implica un espesor infinitamente pequeño.
4. La dirección de la velocidad relativa del fluido desde la entrada hasta la salida del impulsor se considera tangente al perfil del álabe.
5. Como el estudio se realiza bajo condiciones ideales, se considera un rendimiento del 100 %.
6. No se consideran pérdidas de ninguna naturaleza.

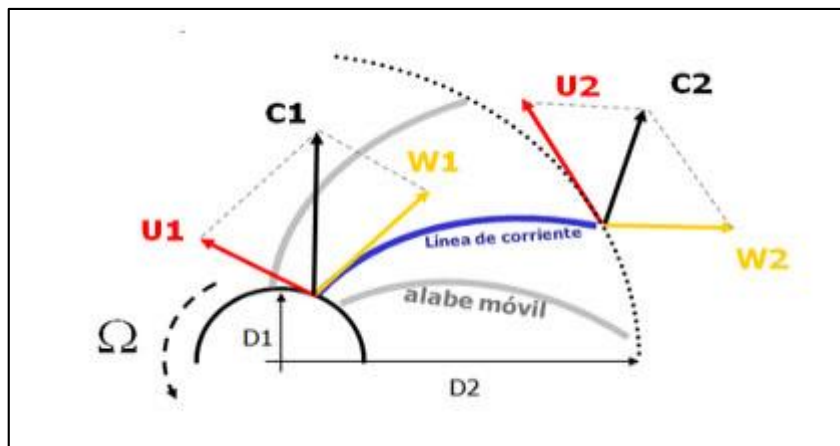
Las dos primeras condiciones implican que el impulsor esté formado por un número infinito de álabes que carecen de espesor y que por tanto no provocan una reducción del área de flujo.

Aplicando la ley de conservación de la cantidad de movimiento que establece “el impulso del momento de las fuerzas externas que actúan sobre la masa elemental de un material cualquiera es igual a la variación del momento de la cantidad de movimiento de esta masa”.

Diagrama de Velocidades

Las velocidades que se tienen a la entrada comprenden un subíndice 1 y las velocidades a la salida del impulsor con un subíndice 2 lo cual sirven para el desarrollo de la ecuación de Euler y se puede observar en la figura 10.

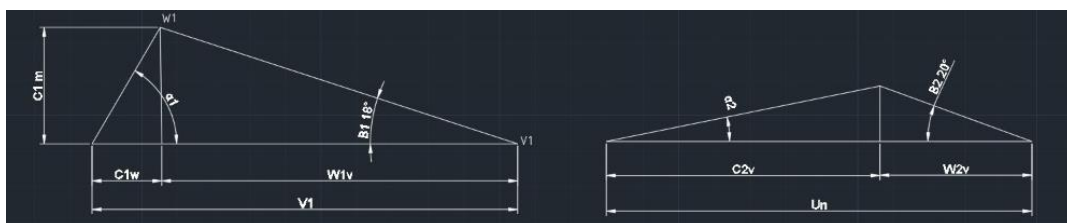
Figura 10: Diagrama de velocidades en el impulsor.



Fuente: (Mataix, 1986).

En una turbo máquina, un fluido en movimiento atraviesa un impulsor que también se mueve. Eso implica que, en cualquier punto de contacto entre el fluido y el impulsor, se puede hablar de tres vectores de velocidad: la velocidad absoluta del fluido, la velocidad relativa del fluido y la velocidad del impulsor lineal (Mataix, 1986).

Figura 11: a) Triángulo de velocidades a la entrada. b) salida del impulsor.



Fuente: (Mataix, 1986).

El triángulo de velocidades es la base para obtener el ángulo de inclinación del álabe dentro de impulsor.

10.4 Metodología del diseño del impulsor

En el proceso del cálculo se hace referencia a ecuaciones, parámetros y datos de catálogos en base a los estudios técnicos y experimentales obtenidos en bancos de pruebas en funcionamiento, y consideraciones estimadas en tablas o curvas tras un estudio del comportamiento de la bomba en función a sus elementos y condiciones.

Se requiere determinar las características geométricas y funcionales del impulsor de una bomba centrífuga para obtener los parámetros fundamentales como son la altura de elevación, el caudal en función a la velocidad angular y las dimensiones del impulsor semiabierto.

Proceso de la estimación del caudal y altura

De acuerdo al documento del Anexo 2 los requisitos mínimos para el uso de hidroponía y riego por goteo, debe contar con una fuente de abastecimiento de agua de $1,0 \frac{l}{seg}$, por lo que el dimensionamiento del impulsor parte del caudal necesario para la instalación.

Utilizando el manual de la bomba Paolo PKM 80 se obtiene que para un caudal de $1,00 \frac{l}{seg}$ el sistema ocupará una altura de 9 metros con respecto al caudal requerido Anexo 1.

Método para la obtención de la velocidad específica de la bomba

De acuerdo al caudal y la altura obtenidos se requiere comprobar la velocidad angular del motor eléctrico, ya que tiene una relación en función a las dimensiones por lo que a mayor velocidad angular se tiene menores dimensiones en la bomba, se utiliza la bomba Paolo modelo PKM 80 con una velocidad angular de 3450 r.p.m suficiente para cubrir el espacio delimitado dentro de la voluta al adaptar el nuevo impulsor y que trabaje a condiciones normales.

Una vez determinado las características base de la bomba y de la instalación se requiere calcular la velocidad específica y con esto clasificarla al tipo de bomba que pertenece con respecto a los parámetros y condiciones de la tabla 3.

La velocidad específica se obtiene a partir del caudal y la carga que corresponde al máximo rendimiento de la maquina o por los parámetros nominales del sistema.

Mientras mayor es la velocidad específica mayor es el rendimiento de la maquina por lo que existe la tendencia de construir maquinas con gran velocidad específica. Las bombas con altas velocidades específicas desarrollan poca altura de succión por lo que se hace necesario tomar medidas en su instalación (Páez, 1994).

$$n_s = \frac{3,65 \cdot n \cdot \sqrt{Q_{calc}}}{H^{\frac{3}{4}}} \left[\frac{rev}{min} \right] \quad \text{Ecuación.1}$$

Donde:

n: número de revoluciones [rpm]

H: Altura de elevación [m]

En el proceso del cálculo se seleccionan parámetros en función a los estudios técnicos y experimentales que se han obtenido en bancos de pruebas a lo largo del estudio de las turbomáquinas, los datos se han agrupado en tablas o se han realizado figuras estadísticas de acuerdo a sus valores correspondientes para futuros estudios de investigación.

Tabla 4: Clasificación de las bombas con respecto a la velocidad específica

η_s (rev/min)	> 40	40 - 80	80 - 150	150 - 300	300 - 600	600 - 1200
D2/D1 Coeficiente		2,2 - 3,5	1,8 - 2,2	1,3 - 1,8	1,1 - 1,3	1
Denominación	Rotativas y de Émbolo	Lenta	Normal	Rápida	Diagonal y mixta	Axial

Fuente: (Alfonso, 2015).

Potencia de la bomba

La potencia de la bomba se delimita mediante la placa de datos, lo cual la bomba Paolo PKM 80 dispone una potencia de 1 HP como valor nominal Anexo 3.

Rendimiento total de la bomba

Aprecia el perfeccionamiento de la máquina en conjunto. Es el producto de rendimiento hidráulico, volumétrico y mecánico (Azevedo Netto Miguel Fernandez, 1998).

$$\eta = \eta_h \cdot \eta_v \cdot \eta_{mec} \quad [\%] \quad \text{Ecuación.2}$$

Donde:

η_h = Rendimiento hidráulico

η_v = Rendimiento volumétrico

η_{mec} = Rendimiento mecánico

Rendimiento mecánico

Las pérdidas mecánicas están condicionadas por el rozamiento en las empaquetaduras, los cojinetes y también por el rozamiento hidráulico contra las superficies del impulsor y de los discos de descarga. “Para grandes bombas el valor del rendimiento mecánico oscila entre 0,92 y 0,96 (Viedma, 2016).

Asumimos el valor mínimo de rendimiento mecánico:

$$\eta_{mec} = 0,92 \quad [\%]$$

Rendimiento hidráulico

Las pérdidas hidráulicas que surgen como resultado del rozamiento hidráulico y la formación de torbellinos. Los canales contorneados del impulsor, ensanchamiento y estrechamiento, los tratamientos minuciosos de las superficies interiores de la parte de paso aseguran un elevado rendimiento hidráulico (Alfonso, 2015).

El rendimiento hidráulico está dado de la siguiente manera:

Bombas grandes de 0,85 – 0,96

Bombas pequeñas de 0,80 – 0,85

Para éste caso optamos por el coeficiente en relación a las bombas pequeñas teniendo como valor un rendimiento teórico de 0,80, en el proceso de la medición experimental se obtendrá el rendimiento hidráulico real en función a las mediciones en el banco de pruebas.

Rendimiento volumétrico

Las pérdidas volumétricas están condicionadas por el paso de líquido a través del huelgo entre el impulsor y el cuerpo de la bomba, en la zona de elevada presión a la cavidad de aspiración. Depende en sumo grado del estado de las empaquetaduras (Viedma, 2016). El rendimiento volumétrico se lo obtiene utilizando la ecuación 3.

$$\eta_v = \frac{\eta}{\eta_{mec} \cdot \eta_h} \quad [\%] \quad \text{Ecuación.3}$$

Caudal de entrada

De acuerdo al rendimiento obtenido se procede a registrar el caudal admitido en la entrada de la bomba.

$$Q' = \frac{Q}{\eta_v} \quad \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad \text{Ecuación.4}$$

Donde:

Q = Caudal mínimo

Velocidad Angular

Es una medida de la velocidad de rotación. Se define como el ángulo girado por una unidad de tiempo y se designa mediante la letra griega ω y se obtiene con la siguiente ecuación.

$$\omega = \frac{\theta}{t} \quad \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] \quad \text{Ecuación.5}$$

Donde:

θ : equivalente a $(2 \cdot \pi \cdot rpm)$

t : tiempo

Diámetro de entrada óptimo

Al medir las dimensiones del impulsor obtenemos un diámetro de entrada de acuerdo a las características de la voluta al ser modificada, obteniendo una medida de 31,75 mm Anexo 4.

Para verificar que las dimensiones están correctas y dentro de los parámetros base se utiliza la ecuación 6.

$$D_1 = K_o \left(\frac{Q}{N} \right) \quad [m] \quad \text{Ecuación.6}$$

Donde:

K_o : coeficiente de valor 4,35

D_1 : Diámetro de entrada [m]

N : revoluciones por minuto [r.p.m]

El diámetro de salida se lo genera mediante la medición geométrica de las condiciones permisibles dentro de la voluta del impulsor.

Velocidades radiales

El líquido queda sometido a una velocidad relativa \vec{w} a su paso por el espacio entre álabes entre la entrada y la salida, y a una velocidad de arrastre \vec{u} debida a la rotación del impulsor alrededor del eje; la suma vectorial de estas velocidades proporciona la velocidad absoluta \vec{c} , como se observa en la figura 10.

Velocidad absoluta a la entrada del impulsor

Para determinar la velocidad absoluta se tiene en cuenta las dimensiones a la entrada del impulsor y el caudal calculado.

$$C_1 = \frac{4 \cdot Q'}{\pi \cdot D_1^2} \quad \left[\frac{m}{s}\right] \quad \text{Ecuación.7}$$

Donde: $C_1 = C_{1m} = C_{2m}$ (componentes)

Velocidad tangencial a la entrada del impulsor

Toma el nombre de velocidad tangencial porque es un vector que se forma por la tangente de la trayectoria, en este caso el diámetro de entrada, se lo define con la siguiente ecuación:

$$U_1 = \frac{n \cdot D_1}{2} \quad \left[\frac{m}{s}\right] \quad \text{Ecuación.8}$$

Método para la obtención del ángulo β_1 y β_2

Los ángulos β_1 y β_2 son la base fundamental para la obtención del número de álabes y la amplitud que tendrá el impulsor con respecto a las características de la bomba y del sistema, por lo que el correcto dimensionamiento de éstos serán necesarios para aumentar el rendimiento hidráulico de la bomba PKM 80. Para determinar el ángulo β_1 de acuerdo al triángulo de velocidades se utiliza la siguiente ecuación (Viedma, 2016).

$$\beta_1 = \arctg\left(\frac{C_{1m}}{U_1}\right) \quad [\text{ángulo}] \quad \text{Ecuación.9}$$

Donde:

C_{1m} : Componente radial a la entrada

Para determinar el ángulo β_2 se le hace una aproximación que va desde el rango de diferencia de 2 a 6 grados en relación al ángulo β_1 , Según el autor Stepanoff define que los límites del ángulo β_2 está entre 15 y 35 grados.

Método para obtener del número de álabes en el impulsor

Se define el número de álabes mediante la ecuación 10, para lo cual se utilizan las dimensiones del diámetro de entrada y salida del impulsor de acuerdo a los parámetros medidos en la voluta, adicionalmente depende de los ángulos β_1 y β_2 que se forman a partir del triángulo de velocidades (Sánchez, 1989).

$$z = 6,5 \cdot \left(\frac{D_2 + D_1}{D_2 - D_1}\right) \cdot \text{sen}\left(\frac{\beta_1 + \beta_2}{2}\right) \quad [\text{adimensional}] \quad \text{Ecuación.10}$$

Anchura del canal del impulsor

Se define el ancho del impulsor en la entrada por el valor mínimo admisible de 3 mm con respecto a las dimensiones disponibles (Sánchez, 1989). Por lo que se determina el coeficiente a la salida del impulsor con la siguiente ecuación:

$$K_2 = 1 - \left(\frac{Z \cdot \epsilon}{\pi \cdot D_2 \cdot \text{Sen}(\beta_2)} \right) \quad [\text{adimensional}] \quad \text{Ecuación.11}$$

Donde:

ϵ : Espesor mínimo para álabes.

Utilizando este coeficiente se aplica la ecuación para obtener el ancho del álabe a la salida del impulsor y se expresa de la siguiente manera:

$$b_2 = \frac{Q}{\pi \cdot D_2 \cdot C_{2m} \cdot K_2} \quad [m] \quad \text{Ecuación.12}$$

Donde:

C_{2m} : Velocidad Absoluta

K_2 : Coeficiente del espesor según los parámetros de salida

Método para el trazado de los alabes en el impulsor

Para el diseño del trazado de los álabes como influencia se necesitan tres parámetros fundamentales que son los ángulos β_1 y β_2 así como el espesor de entrada y salida según la trayectoria del álabe, el trazado se lo realiza en el arco de círculo.

Se traza la recta GN que pasa por el punto B de intersección del segundo lado del ángulo y del círculo de radio D1 y se prolonga hasta el punto B, donde corta de nuevo al círculo interior. Se levanta una perpendicular en el punto medio de GB que es la recta CM, A partir del radio OG se lleva el ángulo β_2 que genera la recta GM que corta en M a la recta CM; éste punto hallado es el centro del círculo con el que se forma el perfil del álabe, mediante éste método se genera el álabe con sus ángulos β_1 y β_2 calculados (Sánchez, 1989).

Método de obtención de la altura teórica de la bomba

Para determinar la altura máxima teórica se toman en cuenta dos suposiciones:

- Número infinito de álabes.
- El rendimiento de la bomba es igual a la unidad.

Para obtener la altura teórica derivamos de la ecuación general de Euler la cual se expresa de la siguiente manera:

$$H_{t\infty} = \frac{1}{g} \cdot \left[(\omega \cdot r_2)^2 - \frac{Q \cdot \omega}{2 \cdot \pi \cdot b_2} \cdot \text{Cot}(\beta_2) \right] \quad [m] \quad \text{Ecuación.13}$$

Donde:

ω : Velocidad angular

r_2 : Radio de salida del impulsor

b_2 : Espesor del álabe

β_2 : Ángulo de inclinación entre la velocidad relativa y velocidad tangencial.

Esta ecuación expresa la energía por unidad de masa intercambiada en el impulsor y constituye una base analítica para el diseño del impulsor, es decir que constituye una guía técnica para encontrar la geometría más adecuada con respecto a las condiciones de funcionamiento requeridas para la turbo máquina (Alfonso, 2015).

Esta ecuación es la denominada ecuación de Euler y corresponde con la carga teórica de un impulsor centrífugo con infinito número de alabes. es importante destacar, que de la ecuación antes mencionada que la carga es independiente del fluido que se trasiega, y es la función solamente de las propiedades geométricas del impulsor y su velocidad de rotación.

La carga teórica expresada en la ecuación 2 será máxima si las condiciones de entrada del impulsor son tales que $\alpha_1 = 90^\circ$, en este caso $C_1 = C_{1r}$ y $C_{1u} = 0$ como se muestra en el triángulo de velocidad a la entrada del impulsor ver Anexo5.

Se utiliza la ecuación 15 obtener la altura teórica para un número finito de álbes en el impulsor donde primero se realiza la relación empírica de Pflleiderer para obtener el coeficiente de influencia del número de álbes (Alfonso, 2015).

$$\mu = \frac{1}{1 + \frac{2 \cdot \varphi}{Z \left[1 - \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 \right]}} \quad [\text{adimensional}] \quad \text{Ecuación.14}$$

Donde:

$$\varphi = 0,65 + 0,6 * \text{Sen}(\beta_2)$$

Z: Número de álbes

r_1 y r_2 : Radios de entrada y salida de los álbes respectivamente

El coeficiente de influencia se obtiene la altura teórica con respecto a la cantidad de álabes en el impulsor utilizando la ecuación 14 (Alfonso, 2015).

$$Ht_z = Ht_{\infty} \cdot \mu \quad [m] \quad \text{Ecuación.15}$$

Donde:

Ht_z : Altura teórica con respecto a la cantidad de álabes en el impulsor.

10.5 Rendimiento hidráulico

Para obtener el rendimiento hidráulico y la curva que se genera en función de la presión manométrica transformada a metro caudal de agua, y la altura teórica con un número finito de álabes, el cual genera una curvatura en donde se puede observar a que niveles de altura la bomba tiene un rendimiento por encima del 0,80 % para cumplir sus funciones de la manera más óptima (Alfonso, 2015).

$$\eta_h = \frac{H_b}{Ht_z} \quad [\%] \quad \text{Ecuación.16}$$

10.6 Curva característica de la bomba

La curva característica de una bomba centrífuga se obtiene mediante un banco de pruebas y viene representada en función del caudal y de la altura. Estas curvas sirven para seleccionar la bomba más adecuada a cada instalación en el cual depende el caudal y la altura manométrica requeridos.

