



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA**

### **CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

#### **“ANÁLISIS, MEJORAMIENTO, OPTIMIZACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENCENDIDO CON MICROGENERACIÓN HIDRÁULICA DE UN CALEFÓN A GAS PARA EVITAR EL USO DE PILAS”**

##### **Trabajo de titulación**

Tipo: Propuesta tecnológica

Presentado para optar el grado académico de:

##### **INGENIERO MECÁNICO**

**AUTORES: JEFERSON XAVIER LEMACHE RIVERA**

**MARCOS PAUL UQUILLAS LESCANO**

**DIRECTOR: Ing. TELMO JESUS MORENO ROMERO**

Riobamba - Ecuador

2020

© 2020, Jeferson Xavier Lemache Rivera; Marcos Paul Uquillas Lescano

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

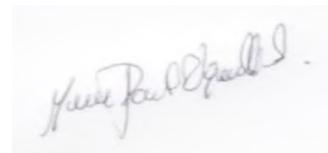
Nosotros, Jeferson Xavier Lemache Rivera y Marcos Paul Uquillas Lescano, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 30 de junio del 2020



**Jeferson Xavier Lemache Rivera**  
**060410787-0**



**Marcos Paul Uquillas Lescano**  
**180463204-8**

# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

## FACULTAD DE MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo Propuesta Tecnológica **ANALISIS, MEJORAMIENTO, OPTIMIZACION E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENCENDIDO CON MICROGENERACIÓN HIDRÁULICA DE UN CALEFÓN A GAS PARA EVITAR EL USO DE PILAS**, realizado por los señores : **LEMACHE RIVERA JEFERSON XAVIER Y MARCOS PAUL UQUILLAS LESCANO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 EDWIN FERNANDO VITERI NUNEZ Firmado digitalmente por EDWIN FERNANDO VITERI NUNEZ Fecha: 2020.08.14 10:05:45 -05'00'	2020-06-30
Ing. Telmo Jesús Moreno Romero <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	 TELMO JESUS MORENO ROMERO Firmado digitalmente por TELMO JESUS MORENO ROMERO Fecha: 2020.08.14 14:37:12 -05'00'	2020-06-30
Ing. John German Vera Luzuriaga <b>MIEMBRO DEL TRABAJO DE TITULACION</b>	 JOHN GERMAN VERA LUZURIAGA Digitally signed by JOHN GERMAN VERA LUZURIAGA DN: CN=JOHN GERMAN VERA LUZURIAGA, SERIALNUMBER=0802037256, OU=AUTORIZADO DE CERTIFICACION ESP/POCH DTIC, O=ESP/POCH DTIC, L=CHIMBORAZO, C=EC Reason: I am the author of this document Location: your signing location here Date: 2020.07.28 12:05:08 Full PhotoPDF Version: 9.7.1	2020-06-30

## **DEDICATORIA**

El siguiente trabajo está dedicado al sacrificio y apoyo incondicional de mis padres Ángel Lemache y Marcia Rivera, quienes con todo su amor me apoyaron en lo largo de mi carrera y nunca me dejaron solo, a mis hermanos Joselyn, Angélica y Santiago que son una inspiración para seguir adelante y nunca rendirme y a Stefany Peláez Ponce por su amor, cariño, apoyo y su confianza en mí.

De igual manera a mi familia y amigos, que, con sus palabras de aliento, me mostraron su apoyo y alentaron a seguir adelante.

Jeferson

Este trabajo está dedicado de manera especial a mis queridos padres Fernando Uquillas y Victoria Lescano quienes supieron enseñarme la responsabilidad y dedicación en base a su ejemplo, que supieron darme las palabras que necesitaba escuchar y me brindaron todo el apoyo que dentro de sus posibilidades estaba. A mis hermanos Luis y Karla quienes me inspiraron a ser mejor y me mostraron lo que es la perseverancia. A Mishel Medina por brindarme todo su afecto, ayuda y estar a mi lado en el transcurso de mi vida universitaria. De igual manera está dedicado a mi familia y mis amigos por brindarme todo su apoyo y consejos de experiencia. A los mejores docentes de la Facultad de Mecánica por ser una parte muy importante en la formación de mi carácter personal brindándome los conocimientos y guías para lograr con mi objetivo.