10.7 Maquinaria para el mecanizado del impulsor

Se utilizan distintos procesos tecnológicos de mecanizado, tanto para realizar el modelo de diseño experimental en una impresora 3D de marca Creality con el objetivo de verificar las dimensiones adecuadas a la zona de aplicación dentro de la voluta, utilizando éstas referencias como guías para desarrollar una programación en la máquina fresadora CNC de modelo Fadal VMC-3016, todo el tipo de maquinaria se selecciona debido a la disponibilidad que se tiene en la región ver Anexo 6.

Tabla 5: Maquinaria para la fabricación del impulsor semi abierto.

Cantidad	Descripción
1	Fadal VMC - 3016
1	Fresadora universal robusta Fritz Werner
1	Torno automático
1	Impresora 3D modelo Creality

Una vez realizado el estudio de la maquinaria a usar, se determinan los materiales que componen su elaboración, por lo que se detalla una lista general para desarrollar un proceso de maquinado.

Tabla 6: Materiales para la construcción.

Cantidad	Descripción
1	Duraluminio 6061 de 3 pulgadas por 25 mm
1	Buril de 8 mm HSS
1	Fresa de carburo solido de 4 mm
1	Escariador de 2 mm en carburo solido
1	Electrodos de hierro fundido prowar maquinable
1	Rollo de plástico de alta dureza (pla) para impresora 3d

El impulsor puede fabricarse de casi todos los metales comunes conocidos o de sus aleaciones dependiendo las condiciones a las que será sometido. Los materiales con que se fabrican las bombas centrífugas inciden considerablemente en su costo. La resistencia a la corrosión constituye la principal propiedad para elegir entre distintos materiales de similares características mecánicas a fin de trabajar en diferentes condiciones de explotación.

Para el caso del diseño del impulsor centrífugo se utilizó el material Aluminio 6061 el cual de acuerdo a sus componentes es resistente a la corrosión por el zinc y resistente a los esfuerzos mecánicos por la aleación de cobre ver Anexo 7.

10.8 Elementos para la construcción de un banco de pruebas

Para la medición de las variables del sistema de bombeo se utilizan diferentes herramientas las cuales permiten obtener valores y compararlos mediante el análisis.

Tabla 7: Elementos para el banco de pruebas.

Cantidad	Descripción
1	Sensor de flujo de agua de caudal FS400a G1 dn25 60l/min 3,5-24v
1	Manómetro de 150 psi
11	Acoples t de 1"
9	Válvula de bola de plástico pn16 de 1"
4	Codos pvc 90° de 1"
9	Uniones universal pvc 1" con rosca
1	Tubería de plástico pvc de 1" - 5 metros
1	Válvula check de plástico 1"

Éstos materiales son seleccionados para un banco de pruebas en función a la instalación que se requiere dentro del proyecto “Invernadero inteligente con autonomía energética para el estudio experimental de cultivos”, el cual garantice realizar la medición adecuada para obtener información que valide los resultados dentro del proyecto.

10.9 Diseño y simulación mediante Software

SolidWorks posee un gestor de diseño o árbol de operaciones que permiten ver de forma histórica todas las operaciones involucradas para la creación de piezas, estas se pueden modificar, suprimir o eliminar. Otra aplicación de esta herramienta es la simulación de flujo, la cual permite agregar distintos componentes para evaluar el diseño en torno a la forma, dimensiones y relaciones geométricas que definen la cinemática en su conjunto y es un soporte para garantizar que no se presente anomalías al entrar en funcionamiento. Se condiciona en base al entorno para evaluar el comportamiento según las aplicaciones en las cuales la bomba será sometida.

Para validar éste diseño se recurre a la licencia certificada mediante la empresa FURY COMPANY, la cual está aliada a BKB MAQUINÁRIA representante de SolidWork en el Ecuador.

11. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En este apartado se utilizan los valores obtenidos de las ecuaciones que rigen el funcionamiento de la turbomáquina, así como los resultados obtenidos en mediciones y tablas producto de estudios en banco de pruebas.

11.1 Diseño Hidráulico

Dimensiones del impulsor, así como la modificación de la voluta y el nuevo sistema de funcionamiento de la bomba hidráulica.

Mediante la ecuación 2 se determina y clasifica la turbomáquina como una bomba lenta tanto por la velocidad específica calculada como por la diferencia del diámetro de salida y entrada del impulsor.

Tabla 8: Resultado de la clasificación de las bombas.

Clasificación de las bombas según la velocidad específica	
n_s [rev/min]. Tabla 3.	40 - 80
D2/D1 [coeficiente]	2,2 - 3,5
Denominación	Lenta

Rendimiento total teórico

Se analizan las diferentes ecuaciones para verificar el funcionamiento de la bomba en un sistema, por lo que se tiene valores de rendimiento volumétrico, hidráulico y mecánico para obtener así el equivalente total de la bomba.

Tabla 9: Rendimiento de la bomba.

Rendimientos	Valores (%)
Rendimiento volumétrico (Ec. 3)	0.84
Rendimiento hidráulico (Estimado por autor)	0.80
Rendimiento mecánico (Estimado por autor)	0.92
Rendimiento total	$0.7350 \approx 0.74$

Se obtiene un promedio de rendimiento total equivalente al 74% de acuerdo a las características de la bomba, por lo que en el valor real puede aumentar como disminuir, ya que depende también de las características del sistema y el funcionamiento de la bomba.

Caudal real de la bomba

De acuerdo a la clasificación de suministro de caudal depende el uso, obtenemos una media de 1 litro por segundo para uso doméstico, el mismo que se utiliza en hidroponía y sistema de goteo para un invernadero ver Anexo 2.

Tabla 10: Caudal mínimo para uso de Hidroponía.

Caudal (ver Anexo 2)			
$\frac{l}{seg}$	$\frac{m^3}{s}$	ηh	$Q \frac{m^3}{s}$
1	0,001	0,85	0,00117

Diámetro de entrada y salida

El parámetro de diámetro de entrada y salida se lo obtiene de acuerdo a la modificación de la voluta de la bomba, y adopta la dimensión diseñada con las siguientes medidas:

Tabla 11: Diámetros de entrada y salida del impulsor.

Dimensiones del impulsor	
Diámetro de entrada	Diámetro de Salida
31,75 [mm]	73 [mm]
0,03175 [m]	0,073 [m]

Velocidades radiales

De acuerdo al triángulo de velocidades del impulsor centrífugo como se muestra en la figura 11, se desarrollan una serie de ecuaciones y funciones trigonométricas que rigen el funcionamiento de la turbo máquina, éste triángulo está compuesto por la velocidad tangencial, la velocidad relativa y la velocidad absoluta los cuales son necesarios para obtener el grado de inclinación que tienen los álabes tanto en la entrada como en la salida del impulsor.

Tabla 12: Resultado triángulo de velocidades.

Velocidad	$\left[\frac{m}{s}\right]$
Velocidad tangencial	1,503
Velocidad absoluta	5,735

Ángulo β_1 y β_2

Desarrollando la ecuación 9 obtenemos el ángulo β_1 el cual por recomendación aumenta 3 grados para evitar cavitaciones en caso de caudales mayores. Según el autor Stepanoff el ángulo β_2 tiene un rango de 20 a 35 grados por lo que por disposición de diseño se opta por un valor de 20 grados (Azevedo Netto Miguel Fernandez, 1998).

Tabla 13: Ángulos β_1 y β_2 del impulsor.

Ángulos	Grados
β_1	18
β_2	20

Los ángulos β_1 y β_2 obtenidos mediante la ecuación 9, son importantes al momento de realizar el trazado ya que de éstos dependerá el diseño final del impulsor, están estimados para evitar la cavitación mediante las recomendaciones (Azevedo Netto Miguel Fernandez, 1998).

Número de álabes en el impulsor

El número de álabes se definen por la ecuación 10, la cual está en función de los diámetros de entrada y salida del impulsor así como los ángulos β_1 y β_2 .

El valor del número de álabes mediante la ecuación se aproxima a su inmediato superior par, ya que debe ser simétrico la cantidad de álabes que se encuentran en el impulsor, lo que se obtiene un valor de 6 álabes distribuidos en el plato del impulsor.

Anchura del álabe b_2 a la salida del impulsor

Se toma el valor mínimo recomendado del espesor a la entrada del álabe lo cual es de 3 mm, y se calcula el valor de la anchura del álabe a la salida del impulsor mediante las ecuaciones 11 y 12 de la metodología.

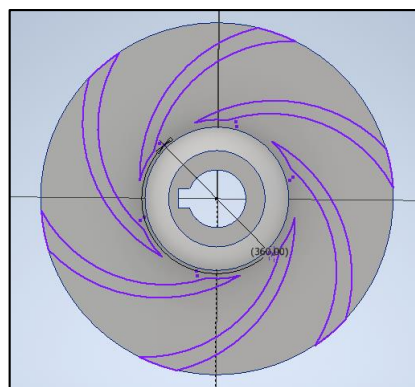
Tabla 14: Definición el ancho del álabe a la salida del impulsor.

Coefficiente k	Anchura b2
0,8472	0,0039 m

Trazado de los álabes

De acuerdo a los valores de los ángulos y el espesor calculado se realiza el diseño con respecto al procedimiento dado, de ésta manera interfiere también el valor del número de álabes siendo simétrico al eje circular. Existen dimensiones que se acoplan al diseño final del impulsor por las características y medidas que tiene la voluta, tomando en cuenta los parámetros que rigen su construcción. El diseño se lo realiza en el Software Inventor de AutoDesk utilizando una licencia de estudiante Ver Anexo 8.

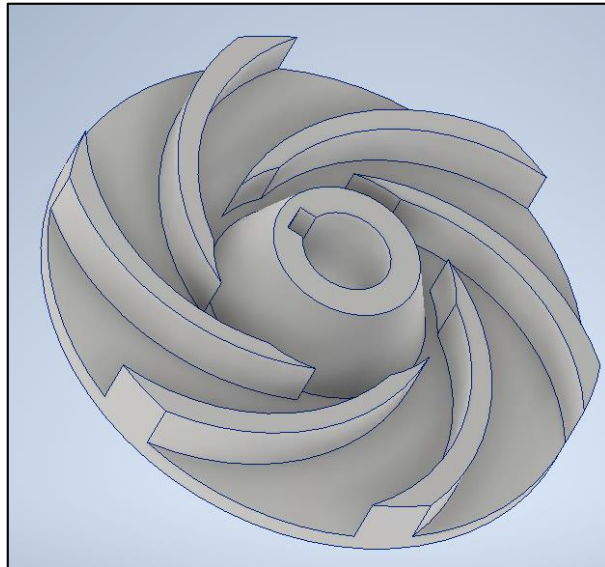
Figura 12: Distribución de los álabes por simetría.



11.2 Diseño Mecánico

El diseño mecánico se lo realiza mediante el Software Inventor de AutoDesk con una licencia de estudiante de ingeniería, el mismo en el que se realiza todo el proceso de diseño del impulsor y el análisis de esfuerzos aplicados simulando la presión ejercida por el motor de la bomba y la el sistema, de acuerdo a los valores obtenidos en la metodología se diseña el álabe del impulsor y se aplica la simetría en conjunto con la herramienta de extrusión para generar la altura de los álabes, existen otros parámetros de diseño como es el sentido cónico que va desde el cubo del eje hasta el diámetro de entrada el cual genera una dirección a las líneas de flujo de agua, algunas características del diseño están basadas en las dimensiones admisibles que existen en la voluta prediseñada por el fabricante ver Anexo 4.

Figura 13: Diseño final Impulsor centrífugo semi abierto.

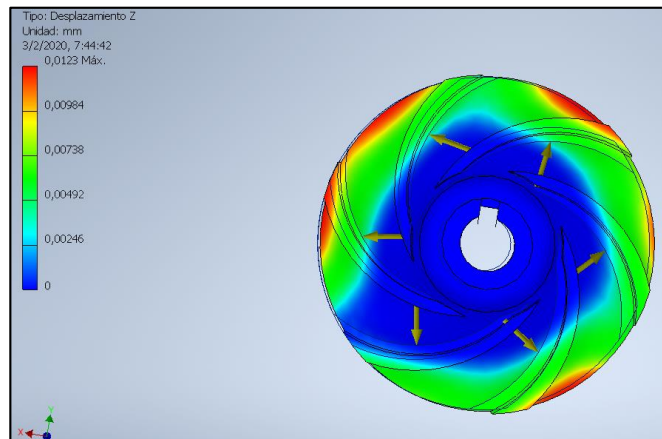


Ciertas características del diseño son parte del aprovechamiento de la fuerza centrífuga, para evitar pérdidas por rozamiento, recirculación, así como problemas que se ocasionan en el sistema por llevar otro principio de funcionamiento como es el empuje axial ver Anexo 9.

Análisis de tensión del impulsor

Se realiza una simulación de fuerzas para verificar las tensiones mínimas y máximas que puede soportar el impulsor semi abierto antes de deformarse o sobrellevar una ruptura de acuerdo al tipo de material mecanizado ver Anexo 10.

Figura 14: Análisis de tensión en el impulsor.



Según la simulación realizada, se tiene que el impulsor tiende a deformarse con un desplazamiento de 0,00984 mm al ser expuesto a una tensión de 81,55 MPa en zonas críticas del impulsor, por el motivo de soportar niveles de presión más elevados a la salida del impulsor.

Fresado de la voluta

Las bombas de torbellino tienen un bajo rendimiento a comparación de las bombas centrífugas, según el catálogo de operaciones de la bomba Paolo PKM 80 dentro de la curva característica de la bomba, se encuentra que no existe un porcentaje de rendimiento dentro del manual, el mismo que no se lo corrige por el hecho de tener un bajo rendimiento hidráulico.

Figura 15: Voluta de la bomba PKM 80.



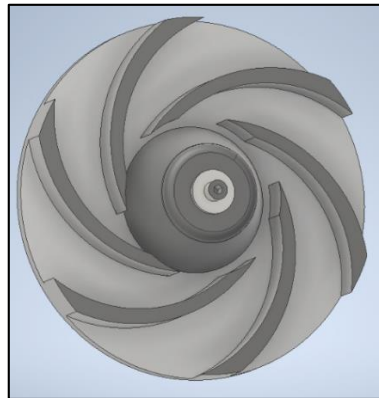
Se realiza un rediseño a la voluta de la bomba de torbellino, en el cual se perfora un orificio en el eje axial de la voluta mediante una fresadora universal robusta Fritz Werner y se toma como diámetro de entrada del impulsor y como succión de la bomba, a su vez se rellena la cavidad de inyección de agua que tiene la voluta de fábrica con soldadura de electrodos de hierro fundido

maquinable, mediante ésta forma se elimina el desvío de flujo, el cual genera cavitación y recirculación del agua, transformando por éste proceso un principio de funcionamiento de una bomba centrífuga autocebante, como parte final del mecanizado de la voluta se realiza un desbastado para crear una base uniforme en la voluta donde será montado el impulsor.

Correcciones de diseño mecánico del impulsor

Una vez diseñado el impulsor, existe un fenómeno llamado empuje axial que se produce por la fuerza que se genera al chocar el flujo de agua contra el impulsor, el cual lo expulsa del eje del motor generando daños a la bomba y un riesgo de atascamiento lo cual produce daños en el bobinado del motor.

Figura 16: Ajuste del impulsor al eje del motor.



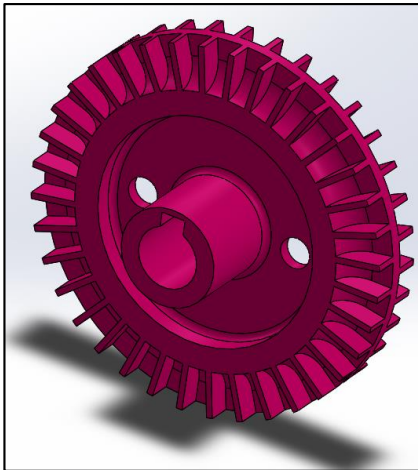
Para esto se utiliza un perno $M5 \times 0,8$ con el cual se sujeta al eje del motor, manteniendo la posición del impulsor, para éste diseño se conserva la forma cónica que va desde el cubo del eje hacia el diámetro de entrada del impulsor.

11.3 Análisis de flujo

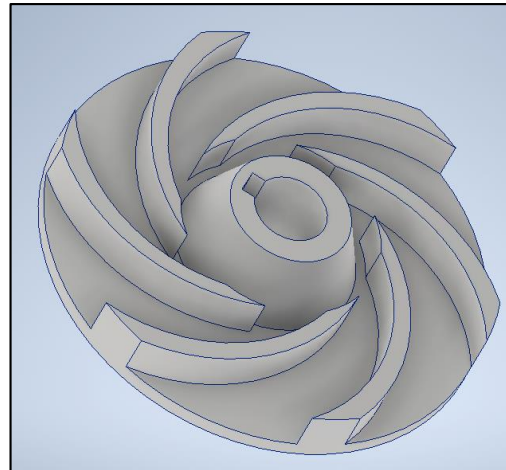
Para realizar el estudio y análisis de flujo se toma en cuenta sus valores principales y se modela el impulsor radial en el software SolidWork diseñado bajo los parámetros y condiciones legales de la empresa FURY COMPANY la cual está asociada a BKB Maquinaria representante de la empresa diseñadora de SolidWork en Ecuador, con la finalidad de identificar los cambios y mejoras realizados en el impulsor y posteriormente en la implementación a la bomba.

El impulsor radial no cumple con las especificaciones dadas por el fabricante por tal motivo no se confían las mediciones propuesta en la curva característica que proviene del manual de operaciones de la bomba Paolo PKM 80, sin embargo, se demuestra que induciendo otro sistema de funcionamiento se obtiene mejores niveles de presión en el sistema.

Figura 17: a) Impulsor radial de la bomba PKM 80.

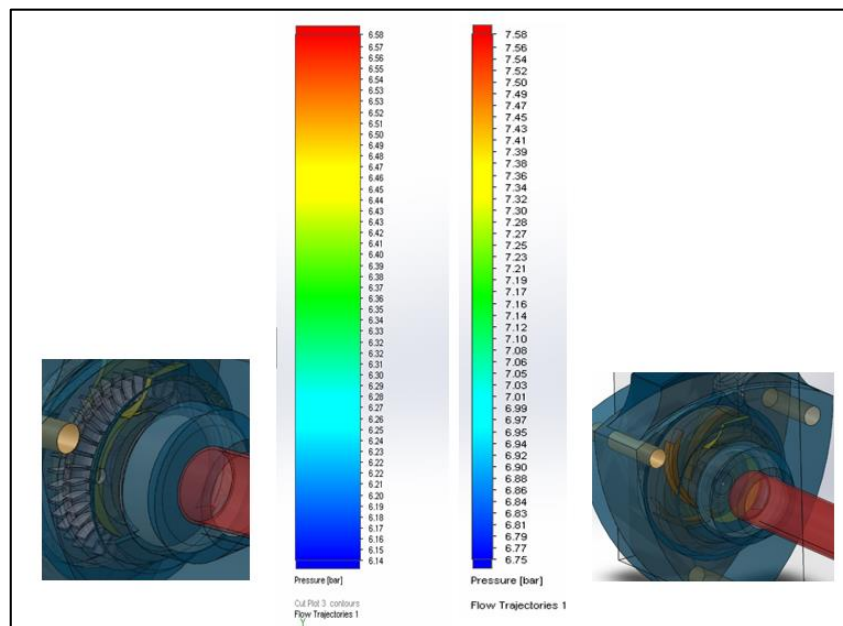


b) Impulsor semiabierto de la bomba.



El diseño del impulsor semiabierto se valida con los cálculos realizados en donde se concluye al obtener las dimensiones adecuadas para la instalación en la bomba. Éste modelo adopta características de una bomba centrífuga, por lo que al modificar la voluta de la bomba Paolo PKM 80 se altera el principio de funcionamiento, tomando como referencia que la entrada de succión tiene una pulgada de diámetro, por lo tanto, se maneja mayor nivel de presión, a diferencia del impulsor radial que tiene una inyección de flujo a los radios del impulsor el cual opera con menores niveles de flujo en las cavidades de las paletas del impulsor.

Figura 18: Diferencia de presiones de acuerdo al diseño del impulsor.



Según muestra la gráfica existe una diferencia de los niveles de presión que se pueden manejar dependiendo el principio de funcionamiento de la bomba y el diseño del impulsor, corrigiendo

de ésta manera también los problemas de recirculación del flujo de agua y problemas de cavitación producidas por los torbellinos que genera la bomba PKM 80, para verificar las líneas de flujo ver Anexo 11 y Anexo 12.

Registro de la altura teórica de la bomba

Los valores obtenidos que definen la altura máxima del sistema son con las condiciones ideales de la bomba y el sistema, sin contar las pérdidas de ningún tipo.

Altura teórica con un número infinito de alabes

Para obtener la altura teórica de acuerdo a los parámetros nominales del sistema se utiliza la ecuación 13, la cual se utilizan parámetros como son el caudal requerido, la velocidad angular, el ángulo β_2 , anteriormente obtenidos. En éste parámetro se evidencia que los datos de catálogo están erróneos, ya que utilizando los valores nominales se tiene una altura teórica a diferentes niveles de caudal.

Tabla 15: Definición $H_{t\infty}$ para los valores nominales.

Altura [m]	66	60	50	45	40	35	30	20	15	10	5	0
Caudal [$\frac{m^3}{s}$]	0	9	18	23	27	30	34	39	42	45	47	48
Altura teórica $H_{t\infty}$ [m]	17,7	16,7	15,8	15,2	14,8	14,4	13,99	13,4	13,1	12,8	12,6	12,5

Se obtiene la altura teórica para un número infinito de álabes y mediante el coeficiente de influencia se determina la altura teórica utilizando los seis álabes que se dispone en la distribución simétrica dentro del impulsor. Ésta altura obtenida es correspondiente a los metros columna de agua derivados por el caudal adquirido por el manual de operaciones, mediante por el cual se obtiene una altura máxima de 17,73 metros para parámetros de diseño ideal.

Altura teórica con un número finito de álabes

Los valores obtenidos en H_{tz} son la altura de elevación máxima que tendrá el sistema con un número finito de álabes, para el diseño se ocupan seis álabes, los mismos que están distribuidos en el impulsor simétricamente.

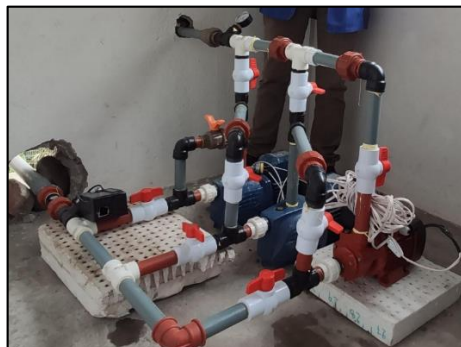
Tabla 16: Definición H_{tz} de acuerdo a los valores calculados.

$H_{t\infty}$ [m]	Velocidad angular	H_{tz} [m]
17,73	ω	13,11
16,74	361,28	12,38
15,75	Radio 2	11,65
15,20	0,0365	11,24
14,76	β_2	10,92
14,43	20	10,67
13,99	Radio 1	10,35
13,44	0,0159	9,94
13,11	Coficiente	9,70
12,78	0,7398	9,46
12,56		9,29
12,45		9,21

Para la obtención del coeficiente que determina la relación que tiene la altura teórica con un número infinito de álabes se utilizan las medidas del diámetro de entrada y salida del impulsor, obteniendo el coeficiente de 0,7398 mediante la ecuación 14 de la metodología, el mismo por el cual se obtiene una altura máxima de 13,11 metros, suponiendo que el sistema tiene características ideales en la instalación por lo que la medida manométrica tiene que ser menor.

Banco de Pruebas.

Se realizan las mediciones del sistema en un banco de pruebas diseñado dentro del proyecto “Invernadero inteligente con autonomía energética para el estudio experimental de cultivos” ubicado en la provincia de Cotopaxi, ciudad Latacunga, dentro de la Universidad Técnica de Cotopaxi, extensión Salache.

Figura 19: Banco de Pruebas.

El nivel de caudal obtenido depende de los tanques que suministran el agua, los mismos que tienen una capacidad de 1000 litros, según la parte experimental están con una capacidad de 250 litros lo cual corresponde a la cuarta parte del tanque, obteniendo una medición máxima de $45,14 \frac{l}{min}$.

Curva Característica de la bomba

Se realizan las mediciones en el banco de pruebas para obtener los valores de caudal y altura manométricas, para esto se utiliza un sensor de flujo de agua de caudal FS400a con una capacidad de medición de $60 \left(\frac{l}{min}\right)$ para aplicación de Arduino ver Anexo 13. Para medir la altura se utiliza un manómetro de presión de agua en la parte de la descarga de la bomba y un vacuómetro para relacionar cuanto cae la presión en el sistema.

Tabla 17: Dimensiones de caudal, presión y altura obtenidos por medición.

Q [$\frac{m^3}{s}$]	P [psi]	Hb [m]
0	17,88	12,58
1,43	16,77	11,8
6,29	15,74	11,08
10,57	15,16	10,67
12,86	14,64	10,3
18,29	14	9,85
23,71	11,99	8,44
27,14	10,39	7,31
35,14	6,42	4,52
42,57	2,28	1,61
44,29	1,19	0,84
45,14	0	0

De acuerdo a los valores obtenidos en el banco de pruebas, se obtiene una altura máxima de $45,14 \frac{l}{min}$, cuando la válvula está abierta en un 100 % , y obteniendo una presión de 17,88 psi cuando la válvula está totalmente cerrada, para transformar el valor de presión se hace la conversión a metros columna de agua.

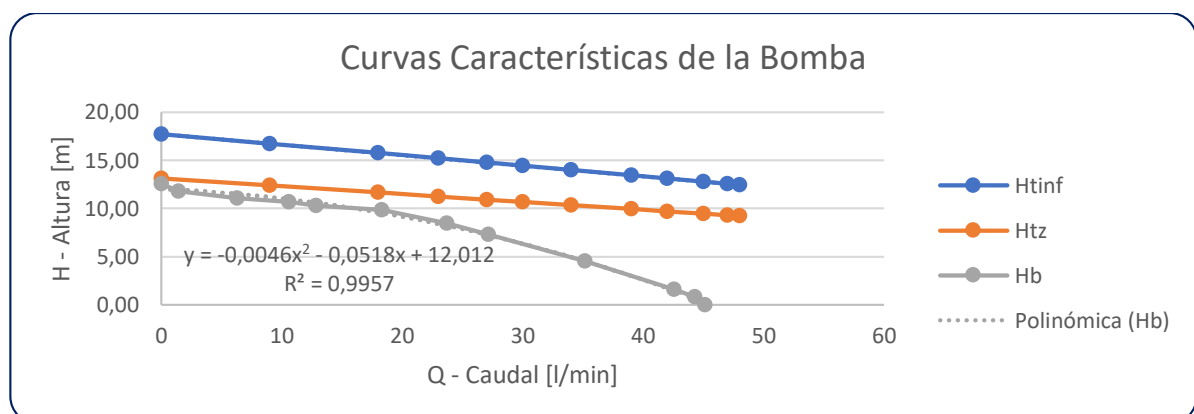
Se tabulan los resultados de las mediciones, así como los valores obtenidos mediante la metodología de cálculo, los cuales serán base para determinar la curva característica de la bomba, el cual define la capacidad máxima a diferentes niveles de altura.

Tabla 18: Resultados metodológicos en relación al impulsor semiabierto.

$Q [\frac{l}{min}]$	$Q [\frac{m^3}{s}]$	$P [psi]$	$H_b [m]$	$H_{t_z} [m]$	$H_{t_{\infty}} [m]$
0	0,00000	17,88	12,58	13,11	17,73
1,43	0,00002	16,77	11,8	12,38	16,74
6,29	0,00010	15,74	11,08	11,65	15,75
10,57	0,00018	15,16	10,67	11,24	15,20
12,86	0,00021	14,64	10,3	10,92	14,76
18,29	0,00030	14	9,85	10,67	14,43
23,71	0,00040	11,99	8,44	10,35	13,99
27,14	0,00045	10,39	7,31	9,94	13,44
35,14	0,00059	6,42	4,52	9,70	13,11
42,57	0,00071	2,28	1,61	9,46	12,78
44,29	0,00074	1,19	0,84	9,29	12,56
45,14	0,00075	0	0	9,21	12,45

Una vez determinados los valores máximos y mínimos del sistema de acuerdo a los parámetros de la instalación y el principio de funcionamiento en función a la fuerza centrífuga se genera la curva característica de la bomba, relacionando las alturas teóricas, el caudal y la presión resultados del banco de pruebas para representar la altura impulsada a diferentes caudales a una misma velocidad de giro. Se tiene en cuenta que las características geométricas del impulsor son las que definen la curva caudal-altura de una bomba centrífuga.

Figura 20: Curva característica de la bomba con el impulsor centrífugo.



La curva característica obtenida en el sistema está por debajo del nivel de la altura teórica con un número finito de álabes por lo que no se comprenden las pérdidas de la instalación, por lo tanto, se validan los datos producto de la medición del caudal y la altura puesto que éstos comprenden pérdidas y están por debajo de un campo ideal.

Una vez realizada la relación se grafica el rendimiento hidráulico en función del caudal medido por el flujometro del sistema.

Comprobación Regresión Polinómica

Para comprobar la ecuación generada mediante la tabla de Caudal-Altura, se utiliza el método de regresión polinómica para tres variables utilizando los valores medidos, El objetivo del análisis de regresión es modelar el valor esperado de una variable dependiente y en términos del valor de una variable independiente.

Tabla 19: Análisis de regresión polinómica.

Q	H	X2	x3	X4	X · Y	X ² · Y
0,00	12,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,43	11,80	2,04	2,92	4,18	16,87	24,13
6,29	11,08	39,56	248,86	1565,32	69,69	438,37
10,57	10,67	111,72	1180,93	12482,45	112,78	1192,10
12,86	10,30	165,38	2126,78	27350,41	132,46	1703,41
18,29	9,85	334,52	6118,45	111906,37	180,16	3295,06
23,71	8,44	562,16	13328,91	316028,48	200,11	4744,67
27,14	7,31	736,58	19990,77	542549,51	198,39	5384,40
35,14	4,52	1234,82	43391,56	1524779,44	158,83	5581,38
42,57	1,61	1812,20	77145,56	3284086,60	68,54	2917,65
44,29	0,84	1961,60	86879,45	3847890,65	37,20	1647,75
45,14	0,00	2037,62	91978,15	4151893,63	0,00	0,00
267,43	89,00	8998,23	342392,34	13820537,04	1175,04	26928,92

Para lo cual se genera el siguiente sistema de ecuaciones utilizando la sumatoria de cada variable y la cantidad de números en el conjunto.

Tabla 20: Sistema de ecuaciones de 3er nivel generado.

12	a0	+	267,43	a1	+	8998,2295	a2	=	89
267,43	a0	+	8998,2295	a1	+	342392,341	a2	=	1175,0435
8998,2295	a0	+	342392,341	a1	+	13820537	a2	=	26928,9208

Utilizando el método de Gauss Jordan mediante un simulador se resuelve el sistema de ecuaciones de 3er grado, generando los siguientes resultados.

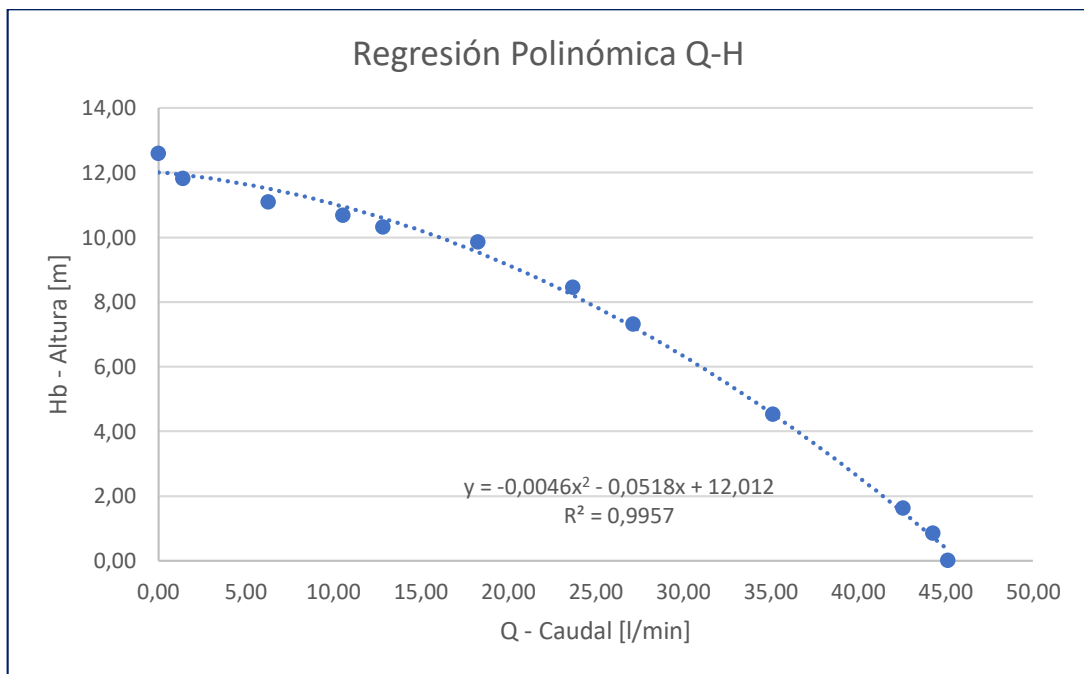
Tabla 21: Ecuación de segundo nivel generada.

a0	12,0123288
a1	-0,05181419
a2	-0,00458882

Se genera la ecuación que rige la curvatura de la bomba con respecto a la altura y el caudal, eliminando los errores en la medición como método de ajuste de acuerdo a la naturaleza del problema.

$$-0,0045X^2 - 0,05X + 12,01 = 0$$

Figura 21: Gráfica de regresión polinomial de acuerdo al Caudal y Altura.

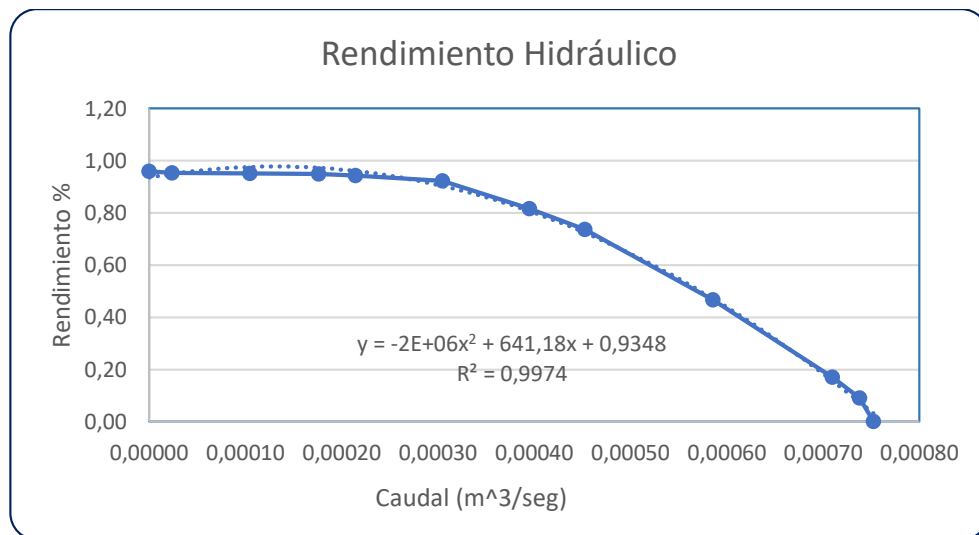


11.4 Rendimiento hidráulico

De acuerdo a los valores medidos y calculados se obtiene al rendimiento hidráulico real de la bomba realizando una relación entre H_{tz} y H_b utilizando la ecuación 16, el cual relaciona los valores teóricos y manométricos del sistema en funcionamiento.

Tabla 22: Rendimiento Hidráulico.

Ht_z [m]	Q [$\frac{l}{min}$]	H [m]	η_h
13,11	0	12,58	0,96
12,38	1,43	11,8	0,95
11,65	6,29	11,08	0,95
11,24	10,57	10,67	0,95
10,92	12,86	10,3	0,94
10,67	18,29	9,85	0,92
10,35	23,71	8,44	0,82
9,94	27,14	7,31	0,74
9,70	35,14	4,52	0,47
9,46	42,57	1,61	0,17
9,29	44,29	0,84	0,09
9,21	45,14	0	0,00

Figura 22: Rendimiento Hidráulico.

Se relaciona el caudal en función del rendimiento hidráulico para analizar los puntos en donde el rendimiento se mantiene estable por encima del 0,80 % , por lo que al tener un caudal máximo de $0,00075 \frac{m^3}{s}$ el rendimiento baja.

11.5 Comprobación de hipótesis

El diseño del impulsor centrífugo radial semi abierto al utilizar el nuevo principio de funcionamiento de la bomba Paolo PKM 80 genera un rendimiento hidráulico del 0,96 % el cual se encuentra como parámetro máximo de una bomba centrífuga. Mediante la simulación ver Anexo 11 y Anexo 12 se obtienen los siguientes resultados.

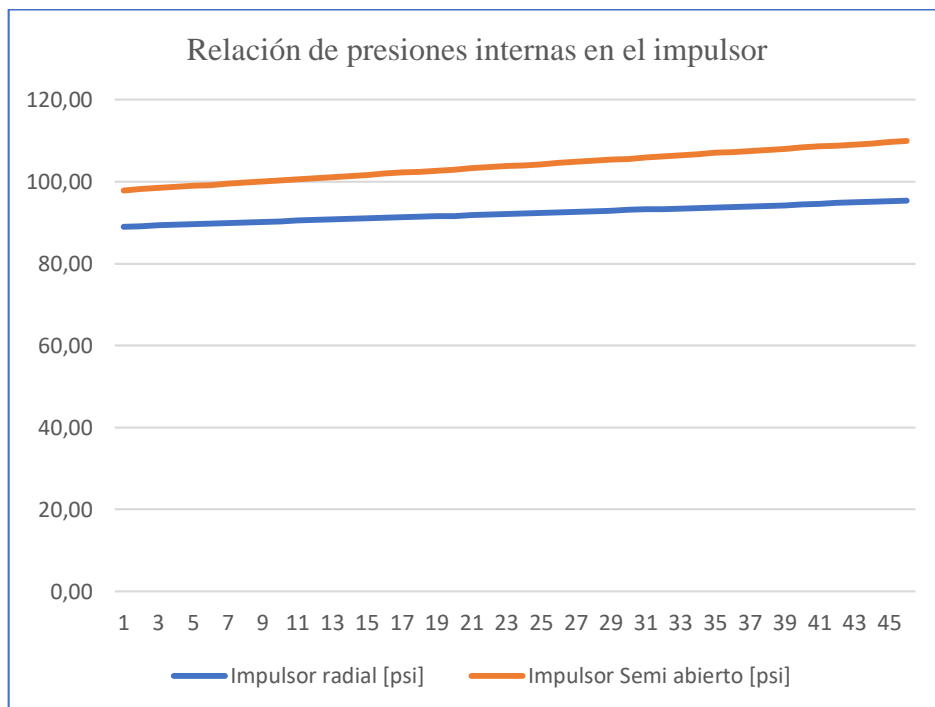
Tabla 23. Valores de presiones internas simulado con respecto al impulsor.

Presión	Impulsor radial	Impulsor Semi abierto	Impulsor radial	Impulsor Semi abierto	Impulsor radial	Impulsor Semi abierto
#	[bar]	[bar]	[psi]	[psi]	[KPa]	[Kpa]
1	6,14	6,75	89,05	97,90	614	675
2	6,15	6,77	89,20	98,19	615	677
3	6,16	6,79	89,34	98,48	616	679
4	6,17	6,81	89,49	98,77	617	681
5	6,18	6,83	89,63	99,06	618	683
6	6,19	6,84	89,78	99,21	619	684
7	6,2	6,86	89,92	99,50	620	686
8	6,21	6,88	90,07	99,79	621	688
9	6,22	6,9	90,21	100,08	622	690
10	6,23	6,92	90,36	100,37	623	692
11	6,24	6,94	90,50	100,66	624	694
12	6,25	6,95	90,65	100,80	625	695
13	6,26	6,97	90,79	101,09	626	697
14	6,27	6,99	90,94	101,38	627	699
15	6,28	7,01	91,08	101,67	628	701
16	6,29	7,03	91,23	101,96	629	703
17	6,3	7,05	91,37	102,25	630	705
18	6,31	7,06	91,52	102,40	631	706
19	6,32	7,08	91,66	102,69	632	708
20	6,32	7,1	91,66	102,98	632	710
21	6,33	7,12	91,81	103,27	633	712
22	6,34	7,14	91,95	103,56	634	714
23	6,35	7,16	92,10	103,85	635	716
24	6,36	7,17	92,24	103,99	636	717
25	6,37	7,19	92,39	104,28	637	719
26	6,38	7,21	92,53	104,57	638	721
27	6,39	7,23	92,68	104,86	639	723
28	6,4	7,25	92,82	105,15	640	725
29	6,41	7,27	92,97	105,44	641	727
30	6,42	7,28	93,11	105,59	642	728
31	6,43	7,3	93,26	105,88	643	730
32	6,43	7,32	93,26	106,17	643	732
33	6,44	7,34	93,40	106,46	644	734
34	6,45	7,36	93,55	106,75	645	736
35	6,46	7,38	93,69	107,04	646	738
36	6,47	7,39	93,84	107,18	647	739
37	6,48	7,41	93,98	107,47	648	741
38	6,49	7,43	94,13	107,76	649	743
39	6,5	7,45	94,27	108,05	650	745
40	6,51	7,47	94,42	108,34	651	747
41	6,52	7,49	94,56	108,63	652	749
42	6,54	7,5	94,85	108,78	654	750
43	6,55	7,52	95,00	109,07	655	752
44	6,56	7,54	95,14	109,36	656	754
45	6,57	7,56	95,29	109,65	657	756

Éstos valores son obtenidos mediante la simulación ver Anexo 11 y 12, en el cual se describe las presiones internas que se producen dentro de la bomba producido por el impulsor radial y el impulsor semi abierto.

Se compara las presiones internas producidas en la bomba en psi, por lo que el impulsor semi abierto describe mejores niveles, eliminando de ésta forma los problemas de cavitación al momento que el flujo abandone el impulsor.

Figura 23. Comparación de presiones internas producidas por el impulsor.



De acuerdo a las presiones obtenidas mediante la simulación se disminuye el problema de las corrientes de arrastre, producido por el principio de funcionamiento de la bomba de torbellino aplicado a un impulsor radial, ya que al aumentar la presión interna de la bomba se reduce los problemas de cavitación provocados por los torbellinos que se encuentran entre las paletas del impulsor.

Para realizar la prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales se utilizan los valores de caudal dentro de la parte experimental del proyecto en donde se relaciona la bomba PKM 80 con un banco de pruebas en condiciones estándar ver Anexo 14.

Tabla 24. Valores de caudal obtenidos en la parte experimental.

Impulsor Radial	Impulsor Semiabierto
Q [L/min]	Q [L/min]
0	0
0,69	1,43
4,00	6,29
6,24	10,57
10,51	12,86
13,92	18,29
22,19	23,71
23,71	27,14
26,67	35,14
29,14	42,57
31,62	44,29
32,16	45,14

Los valores obtenidos en la medición de la variable caudal, se relacionan mediante el método de la prueba de t para verificar si la diferencia es significativa entre las observaciones obtenidas.

Tabla 25. Resumen de la prueba t de dos muestras emparejadas.

	Impulsor Radial	Impulsor Semiabierto
Media	16,74	22,29
Varianza	149,73	276,21
Observaciones	12	12
Coefficiente de correlación de Pearson	0,99	
Diferencia hipotética de las medias	0,00	
Grados de libertad	11	
Estadístico t	-3,84	
P(T<=t) una cola	0,0014	
Valor crítico de t (una cola)	1,80	
P(T<=t) dos colas	0,0027	
Valor crítico de t (dos colas)	2,20	

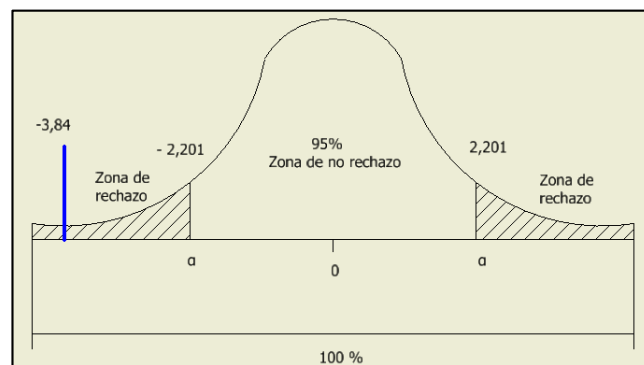
Primero se define la hipótesis nula el cual se estima que, utilizando un nuevo principio de funcionamiento para la bomba de torbellino, mediante el diseño de un impulsor centrífugo radial semi abierto, no se disminuirá las corrientes de arrastre y recirculación del agua, afectando directamente al rendimiento hidráulico.

Para esto se formula la hipótesis nula (H_0) en donde si no disminuye la corriente de arrastre y recirculación, el rendimiento hidráulico es menor; así como la hipótesis alternativa (H_1) indica que si se disminuye la corriente de arrastre y recirculación el rendimiento hidráulico es diferente

que el sistema de la bomba PKM 80, la hipótesis alternativa demuestra que se trata de una prueba de dos colas, para el valor de t estadístico, de acuerdo a las observaciones por grupo propuestas.

Se considera el valor crítico de t (dos colas), se verifica la hipótesis un nivel de confianza de un 95% en los valores dados, y se determina si existe una significancia dentro de los valores obtenidos y los tabulados para determinar la zona en la que se encuentra la hipótesis.

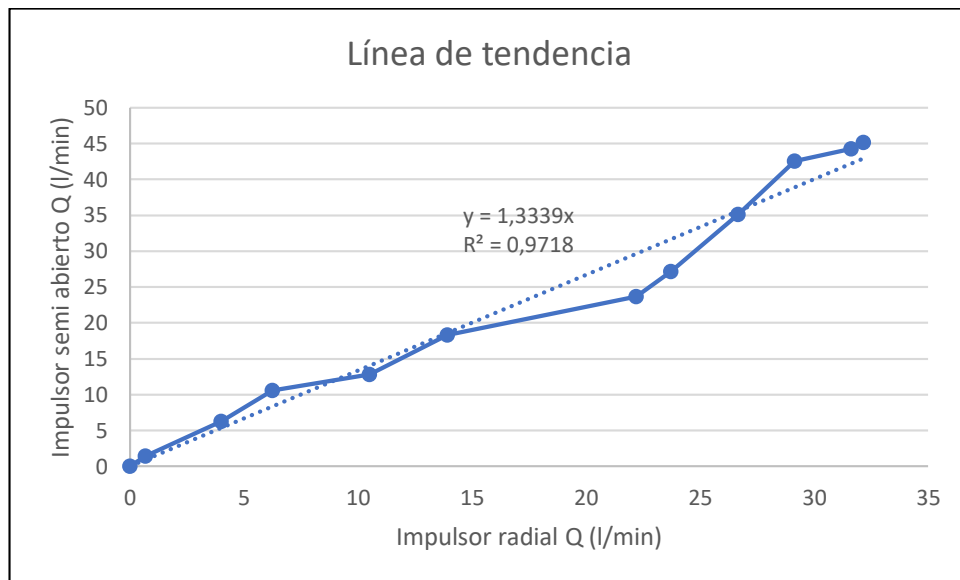
Figura 24. Determinación gráfica de la zona de rechazo.



Mediante el análisis del gráfico propuesto se verifica que el valor crítico t de student obtenido en base a los datos de caudal en función a la experimentación con las bombas, el uso del impulsor radial semi abierto da un valor t de $-3,84$, con esto se compara el valor del estadístico muestral estandarizado con los valores críticos tabulados para un nivel de confianza de 95 % y un grado de libertad de 11 según el Anexo 15.

En éste caso se rechaza la hipótesis nula, ya que el valor del estadístico muestral estandarizado se encuentra dentro de la región de rechazo de la hipótesis nula [H_0] y se concluye que, utilizando un nuevo principio de funcionamiento para la bomba de torbellino, mediante el diseño de un impulsor centrífugo radial semiabierto, se disminuirá las corrientes de arrastre y recirculación del agua, por lo que aumenta el rendimiento hidráulico de la bomba.

Otro tipo de comprobación de la hipótesis que se le aplicó a los resultados obtenidos es verificar si existe significancia entre los valores medidos con el impulsor radial y los valores obtenidos con el diseño del nuevo principio de funcionamiento con respecto al impulsor semi abierto, se utiliza una regresión lineal entre los datos de la tabla 23, para obtener el coeficiente de determinación R-cuadrado, y verificar si existe una relación entre los grupos, por lo que éste valor oscila entre 0 y 1, y se define que mientras más cerca del valor 1 se sitúe, el modelo ajustado será más fiable.

Figura 25. Regresión lineal de la variable Caudal.

Según la línea generada por la regresión lineal y el comportamiento que tienen al relacionarse con los valores de caudal, el R-cuadrado se encuentra cercano al valor 1, por lo que es fiable usar un impulsor semi abierto para generar caudal, también se están relaciona el eje Y que comprende el impulsor semi abierto con respecto al eje X que concierne el impulsor radial, por lo que el valor de Y es un 33,39 % mayor a los valores de Caudal medidos con el impulsor radial.

12. IMPACTOS DE LA INVESTIGACIÓN

Impacto técnico

La tecnología en la actualidad ha desarrollado diferentes métodos que se pueden utilizar dentro del proceso de ingeniería, en los cuales se basan los diseños mecánicos adaptando una precisión geométrica al momento de crearlos. De acuerdo al proyecto de investigación realizado se utiliza diferentes ecuaciones que rigen el funcionamiento de la turbo máquina obteniendo variables en el proceso, los cuales mediante Softwares son ensamblados, simulados y programados con la finalidad de obtener un producto de calidad al momento de su producción.

Al ensamblar el impulsor semi abierto en la bomba Paolo PKM 80 y reemplazar el principio de funcionamiento de fuerza centrífuga se obtiene resultados positivos en la medición de las variables hidráulicas con respecto al impulsor estándar de la bomba.

Impacto Ambiental

En la operación de las bombas centrífugas, la cavitación genera un mayor efecto de vibraciones y ruidos, lo que es molesto para el oído humano, sin embargo, estos ruidos no sobrepasan el número de decibeles que resiste una persona.

Para la medición de los decibeles interno y externo al cuarto de máquinas se utiliza un Sonómetro de Marca EXTECH modelo 407730 solicitado a la carrera de Ingeniería Industrial en la Universidad Técnica de Cotopaxi. El mismo con el cual se obtiene los siguientes valores:

Tabla 26: Mediciones de los decibeles al exterior del cuarto de máquinas.

# medida	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15
dB	45,4	45,2	45,3	44,9	44,5	44,9	46,1	47	42,4	41,4	45,4	43,6	46,4	46,7

Según el Distrito Metropolitano de Quito los niveles máximos de emisión para fuentes fijas de ruido de acuerdo a la zona IV los niveles sonoros dB (A) están entre 60dB en horas de 07h00 a 22h00 y 50dB en horas de 22h00 a 07h00 lo cual están dentro de los rangos admisibles al exterior del cuarto de máquinas.

Tabla 27: Mediciones de los decibeles al interior del cuarto de máquinas.

# medida	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15
dB	66	65,6	65,7	74,2	70,5	69,3	66,7	73,9	66,2	74,2	67,1	68,1	66,6	73,5

Los procesos industriales y máquinas, que produzcan niveles de ruido de 85 decibeles A o mayores determinados en el ambiente de trabajo, deberán ser aislados adecuadamente, a fin de prevenir la transmisión de vibraciones hacia el exterior del local. Por lo cual se realizan las respectivas medidas y estudio de la zona de instalación ver Anexo 16.

Impacto Económico

Se estima las horas de uso al día, mensual, anual para un tiempo de vida útil de cinco años en el cual se realiza el VAN y TIR para verificar si el proyecto es rentable en cuanto a la producción del impulsor, tomando en cuenta los precios de construcción, diseño, modelado y obteniendo el valor rentable para la venta del producto y verificando con el porcentaje de la tasa de interés actual para generar ganancias en el proyecto.

13. PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO

La determinación del presupuesto para validar el proyecto de acuerdo al VAN y TIR por lo que se realizan los cuadros de valores para costos fijos dentro del proyecto de investigación, así

mismo se toma en cuenta los costos variables para obtener un costo del producto total en función a las horas día de trabajo de la bomba, se realiza con una base de mil piezas anuales para la venta, teniendo en cuenta la inflación anual, la tasa de crecimiento de la población, el riesgo país, es necesario verificar que el proyecto sea auto sostenible y genere ganancias en función de los períodos propuestos.

Tabla 28: Costos fijos del proyecto de investigación.

COSTOS FIJOS									
TIPO DE COSTO	PRODUCTO DETALLE	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	VIDA ÚTIL	TIEMPO	VALOR ANUAL DE DEPRECIACIÓN	VALOR MENSUAL DE DEPRECIACIÓN
Detalle: Materiales									
CF	Dura Aluminio 6061 (3"x25mm)	1	Unidad	\$ 13,00	\$ 13,00	5	Año	\$ 2,60	\$ 0,22
CF	Buril de Tungsteno (4mm)	1	Unidad	\$ 14,00	\$ 14,00	1	Año	\$ 14,00	\$ 1,17
CF	Electrodos de hierro fundido maquinables	1	Unidad	\$ 3,00	\$ 3,00	0,0027397	Año	\$ 0,00091	\$ 0,000076
CF	Tornillo M5 x 8	1	Unidad	\$ 0,10	\$ 0,10	10	Año	\$ 0,01	\$ 0,00083
CF	Escariador de carburo sólido (2mm)	1	Unidad	\$ 4,00	\$ 4,00	1	Año	\$ 4,00	\$ 0,33
TOTAL					34,1			20,61091324	1,72
Detalle: Servicio de Mecanizado									
CF	Fresadora CNC Fadal 3016	1	Unidad	\$ 30,00	30	1	Año	30,00	2,50
CF	Fresadora Universal robusta Fritz Werner	1	Unidad	\$ 10,00	10	1	Año	10	0,83
CF	Torno Automático	1	Unidad	\$ 5,00	5	1	Año	5	0,42
TOTAL					45			45	3,75
					79,1			65,61	5,47

Los costos fijos en el proceso de investigación y para la producción del impulsor semiabierto componen todos los elementos necesarios que se requiere para la creación final del impulsor, dentro de estos están los materiales para la construcción, elementos de las máquinas, y corrección del diseño.

Tabla 29: Costos variables del proyecto de investigación.

COSTOS VARIABLES									
TIPO DE COSTO	PRODUCTO DETALLE	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	VIDA ÚTIL	TIEMPO	VALOR ANUAL DE DEPRECIACIÓN	VALOR MENSUAL DE DEPRECIACIÓN
Detalle: Materiales									
CV	Rollo de plástico de alta dureza PLA	1	Unidad	\$ 8,00	\$ 8,00	0,03	Mes		\$ 0,0038
Detalle: Programación									
CV	Programación digital del diseño (Inventor)	1	Unidad	\$ 10,00	\$ 10,00	0,03	Mes		\$ 0,0030
CV	RINO CEROS (Programación CNC)	1	Unidad	\$ 10,00	\$ 10,00	0,03	Mes		\$ 0,0030
CV	Impresora 3D	1	Unidad	\$ 15,00	\$ 15,00	0,03	Mes		\$ 0,0020
Detalle: Programación									
CV	Bomba PKM 80	1	Unidad	\$ 140,00	\$ 140,00	0,05	Mes		\$ 0,0004
TOTAL					183,00			TOTAL	0,0098

La bomba Paolo PKM 80 se encuentra como un costo variable ya que por procesos de investigación se la adquiere, es un costo que se representa una sola vez en toda la producción por motivos de investigación. El diseño y simulación también se encuentra dentro de estas variables ya que se representan una vez en línea de producción.

Para verificar los sueldos y salarios de los integrantes de la empresa se empieza con el valor del salario básico unificado, y determina el monto total al año.

Tabla 30: Sueldos y Salarios.

Cargo	Sueldo	IESS		13°	14°	Vacaciones	Total a recibir mensual	Total Anual
		9,45%	11,15%					
Administrador	\$ 400,00	37,80	44,60	\$ 33,33	33,33	16,67	\$ 490,13	\$ 5.881,60
Socio	\$ 400,00	37,8	44,60	\$ 33,33	33,33	16,67	\$ 490,13	\$ 5.881,60
		75,6	89,2			TOTAL	\$ 980,27	\$ 11.763,20

Obteniendo el valor total que recibe una persona natural al mes se obtiene el costo hora trabajador para un salario básico unificado.

Tabla 31: Salario administrador y socio.

Administrador		Socio	
Mensual	\$ 490,13	Mensual	\$ 490,13
Semanal	\$ 122,53	Semanal	\$ 122,53
Diario	\$ 24,51	Diario	\$ 24,51
Hora	\$ 3,06	Hora	\$ 3,06

De acuerdo a las necesidades se estima las horas de trabajo en los diferentes plazos de tiempo que representan la vida útil de la bomba y del impulsor.

Tabla 32: Costo unitario por producto.

Referencia	Valor [\$]
Costo de fabricación	79,10
Mano de Obra (8 horas)	24,51
Subtotal	103,61
Ganancia (15%)	15,54
Marketing (5%)	5,18
Precio Unitario	124,33

De acuerdo a una cierta cantidad de piezas se genera el valor unitario tomando en cuenta el costo de elaboración, por lo que no se generan pérdidas.

El valor de inflación anual se lo toma de finales del 2019 por el motivo que para fechas de elaboración del proyecto de investigación aún el porcentaje de inflación del presente año es una estimación.

Tabla 33: Datos de acuerdo al país de elaboración del producto.

Inflación Anual 2019	-0,07%
Tasa de Crecimiento Poblacional	1,56%
Salario Básico Unificado	400
Tasa de Interés Pasiva	6,22%
Tasa de Interés Activa	8,68%
Riesgo País	10,01%
TMAR	19,42%
Precio	\$ 124,33
Cantidad	1

Al desarrollar el precio unitario de acuerdo con estos parámetros se genera un punto de equilibrio en el precio del producto el cual está vigente a cambios de la inflación.

Tabla 34: Precio en función del tiempo.

Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
\$ 124,33	\$ 126,27	\$ 128,24	\$ 130,24	\$ 132,27

Tabla 35: Cantidad en función del tiempo.

Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
1000,00	1015,60	1031,44	1047,53	1063,88

Con la tabla 34 y tabla 35, se genera un proceso de cambio en donde cada año el precio y la cantidad de producto que se debe generar para permanecer sostenible aumenta.

Tabla 36: Flujo Efectivo para determinar el VAN Y TIR.

FLUJO DE EFECTIVO						
	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
VENTAS (+)		\$ 124.328	\$ 128.237	\$ 132.270	\$ 136.428	\$ 140.718
GASTOS (-)						
SUELDOS Y SALARIOS		\$ 11.763,20	\$ 12.138,45	\$ 12.525,66	\$ 12.925,23	\$ 13.337,55
DEPRECIACIÓN		\$ 79,10	\$ 79,10	\$ 79,10	\$ 79,10	\$ 79,10
UTILIDAD VENTA BRUTA		\$ 112.486	\$ 116.020	\$ 119.665	\$ 123.424	\$ 127.302
14% IMPUESTOS A LA RENTA		(\$ 15.748)	(\$ 16.243)	(\$ 16.753)	(\$ 17.279)	(\$ 17.822)
UTILIDAD DESPUÉS DE IMPUESTOS		\$ 96.738	\$ 99.777	\$ 102.912	\$ 106.145	\$ 109.479
FLUJO DE EFECTIVO	\$ 800,00	\$ 128,10	(\$ 192,15)	(\$ 288,23)	(\$ 432,34)	(\$ 648,51)

De acuerdo al flujo efectivo en función a los próximos 5 años teniendo una inversión de 800 dólares es rentable tanto para el productor como para el inversionista por lo que el VAN está por encima del cero absoluto y se tiene una tasa de interés mayor a la que ofrece un establecimiento financiero.

Tabla 37: Resumen de la determinación del VAN y TIR.

VAN	(\$ 676,29)	\$ 96.061,41
TIR	14,76%	\$ 118,09
Ganancia del Inversionista (Anual)		\$ 918,09
Referencia	Valor	
Precio por cantidad		\$ 150000
Depreciación		\$ 128100
Ganancia bruta		\$ 21900
Iva 14%		\$ 3066
Ganancia neta		\$ 18834
Valor por pieza		\$ 19

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Se identifica la necesidad principal cubriendo el problema de acuerdo al bajo rendimiento que posee la bomba PKM 80 y los problemas de recirculación y cavitación, por lo que se plantea un nuevo principio de funcionamiento en base a la bomba centrífuga, se selecciona el tipo de impulsor semiabierto por las características que presenta, de tal manera que cumpla con las condiciones del sistema y de la bomba.
2. Dentro de las especificaciones técnicas reales expuestas por el fabricante de la bomba se adquiere valores que no son confiables ya que presenta determinados errores en los datos de placa y en su manual de operación para bombas de agua ya que la curva característica que platea la empresa tiene una altura de 66m lo cual es una información alterada, por lo que se ha realizado una investigación de acuerdo a los parámetros ideales de trabajo de la bomba al diseñar un nuevo principio de funcionamiento, utilizando la fuerza centrífuga y eliminando problemas hidráulicos presentes en el sistema, para esto se utiliza diferentes metodologías para el diseño, simulación y construcción para validación de datos.

3. Al diseñar el impulsor y la modificación en la voluta, se obtiene una nueva curva característica de la bomba con el nuevo principio de funcionamiento, lo cual genera una altura máxima manométrica con total de 12,58 metros, y un caudal máximo de 45,14 $\frac{m^3}{s}$, con un rendimiento hidráulico máximo de 96 % obtenido durante el proceso de investigación, mejorando significativamente el funcionamiento de la bomba.

Recomendaciones

1. Verificar los datos de placa con las ecuaciones que rigen su funcionamiento ya que existen muchos valores erróneos, por lo que altera los resultados de las investigaciones o aplicaciones.
2. Se recomienda usar los valores máximos o mínimos producto de resultados de investigaciones, banco de pruebas y análisis para evitar sobredimensionamientos al momento de realizar una investigación.
3. Para determinar el rendimiento hidráulico en las bombas de torbellino, se debe manejar distintos sistemas de mediciones, ya que la ecuación fundamental de Euler, que rige el funcionamiento de una bomba centrífuga no se adapta al comportamiento de carga para las bombas de torbellino.
4. Se recomienda validar el diseño con la creación del modelo del impulsor y realizar las mediciones correspondientes de presión y caudal, ya que los valores calculados y simulados deben ser comprobados mediante experimentación.
5. Para el maquinado del impulsor se requiere regir un determinado proceso, puesto que existen diferentes alternativas para el diseño, pero se debe optar por la que tenga menos peligro de alterar sus condiciones ideales para la construcción, evitando esfuerzos o temperaturas que desgasten el material y provoque corrosión prematura en su funcionamiento.
6. Realizar un estudio para el diseño de la voluta de la bomba PKM 80 lo que permita mejorar el rendimiento volumétrico.

15. BIBLIOGRAFÍA

- Alfonso, I. H. (2015). *Bombas centrífugas, principio de funcionamiento*. Ciudad de Moa, Cuba: Instituto Superior Minero Metaúrgico de Moa.
- Azevedo Netto Miguel Fernandez, F. R. (1998). *Manual de Hidráulica*. Brasil: Universidad de São Paulo.
- Barrera, J. E. (1998). *Normalización en el diseño y construcción de bombas centrífugas horizontales para procesos*. México: Universidad Autónoma De Nuevo Leon.
- Cisneros, R. (2008). Bombas centrífugas de pulpas mineras. *Blogspot*, 1(1), 4.
- Connor, N. (2019). Tipos de impulsore. *engineering*, 1.
- Fausto Hidrobo, A. C. (2010). Bombas Axiales. Escuela Superior Politecnica de Chimborazo: Facultad de Mecánica.
- Gálvez, I. J. (s.f.). Mecánica de los fluidos (Petroleo). En *MECANICA DE LOS FLUIDOS Y MÁQUINAS HIDRÁULICAS (INDUSTRIAL)* (pág. 21).
- Grundfos. (s.f.). *grundfos*. Obtenido de <http://noteswww.grundfos.com/web/homear.nsf/webPrintView/8D1D6AE7996BD5DCC1256CBB00411A1E>
- Guanoluisa Tarco Jessica Yadira, T. M. (2017). *Automatización Del Sistema De Agua De Riego Para El Centro Experimental Y De Producción Salache De La Universidad Técnica De Cotopaxi*. Latacunga, Ecuador.
- Herrera Yáñez Juan Carlos, N. E. (2015). *Estudio del sistema automático de bombeo para agua potable*. Latacunga, Ecuador.
- Hidráulica.blogspot. (2012). Bombas y estaciones de bombeo. *hidraulicaucentral*, 1(1), 21.
- I. Martín, R. S. (2011). *Impulsión de fluidos*. San Vicente, España: Universidad de Alicante.
- Ing. Choto Chariguaman, L. S. (2017). *Fabricación de un prototipo de impulsor de una bomba centrífuga del área ELPO planta de pintura de la empresa ensambladora CIAUTO*. Sangolquí-Ecuador.
- Ing. Domingo Sánchez Amado, I. F. (s.f.). *Operaciones Unitarias*. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina .
- Ingeniería, R. A. (s.f.). *Tecnología energética. Renovables*.
- Interior, M. d. (2016). *Acuerdos para normativas de seguridad*. Quito, Ecuador.
- León, M. H. (2011). *Perfeccionamiento Del Diseño De Un Impelente Para Una Bomba Bolivar*.
- Marchegiani, I. A. (2004). *Ecuación de Euler*. Neuquén: Universidad Nacional del Comahue.
- Marchegiani, I. A. (2006). *Cavitación*. Neuquén: Universidad Nacional Del Comahue.

- Mataix, C. (1986). *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. Madrid, España: Ediciones del Castillo, Madrid.
- ocwus. (05 de 08 de 2008). Hidráulica y riesgos. 11.
- Páez, N. R. (1994). *Bombas, ventiladores y compresores*. Ciudad de la Habana: ISPJAE.
- Sánchez, J. E. (1989). *Diseño y construcción del rodete semiabierto de una bomba centrífuga*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Viedma, R. B. (2016). *Máquinas Hidráulicas*. Cartagena.
- Solòrzano, R. (2016). Principios Ingenieriles Básicos - Bombas Hidráulicas. *H&P EN ESPANOL*, 1(1), 25.
- Soto Cruz, J. J. (1996). *Fundamentos sobre ahorro de energía*. Yucatán: Universidad Autónoma de Yucatán.
- Suhissa. (2018). Las Bombas De Agua Tipo Periféricas Y Centrífugas. *Suhissa*, 1(1), 3.

16. ANEXOS

HOJA DE VIDA



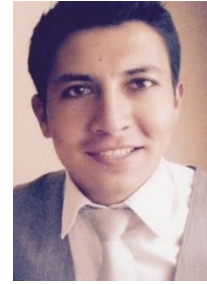
1.-Datos Personales

Nombres: Andrés German
 Apellidos: Bonilla Villalba
 Fecha de nacimiento: 02 de febrero 1994
 Edad: 26 años
 Cedula de identidad: 171993195-6
 Estado civil: Soltero
 Nacionalidad: Ecuatoriana
 Dirección: Quito, Tumbaco
 Teléfono: 032270788
 Celular: 0984794895
 E-mail: andres.bonilla1956@utc.edu.ec

2.- Estudios Realizados

Estudios Primarios Escuela Roberto Espinoza (Quito)
 Estudios Secundarios Unidad Educativa Tumbaco
 Estudios Universitarios **Universidad de las Américas (2do Semestre)**
 Tecnología en redes y telecomunicaciones
Universidad Técnica de Cotopaxi
Carrera: Ingeniería Electromecánica
 Nivel de Inglés B1 Aprobado

HOJA DE VIDA



1.-Datos Personales

Nombres: Jorge Aníbal
Apellidos: Núñez Villacrés
Fecha de nacimiento: 27 de marzo 1995
Edad: 24 años
Cedula de identidad: 180453628-0
Estado civil: Soltero
Nacionalidad: Ecuatoriana
Dirección: Ambato, Santa Rosa
Teléfono: 032755091
Celular: 0958625556
E-mail: jorge.nunez0@utc.edu.ec

2.- Estudios Realizados

Estudios Primarios: Escuela Cesar Silva (Ambato)
Estudios Secundarios: Colegio Técnico “Reinaldo Miño”
Estudios Universitarios: Universidad Técnica de Cotopaxi
Carrera de Ingeniería Electromecánica
Nivel de Inglés B1 Aprobado



**MANUAL DE OPERACION PARA
BOMBAS DE AGUA LIMPIA PURA**

**MODEL: PKM 65
PKM 80**

◆ **ESPECIFICACIONES (A 115V230V/60Hz 3400 R.P.M.)**

Modelo	Cap. Max. (U/min)	Cabezal max. (M)	Altura Max. de Succión.	Potencia (HP)	Diam. Bomba (")
PKM 65	50	42	9	0.75	1" x 1"
PKM 80	66	48	9	1	1" x 1"

◆ **PROBLEMAS Y CONTRA MEDIDAS**

Problemas	Causas	Contra medidas El usuario puede indicarlás
Motor No arranca	Protector termal Conexion defectuosa del cable Cable desconectado Problemas en el motor Voltaje demasiado bajo	Si esta demasiado caliente, no opera. Espere hasta que se enfríe (20-30 min.) Introduzca bien el enchufe Reemplace el cable Repare o reemplace el motor Consulte con la empresa de suministro de energía
La bomba no expulsa agua aunque el motor esté funcionando fuerte.	El nivel de agua de la fuente es inferior al nivel estándar. Problema en la válvula vertical. Aire aspirado en la tubería de succión. Aire aspirado en la bomba por sello mecánico.	Verifique el nivel de agua de la fuente. Limpie la válvula y canastilla. Chequee las juntas y sellos. Reemplace el sello.
Protector termal del motor funciona con demasiada frecuencia.	Voltaje demasiado bajo o demasiado alto. Impeller está en contacto con otra pieza. Corto circuito del capacitor.	Consulte con la empresa de suministro de energía. Reparar los defectos. Reemplace el capacitor.
El agua no sale durante los primeros minutos en que el switch está prendido.	Aire aspirado en la tubería de succión.	Repare los defectos de la tubería (para evitar el ingreso de aire)
La bomba arranca aunque no se esté usando agua.	Hay fugas de agua en la tubería o la bomba.	Repare la tubería, partes de la bomba, llaves, etc.
El agua no sale inmediatamente después de la conexión.	Hay fugas de agua en el sello mecánico. La válvula vertical no cierra perfectamente. Aire aspirado a la tubería de succión.	Repare el sello mecánico. Limpie la válvula vertical. Repare los defectos.

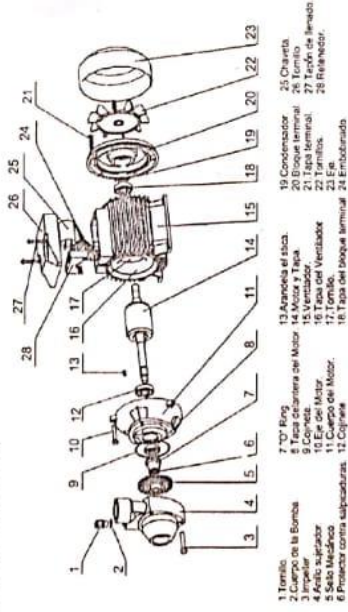
PARA UNA OPTIMA EFICIENCIA LEA ESTE MANUAL ANTES DE PONER A FUNCIONAR ESTA BOMBA POR PRIMERA VEZ.

PRECAUCIONES ANTES DEL USO DE LA BOMBA

- Conecte a tierra antes de su uso.
- Esto le puede evitar un accidente causado por un circuito eléctrico, cuando el aislamiento falla, por su seguridad tenga cuidado de no mojar el enchufe.
- ★ **TENGA CUIDADO AL CONECTAR A TIERRA**
- Conecte a tierra después de haber cortado el suministro de energía eléctrica.
- Nunca conecte con tuberías de gas, puede causar una explosión.
- Evite operar la bomba cuando esté seca y no expela agua. Esto acorta la vida útil del equipo y puede dañar el motor.
- No envuelva nunca la bomba en una colcha o tela para evitar el congelamiento cuando el clima está frío.
- Evite utilizar la bomba bajo condiciones de temperatura ambiente superior a 40°C y por debajo de 0°C ni tampoco con agua caliente de más de 40°C porque acortará la vida útil de la bomba.
- Tenga cuidado de no utilizar la bomba con líquidos que no sean el agua. Cuando se utiliza con solventes como benzol, ácido, líquidos inflamables como la gasolina y líquidos altamente viscosos hay riesgo de producir incendio, causará problemas para la bomba y también acortará la vida útil del equipo.
- Evite utilizar la bomba directamente expuesta a los rayos del sol o a la lluvia porque podría acortar la vida útil de la misma y también hay el peligro de un circuito eléctrico.
- Cuando esta bomba está puesta a la intemperie, se necesita especialmente un filtro porque evitara desgaste del impeller, la baja de la presión y la disminución del bombeo.
- El voltaje de operación permitido para esta bomba es de $\pm 10\%$ del voltaje de régimen.
- Si se aplica causará la disminución de la vida útil de la bomba.

APARIENCIA Y NOMBRE DE LAS PARTES

La bomba consiste de:



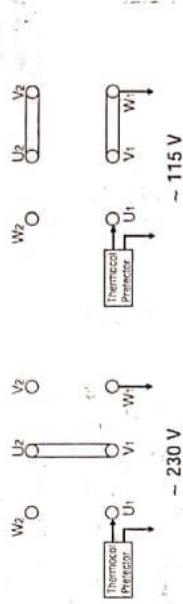
PUNTOS DE CHEQUEO ANTES DE LA INSTALACION

- Instale la bomba lo más cerca posible a la fuente de succión. Pero cuando la bomba debe instalarse a distancia de la misma debido a las circunstancias, la máxima distancia de tubería desde la fuente a la bomba estará limitada por el cabezal de succión.
- Decida este parámetro considerando condiciones extremas.

GUIA PARA LA INSTALACION

- Revista la base con cemento para que la bomba no se incline incluso después de

- muchos años de uso.
- Seleccione un lugar que dé facilidades para la revisión o reparación de la bomba después de su instalación.
- Instale la válvula de parada en el lado de descarga de la bomba y será muy conveniente para el chequeo y la reparación de la bomba.
- Minimice el número de codos para evitar que el agua gotee de la tubería o para disminuir la resistencia al paso del fluido.
- ◆ **COMO OPERAR LA BOMBA**
- Esta bomba no es del tipo auto cebado, se debe instalar la válvula vertical al final de la tubería de succión.
- Mida la profundidad desde la superficie del suelo a fondo de la fuente. El cabezal de succión está normalizado a 8m. (Max. 8m).
- Utilice siempre una tubería con un diámetro estándar.



CUANDO LA BOMBA SE VUELVE A UTILIZAR DESPUES DE LARGO TIEMPO DE PARADA.
Hay la posibilidad que el motor no arranque a pesar de estar correctamente conectado debido a la solidificación de impurezas del agua en el cabezal de la bomba.

En ese caso desconecte la energía eléctrica y haga girar el eje detrás del motor con alguna herramienta o manualmente, luego podrá operar la bomba como de costumbre.

COMO HACER ARRANCAR LA BOMBA

Como esta bomba no tiene un sistema de auto cebado, al iniciar la operación, c bela manualmente realizando la siguiente secuencia.

Quite el tapón y eche agua en la bomba y vuelva a colocar el tapón. El agua sacará el aire de la tubería de succión.

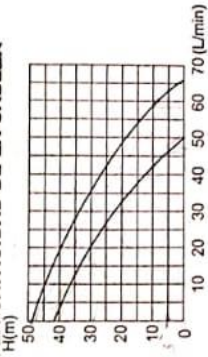
Antes de conectar, se debe abrir la llave de agua del lado de la descarga.

Después de haberla conectado empieza inmediatamente el proceso de cebado.

Cuando no se logra cebar puede ser que se haya quedado aire en la tubería de succión. Entonces para sacar el aire de la tubería de succión, eche agua, conecte y desconecte repetidamente la bomba.

Como la bomba no tiene interruptor utilice el interruptor de la pared o enchufe y desenchufe del toma corriente.

CURVA TOTAL DE LA CAPACIDAD DE LA CABEZA



CONCEPTO	APOYO FISCAL	REQUISITOS	CARACTERÍSTICAS BÁSICAS
Micro túnel	100% del costo de los materiales sin rebasar \$3500 de apoyo.	Superficie de traspaso mínima a 50m ² . Fuente de abastecimiento de agua. Únicamente en inducción de tecnología.	Dimensiones: 2 m de ancho por 10 de longitud.
Hidroponía rústica	100% del costo de los materiales o hasta \$10000.	Contar con una superficie para módulos entre 200 y 400m ² . Contar con una fuente de abastecimiento de agua (mínimo 1 litro por segundo). Únicamente en inducción de tecnología.	REQUIERE DICTAMEN TÉCNICO ECONÓMICO.
Riego por goteo	100% del costo de los materiales en una hectárea sin rebasar \$3000 de apoyo.	Familias o grupos de mujeres que cuenten con parcelas de 2 hasta 10 hectáreas. Contar con fuente de abastecimiento de agua (mínimo 1 litro por segundo). Los componentes del sistema de riego deberán construirse con tecnologías apropiadas. No se aceptarán paquetes completos de casas comerciales. Únicamente en inducción de tecnología.	REQUIERE DICTAMEN TÉCNICO ECONÓMICO.
Tanque de descarga de fondo para superficies de hasta 4 hectáreas.	100% del costo de los materiales en una hectárea sin rebasar \$3000 de apoyo.	Familias o grupos de mujeres que cuenten con parcelas de 2 a hasta 10 hectáreas. Contar con fuente de abastecimiento de agua (mínimo 1 litro por segundo). Únicamente en inducción de tecnología.	REQUIERE DICTAMEN TÉCNICO ECONÓMICO.
Invernaderos rústicos	100% del costo de los materiales en una hectárea sin rebasar los \$20000.	Familias o grupos de mujeres que cuenten con parcelas de 1 hasta 10 hectáreas. Contar con fuente de abastecimiento de agua (mínimo 1 litro por segundo). Únicamente en inducción de tecnología.	REQUIERE DICTAMEN TÉCNICO ECONÓMICO.

Fuente: Según mujeres en Desarrollo, 1999



**Procedimiento de la investigación.**

1. Una vez desmontada la bomba se realizan las primeras mediciones de acuerdo a las características que se muestra en la voluta, tomando el valor de diámetro de salida de 73 mm justificando la medición con la admisible del diseño.
2. Para convertir la bomba de torbellino a una bomba centrífuga se genera un orificio mediante una fresa Universal, dimensión de una pulgada en dirección axial a la voluta la cual viene propuesta, éste orificio es la succión de la bomba y tiene un

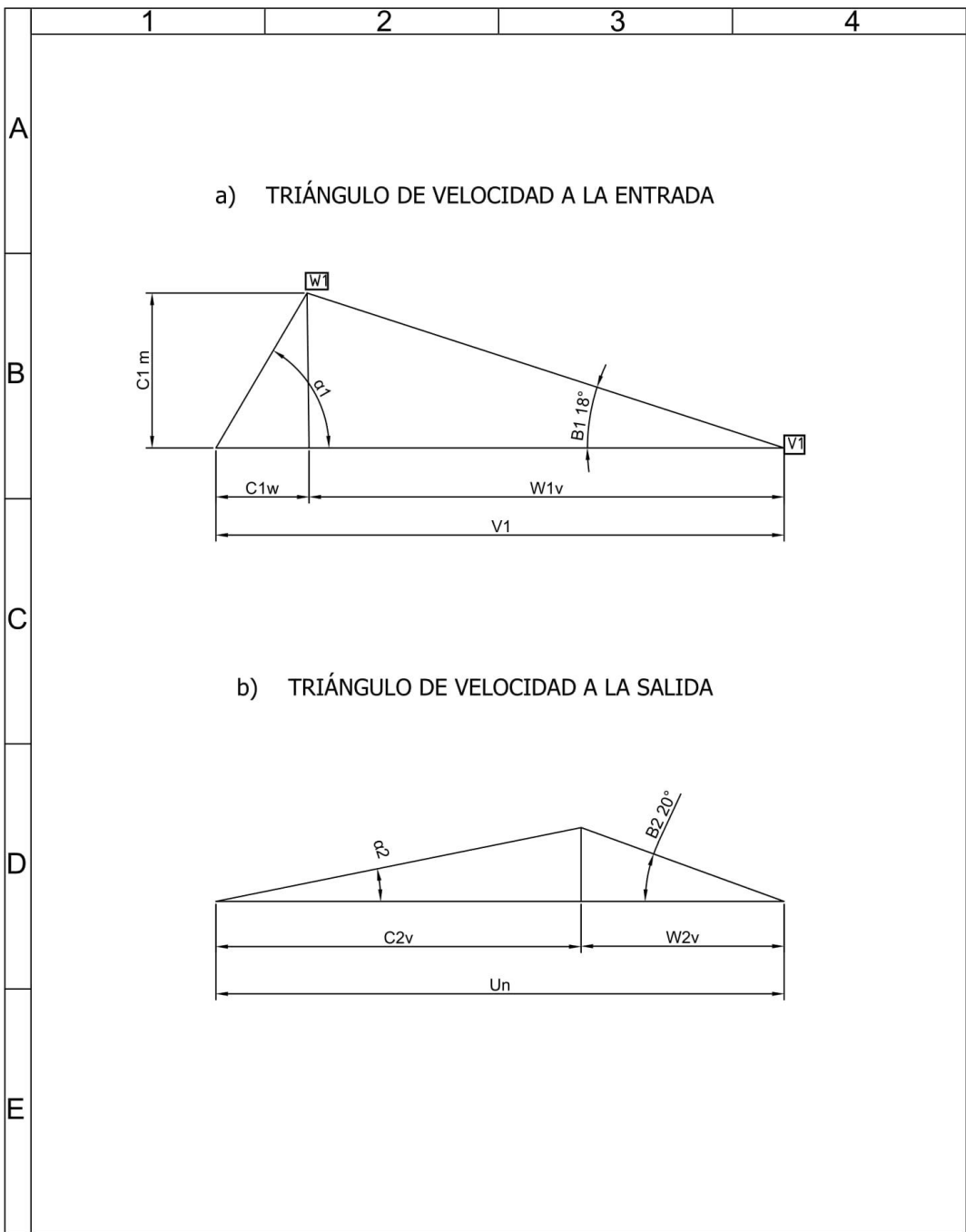
diámetro de entrada de 31,75 mm, se utiliza la fresa para generar una superficie en la voluta uniforme.



3. Posterior al mecanizado para generar las bases del principio de funcionamiento de fuerza centrífuga, se sella el orificio de inyección de agua al impulsor prediseñado por el fabricante con electrodos de hierro fundido maquinable, evitando que las líneas de flujo tomen otras direcciones que puedan ocasionar problemas.



Anexo 5

TRIÁNGULO DE VELOCIDADES DEL IMPULSOR



	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI			
Fecha:	Nombre:	Escala:	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
Dib. 02/12/2019	Bonilla A. - Nuñez J.	1:1		
Rev. 02/12/2019	PhD. Hector Laurencio			
Apro 02/12/2019	PhD. Hector Laurencio			
Materiales:	Tolerancias:	Número Lamina	Asignatura:	Denominación:
DURALUMINIO	A 1mm	N° 3	DISEÑO MECÁNICO	TRIÁNGULO DE VELOCIDADES DEL IMPULSOR

FADAL VMC 3016

Modelo: VMC-3016
Modelo Descontinuado

Marca: **FADAL**

Tipo: **Centros de Maquinado Verticales**

Control

Especificaciones

Sobre la Compañía

Listados Usados

3

[Agregar a las Alertas](#)

[Ver el historial de precios de los 39](#)

[Enviar Email de Este modelo a un amigo](#)

[Convertir Especificaciones al Sistema Inglés](#)

X:	762 mm	# ATC:	21
Y:	406.4 mm	Conicidad:	CAT-40
Z:	508 mm	Mesa-A:	406.4 mm
Potencia:	11.2 kW	Mesa-L:	990.6 mm
RPM:	10000 rpm	Control:	CNC

Se lo utiliza para el proceso de mecanizado mediante la fresa CNC e instrucciones de programación.

FRESADORA UNIVERSAL ROBUSTA FRITZ WERNER

DESCRIPCIÓN

Mesa de trabajo mesa 1000 x 310 mm alimentación 12-300 m/min

9 velocidades 540 34 U/min

Clify8yyq

Router hub 120 m m 4 kw motor

1.7 x toneladas tamaño 1.9 x 2.1 m peso 1.6

Se lo utiliza para realizar el mecanizado dentro de la voluta, tanto como para perforar, así como fresar la superficie de manera uniforme.

IMPRESORA 3D MODELO CREALITY

Utilizando la impresora cd, se realizaron diferentes modelos de impulsores para verificar las dimensiones reales y disponibles del diseño.

Características destacables

Impresora 3D Open source (permite cualquier tipo de modificación)

Filamentos de terceros.

Materiales: PLA, ABS, PETG, Flexible 95A, composites, etc.

Es silenciosa.

Volumen de impresión por encima del estándar.

Fuente: Revista Francesa Gabrian

Composición del material.

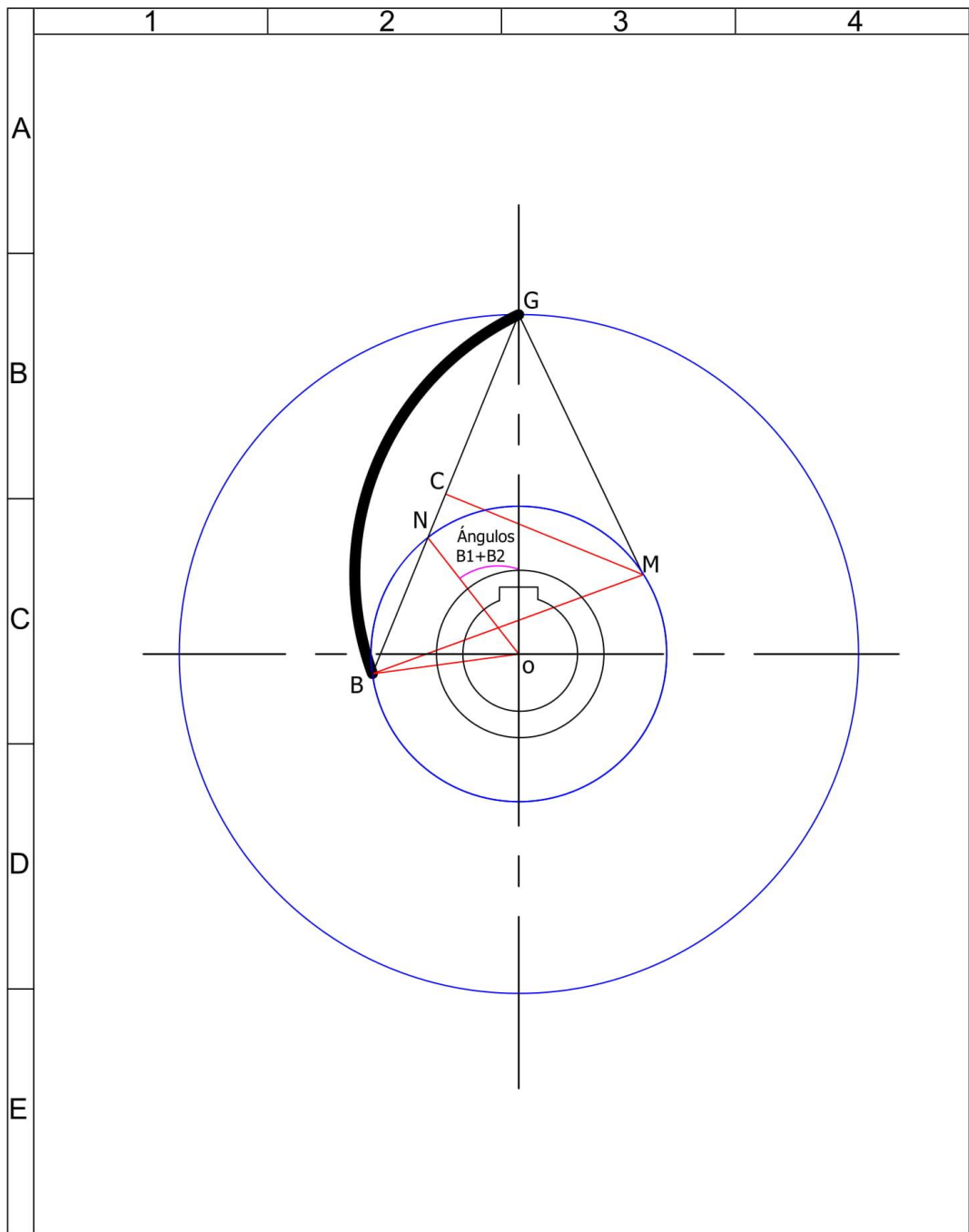
Element □	Minimum % □	Maximum % □
Magnesium	0.8	1.2
Silicon	0.4	0.8
Iron	No Min	0.7
Copper	0.15	0.4
Manganese	No Min	0.15
Chromium	0.04	0.35
Zinc	No Min	0.25
Titanium	No Min	0.15
Other Elements	No Min	0.05 each 0.15 in total

Características del Material.

Characteristic ◊	Appraisal ◊
Strength	Medium to High
Corrosion Resistance	Good
Weldability & Brazability	Good
Workability	Good
Machinability	Good

Anexo 8

TRAZADO DEL ÁLABE DEL IMPULSOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



	Fecha:	Nombre:	Escala:	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
Dib.	02/12/2019	Bonilla A. - Nuñez J.	1:2	DISEÑO MECÁNICO	
Rev.	02/12/2019	PhD. Hector Laurencio			
Apro	02/12/2019	PhD. Hector Laurencio			
Materiales:		Tolerancias:	Número Lamina	Asignatura:	Denominación:
DURALUMINIO		A 1mm	N° 2	DISEÑO MECÁNICO	TRAZADO DEL ÁLABE DEL IMPULSOR

Anexo 9

VISTAS DEL IMPULSOR SEMI ABIERTO

Dear Andres German Bonilla Villalba,

Licensee's product license information:

Product:	Inventor Professional 2020
License Type:	Education Stand-alone
Access Type:	Single-user
Authorized Usage:	Install on up to 2 personal devices*
Product Key:	797L1
Serial Number:	901-51096249
Term:	3-year term
Licensee:	Andres German Bonilla Villalba

* Your Autodesk Account may display this usage right as 1 seat.

During installation, enter this product key and serial number. The first time you start the product, you will be prompted to activate your license. This date marks the start of your three-year term.

Getting started: [Education Resources for students & educators](#)
[Autodesk Design Academy](#)

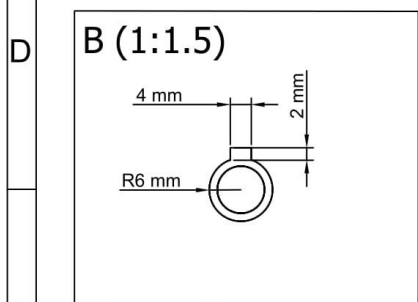
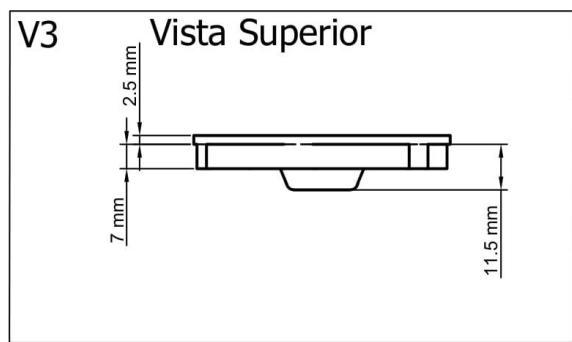
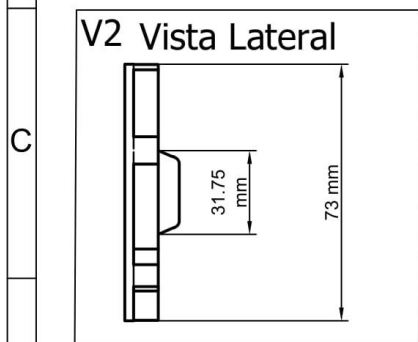
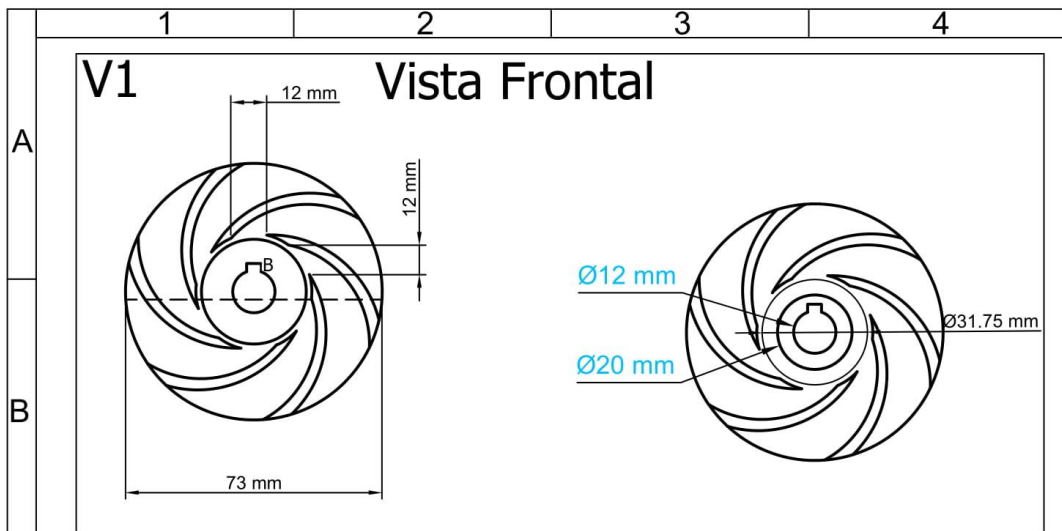
Thank you,
Autodesk Education Team

AUTODESK LICENSE TERMS AND CONDITIONS This Autodesk email is designed solely to confirm the number and type of license(s) of the specific Autodesk Software Product identified above ("Software") licensed by Customer. Receipt by Customer of this email does include the right to receive media containing Software object code or documentation. Customer must legally acquire the Software package which includes the media containing the Software object code. Customer's use the Software is governed by the applicable Autodesk software license agreement included with, or incorporate in, the Software. The terms of such Autodesk software license agreement are incorporated herein by reference.



In the event that Customer changes the number of licenses of the Software under the Serial Number set forth above, this email shall automatically terminate. Customer may request a revised email reflecting such change.

Autodesk accepts no liability if this email incorrectly state Customer's maximum concurrent Authorized Users devices. If Customer's maximum concurrent Authorized Users or devices is incorrectly stated on this email, Customer shall inform Autodesk in writing, and subject to confirmation by Autodesk, as Autodesk may reasonably require, Autodesk shall issue an amended email to Customer stating the maximum concurrent Authorized Users or devices. This email shall automatically terminate in the event of termination of the software license agreement for any reason.

ANY TAMPERING WITH THIS AUTODESK EMAIL SHALL RENDER BOTH THIS EMAIL, AND SOFTWARE LICENSE(S) CONFIRMED BY THIS EMAIL, TERMINATED WITH IMMEDIATE EFFECT.



4	IMPULSOR - DISEÑO FINAL	INEN 003	DURALUMINIO	4	IMPULSOR SEMIABIERTO	0.0527	N/A
3	IMPULSOR - VISTA SUPERIOR	INEN 003	DURALUMINIO	3	IMPULSOR SEMIABIERTO	0.0527	N/A
2	IMPULSOR - VISTA LATERAL	INEN 003	DURALUMINIO	2	IMPULSOR SEMIABIERTO	0.0527	N/A
1	IMPULSOR - VISTA FRONTAL	INEN 003	DURALUMINIO	1	IMPULSOR SEMIABIERTO	0.0527	N/A
N° de Pieza	Denominación	N° de Norma / Dibujo	Material	N° de orden	N° del Modelo / semiproducto	Peso kg/pieza	Observaciones

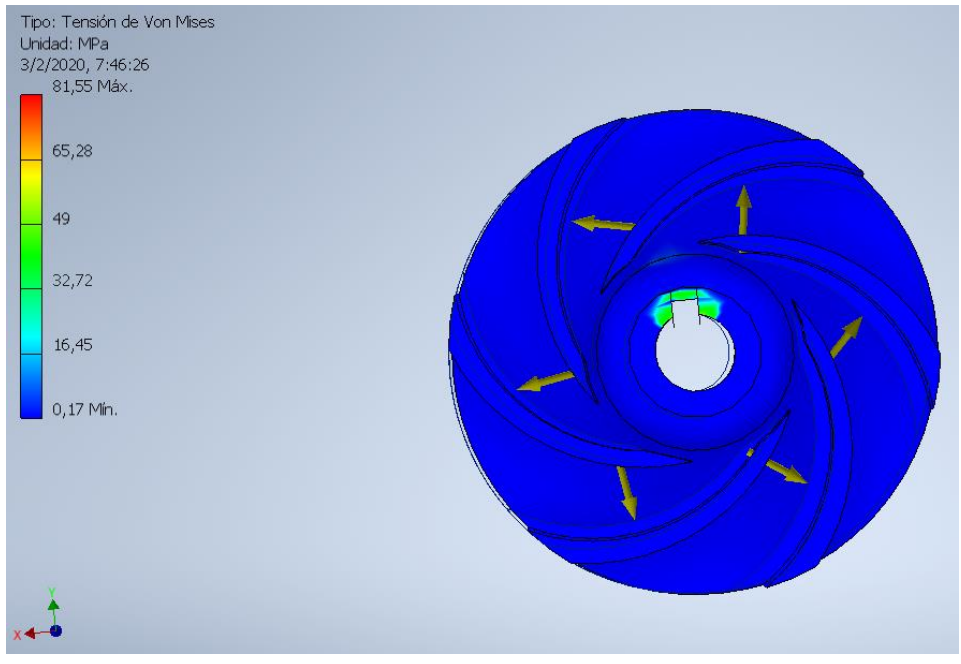
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI 				
Fecha:	Nombre:	Escala:	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
Dib. 02/12/2019	Bonilla A. - Nuñez J.	1:1.5		
Rev. 02/12/2019	PhD. Hector Laurencio			
Apro 02/12/2019	PhD. Hector Laurencio			
Materiales:	Tolerancias:	Número Lamina	Asignatura:	Denominación:
DURALUMINIO	A 1mm	N° 1	DISEÑO MECÁNICO	VISTAS

Resumen del diseño del impulsor

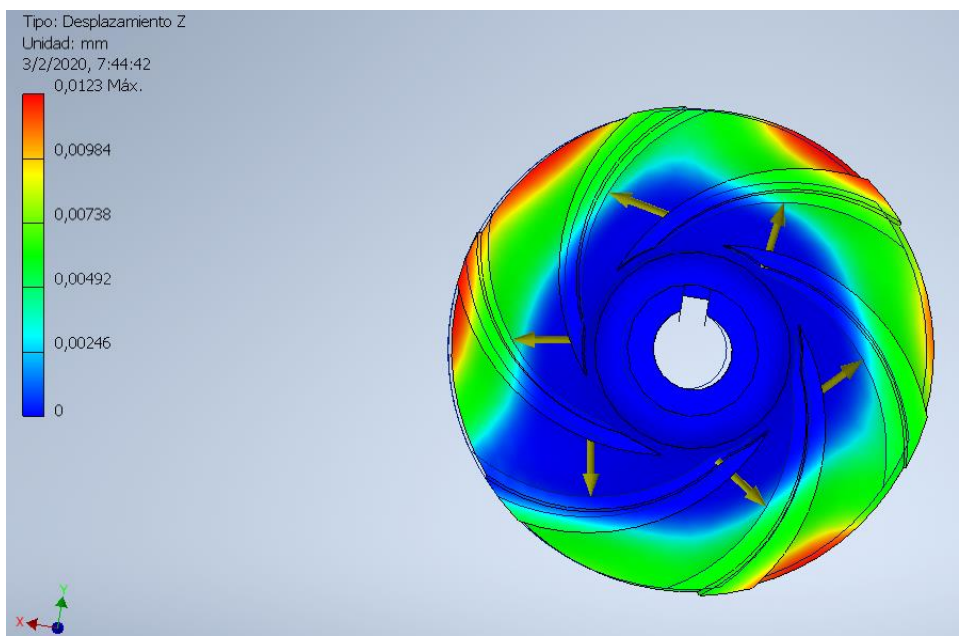
NOMBRE	MINIMO	MAXIMO
VOLUMEN	19543,6 mm ³	
MASA	0,0527676 kg	
TENSIÓN	0,168199 MPa	81,5539 MPa
1° TENSIÓN PRINCIPAL	-57,4495 MPa	98,6284 MPa
3° TENSIÓN PRINCIPAL	-143,005 MPa	22,1762 MPa
DESPLAZAMIENTO	0 mm	0,0544375 mm
FACTOR DE SEGURIDAD	3,37201 ul	15 ul

Se tiene la tensión máxima que puede soportar la pieza antes de ser desplazada creando una deformidad, el factor de seguridad es mayor a 1 por lo que se valida el diseño de acuerdo al material duraluminio 6061 que tiene una masa de 0,05 kg, y resistencias a efectos mecánicos y corrosión del impulsor.

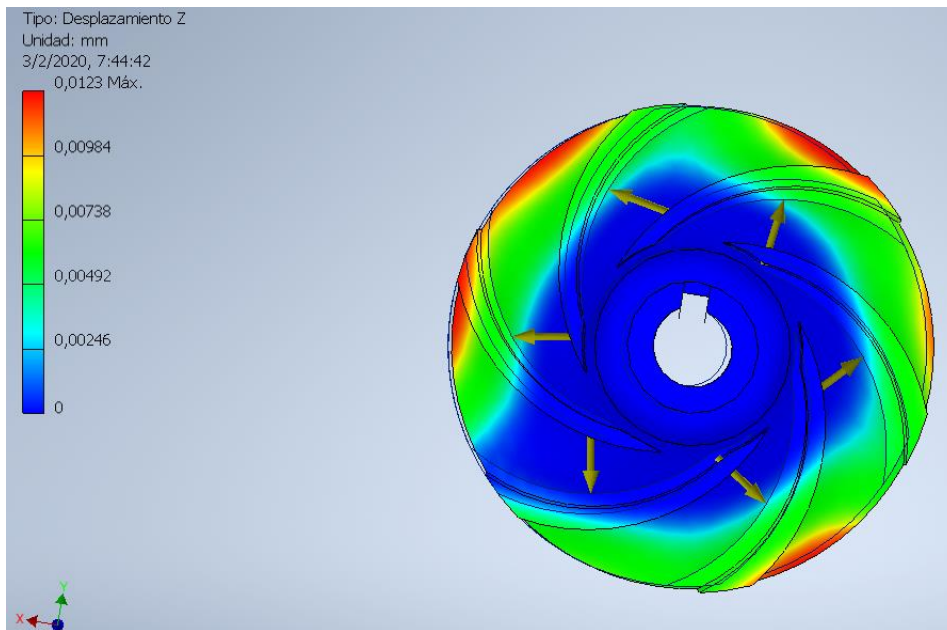
Capacidad máxima de carga



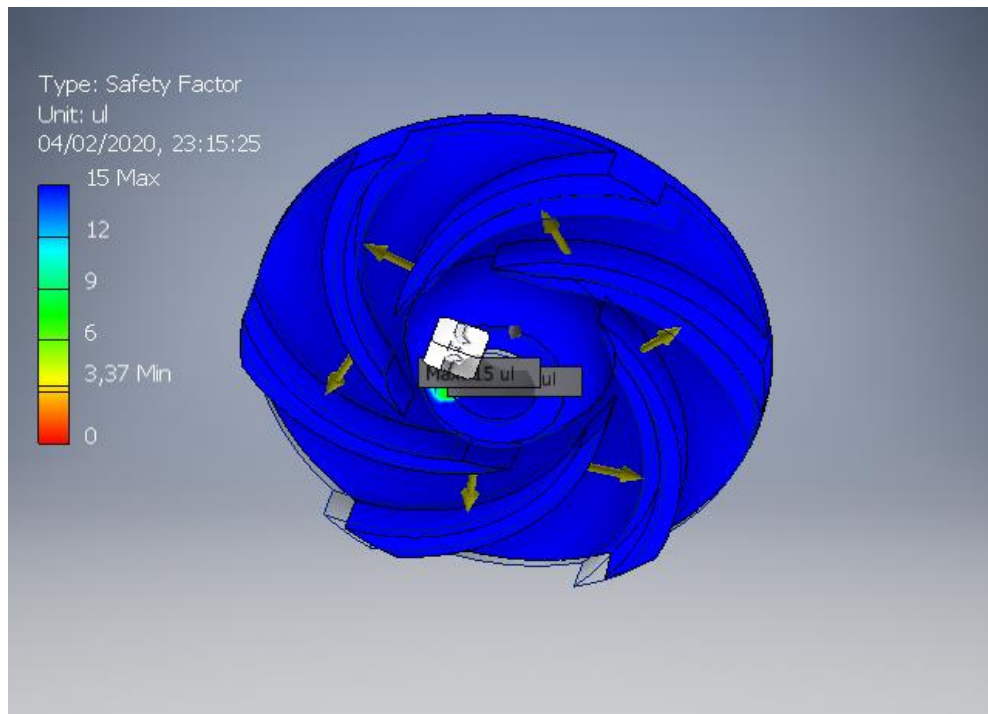
Desplazamiento por deformación.



Desplazamiento por deformación.



Factor de Seguridad o coeficiente de seguridad





FURY COMPANY

“ SI TE LO IMAGINAS, SE PUEDE
LOGRAR”

Píllaro, 02 de diciembre del 2019

CERTIFICADO

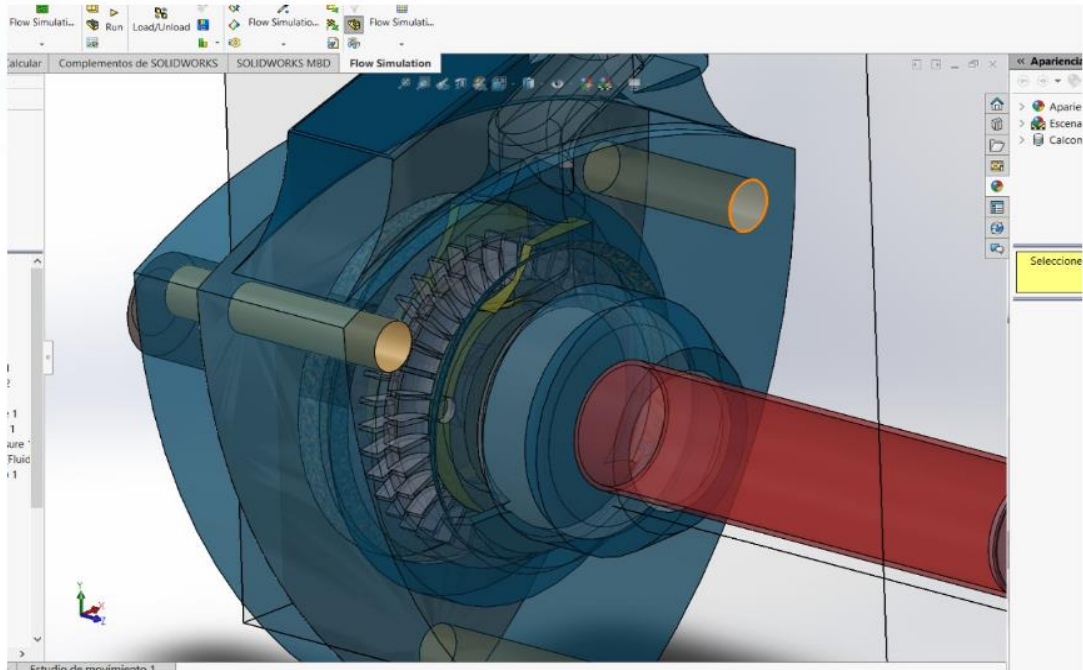
La empresa FURY COMPANY dentro del AREA FURY CAD CAM, garantiza a la persona física o legal el derecho de uso de la licencia de Software SolidWorks, asociada a la empresa BKB MAQUINÁRIA, conforme a los términos del contrato, que éste funcionará sustancialmente de acuerdo con la documentación en un plazo de 90 días siguiente a la fecha en el que recibió el derecho de uso de la licencia de Software, siempre que lo utilice con la configuración propuesta. No se establecerá derecho de garantía en el caso de variaciones no substanciales conforme a lo indicado en la simulación.

El señor **BONILLA VILLALBA ANDRÉS GERMAN**, con C.I.1719931956, y el señor NÚÑEZ VILLACRÉS JORGE ANÍBAL, con C.I. 1804536280, realizan una simulación de flujo de una bomba centrífuga de acuerdo a las características y condiciones propuestas por los mismos, con la finalidad de obtener resultados para un proyecto de investigación.

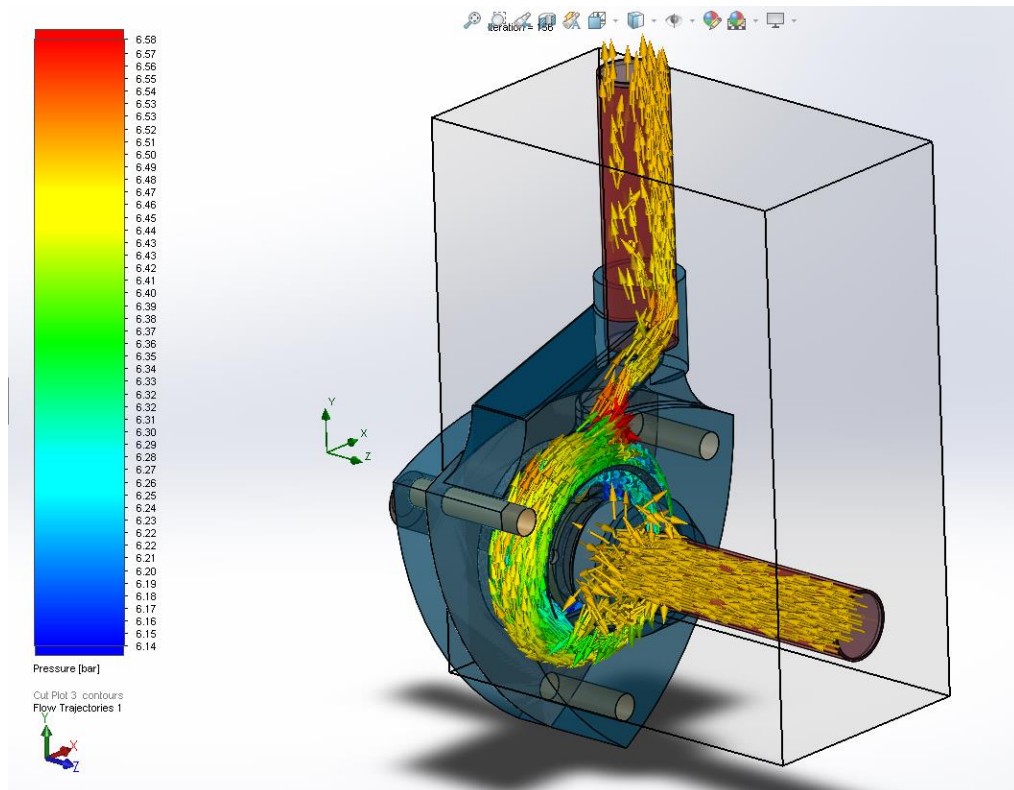
Atentamente,

Ing. William Brborich
Gerente
CI: 1805050216

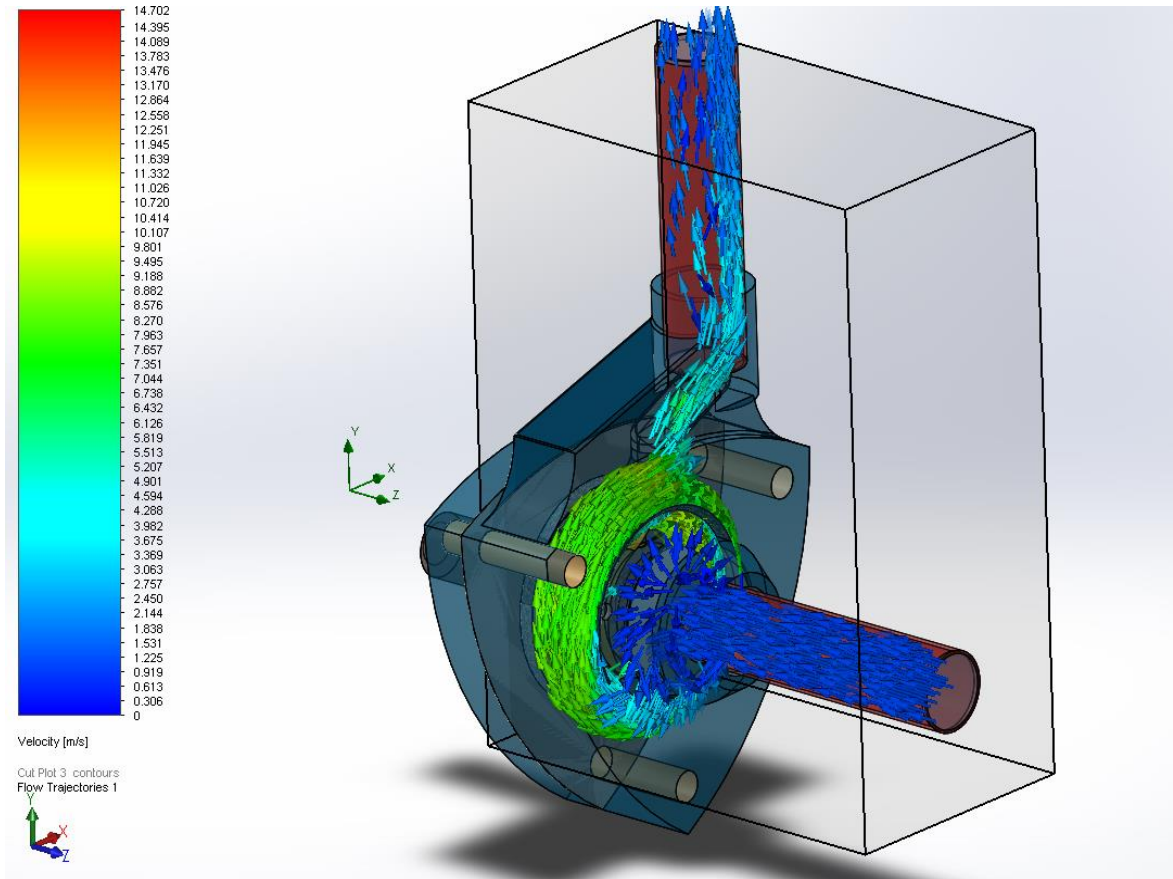




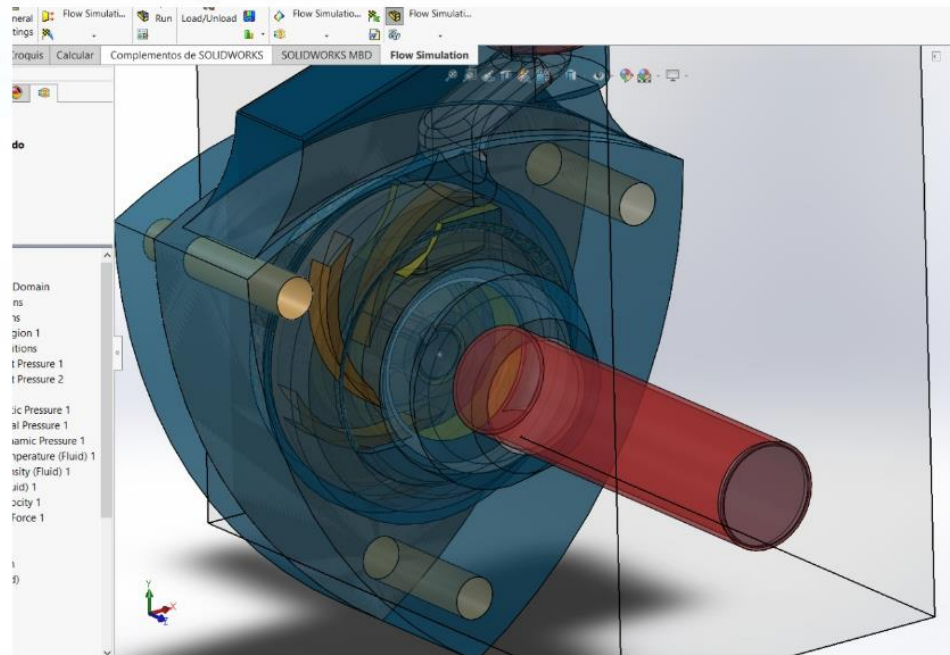
Ensamble del impulsor radial original instalado en la bomba.



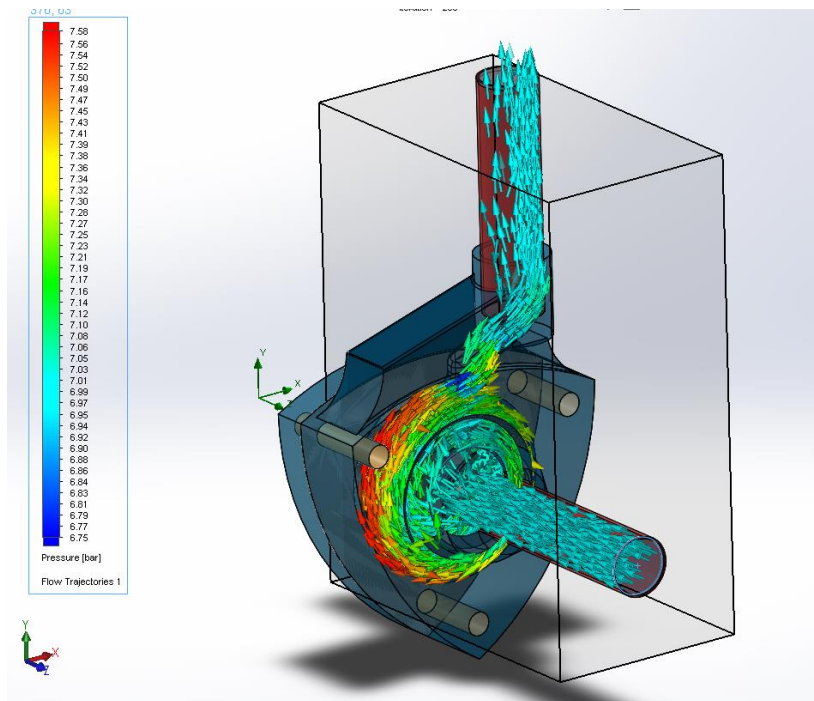
Análisis de flujo del impulsor radial con respecto a la presión .



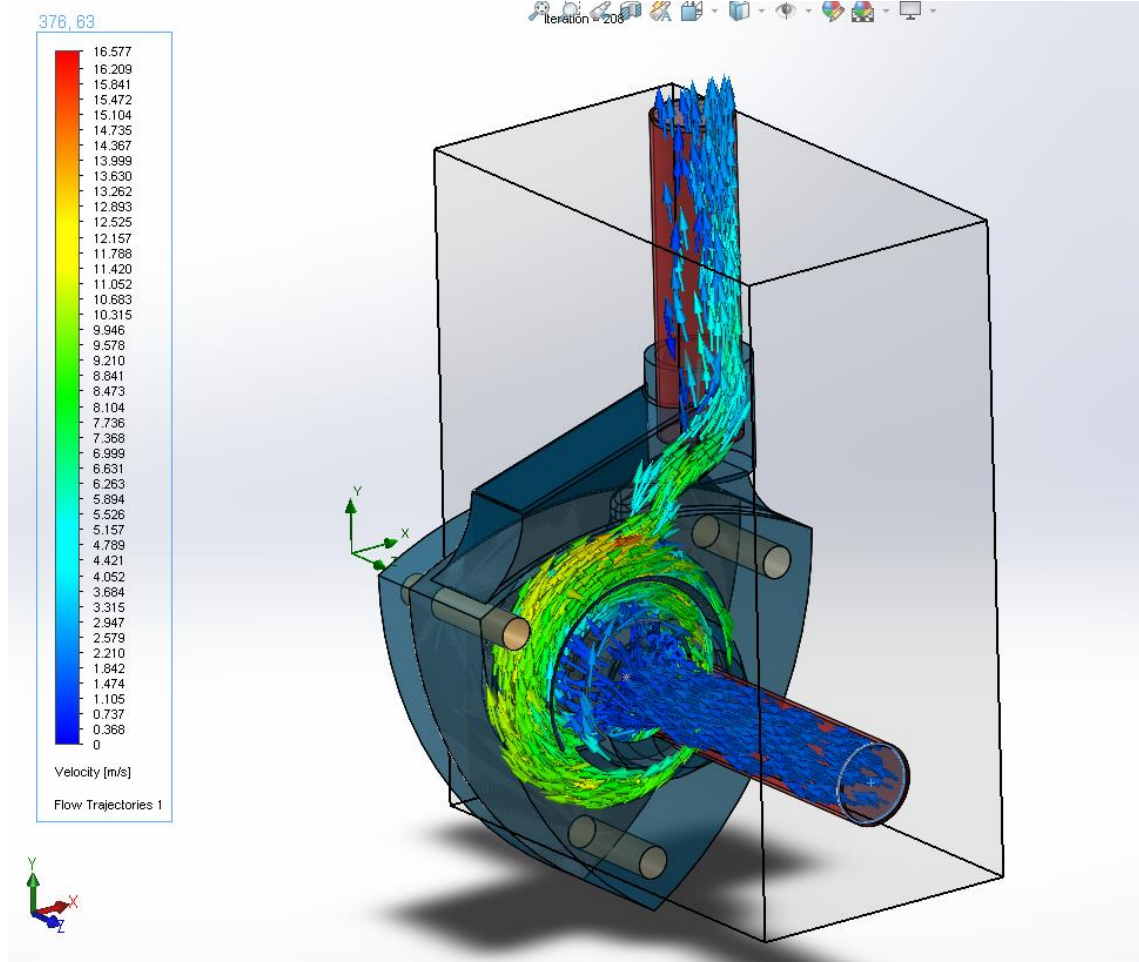
Análisis De Flujo Del Impulsor Radial Con Respecto A La Velocidad



Ensamble del impulsor radial semi abierto instalado en la bomba



Análisis de flujo del impulsor radial semi abierto con respecto a la presión



Análisis de flujo del impulsor radial semi abierto con respecto a la velocidad

```
#include <LiquidCrystal.h>

float vazao;      //Variável para armazenar o valor em L/min
float media = 0;  //Variável para fazer a média
int contaPulso;  //Variável para a quantidade de pulsos
int i = 0;        //Variável para segundos
int Min = 00;     //Variável para minutos
float Litros = 0; //Variável para Quantidade de agua
float MiliLitros = 0; //Variavel para Conversão

LiquidCrystal lcd(8, 7, 6, 5, 4, 3);

void setup()
{
  Serial.begin(9600);

  lcd.begin(16, 2);
  lcd.setCursor( 0, 0);
  lcd.print("Medicion de");
  lcd.setCursor( 0, 1);
  lcd.print(" flujo de Agua ");
  delay(3000);
  lcd.clear();

  pinMode(2, INPUT);
```

```
attachInterrupt(0, incpulso, RISING); //Configura o pino 2(Interrupção 0) interrupção
}

void loop ()
{
  contaPulso = 0; //Zera a variável
  sei(); //Habilita interrupção
  delay (1000); //Aguarda 1 segundo
  cli(); //Desabilita interrupção

  vazao = contaPulso / 3.5; //Converte para L/min
  media = media + vazao; //Soma a vazão para o calculo da media
  i++;
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(vazao); //Escreve no display o valor da vazão
  lcd.print(" L/min "); //Escreve L/min
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(Min);
  lcd.print(":"); //Escreve :
  lcd.print(i); //Escreve a contagem i (segundos)
  lcd.print("Min "); //Escreve :
  MiliLitros = vazao / 60;
  Litros = Litros + MiliLitros;
  lcd.print(Litros);
  lcd.print("L ");
```

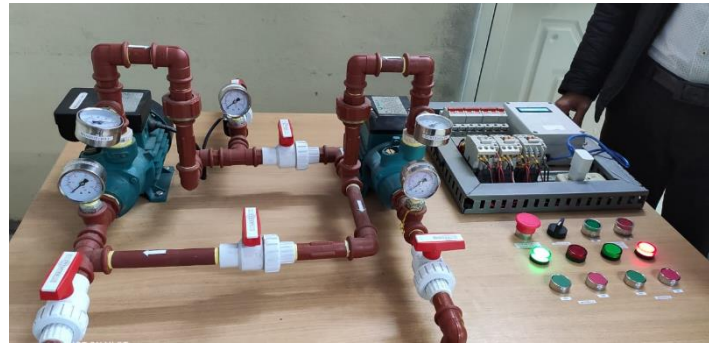
```
// Neste conjunto de linhas fizemos a média das leituras obtidas a cada 1 minuto

if (i == 60)
{
  Min++;
  lcd.print(Min);

  if (Min >= 60)
  {
    Min = 0;
  }
  media = media / 60;          //faz a média
  Serial.print("\nMedia por minuto = "); //Imprime a frase Media por minuto =
  Serial.print(media);        //Imprime o valor da media
  Serial.println(" L/min - "); //Imprime L/min
  media = 0;                   //Zera a variável media para uma nova contagem
  i = 0;                       //Zera a variável i para uma nova contagem
}

}

void inpulso ()
{
  contaPulso++; //Incrementa a variável de pulsos
}
```



Se realizan las mediciones en donde se compara la bomba de torbellino PKM 80 y un banco de pruebas para obtener valores de la variable caudal.



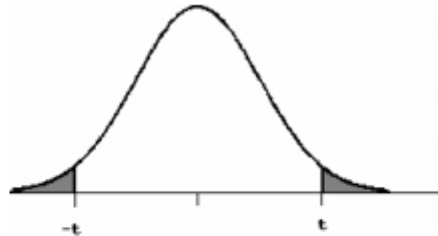
Caudal máximo medido dentro del banco de pruebas



Caudal medido dentro del banco de pruebas

Fuente: Artículo Tabla de Distribución T (learningaboutelectronics)

Tabla de cuantiles de la distribución t de Student



(a) El área de las dos colas está sombreada en la figura.
 (b) Si H_A es direccional, las cabeceras de las columnas deben ser divididas por 2 cuando se acota el P-valor.

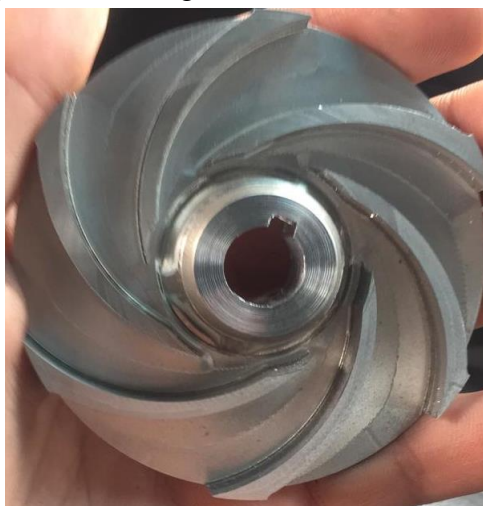
gl	ÁREA DE DOS COLAS						
	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001	0,0001
1	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	636,619	6366,198
2	1,886	2,920	4,303	6,695	9,925	31,598	99,992
3	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924	28,000
4	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610	15,544
5	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869	11,178
6	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959	9,082
7	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408	7,885
8	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041	7,120
9	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781	6,594
10	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587	6,211
11	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437	5,921
12	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318	5,694
13	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221	5,513
14	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140	5,363
15	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073	5,239
16	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015	5,134
17	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965	5,044
18	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922	4,966
19	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883	4,897
20	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850	4,837
21	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819	4,784
22	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792	4,736
23	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,767	4,693
24	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745	4,654
25	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725	4,619
26	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707	4,587
27	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,690	4,558
28	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674	4,530
29	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,659	4,506
30	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646	4,482
40	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551	4,321
60	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460	4,169
100	1,290	1,660	1,984	2,364	2,626	3,390	4,053
140	1,288	1,656	1,977	2,353	2,611	3,361	4,006
∞	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,291	3,891



Proceso de desbaste del impulsor mediante herramientas y buriles programables de la CNC.



Impulsor centrifugo semi abierto mecanizado



Mecanizado del Impulsor finalizado en la CNC Fadal 3016.



Ensamble y centrado del impulsor en el eje rotacional de la bomba Paolo PKM 80.



Roscado de perno M5 x 8 para sujeción del impulsor con respecto al eje.



Acoplamiento del perno hexagonal M5 x 0,8 inoxidable con respecto al empuje axial.





Banco de pruebas instalado en la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión Salache para la medición de las variables hidráulicas.