Marcos

## AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial y sincero a mis padres y hermanos, que son lo más importante en mi vida, porque gracias a todo su sacrificio, amor y cariño he podido culminar mi carrera y lograr una meta en mi vida.

Agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por permitirme formarme y ser un profesional, al Ing. Telmo Moreno Director del trabajo de Titulación y al Ing. John Vera Miembro del Tribunal por brindarnos su guía y conocimiento y a mi compañero de titulación Marcos Uquillas por ser un gran compañero y amigo.

Jeferson

Un agradecimiento inconmensurable a mis padres y hermanos, por el logro alcanzado. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por haberme acogido en esta etapa de vida universitaria y a la Facultad de Mecánica por haber puesto a los mejores ingenieros a cargo de mi instrucción. Un agradecimiento al Ing. Telmo Moreno y al Ing. John Vera por ser parte de este proyecto final, por brindarnos toda la ayuda y orientarnos hacia la culminación de esta gran meta que es la Titulación en Ingeniería Mecánica. Un agradecimiento particular a mi compañero Jeferson Lemache por demostrar una gran convicción y responsabilidad para realizar este último trabajo como colegas universitarios y sobre todo haber sido un gran amigo en el cual se pudo confiar incondicionalmente.

Marcos

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	ix
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	x
<b>INDICE DE GRÁFICOS</b> .....	xiii
<b>INDICE DE ANEXOS</b> .....	xiv
<b>RESUMEN</b> .....	xv
<b>SUMMARY</b> .....	xvi
<b>1. INTRODUCCION</b> .....	1
<b>1.1 Introducción</b> .....	1
<b>1.1.1 Antecedentes</b> .....	1
<b>1.1.2 Planteamiento del problema</b> .....	2
<b>1.1.3 Justificación</b> .....	3
<b>1.1.3.1 Justificación teórica</b> .....	3
<b>1.1.3.2 Justificación metodológica</b> .....	3
<b>1.1.3.3 Justificación práctica</b> .....	3
<b>1.1.4 Objetivos</b> .....	4
<b>1.1.4.1 Objetivo general</b> .....	4
<b>1.1.4.2 Objetivos específicos</b> .....	4
<b>2 MARCO TEORICO</b> .....	5
<b>2.1 Marco teórico referencial</b> .....	5
<b>2.1.1 Calentadores de agua</b> .....	5
<b>2.1.1.1 Clasificación de los calentadores de agua</b> .....	5
<b>2.1.1.2 Calentadores de paso</b> .....	5
<b>2.1.1.3 Calentadores acumuladores</b> .....	6
<b>2.1.2 Calentador de agua a GLP instantáneo o de paso</b> .....	6
<b>2.1.3 Sistemas de encendido</b> .....	6
<b>2.1.3.1 Encendido piezo eléctrico</b> .....	6
<b>2.1.3.2 Encendido ionizado</b> .....	7
<b>2.1.3.3 Encendido hydropower plus</b> .....	7
<b>2.1.4 Cámaras de combustión</b> .....	7
<b>2.1.4.1 Cámara abierta</b> .....	7
<b>2.1.4.2 Cámara estanca</b> .....	7
<b>2.1.5 Sistema de extracción de gases</b> .....	8
<b>2.1.6 Partes constitutivas de un calentador de agua a GLP o calefón</b> .....	8

2.1.7	<b>Principio de funcionamiento encendido hydro power</b> .....	9
2.2	<b>Micro generación hidráulica</b> .....	10
2.2.1	<b>Condiciones de diseño</b> .....	10
2.3	<b>Criterios selección de turbinas hidráulicas</b> .....	12
2.3.1	<b>Turbina hidráulica</b> .....	12
2.3.2	<b>Tipos de turbina hidráulica</b> .....	13
2.3.2.1	Turbinas de acción.....	13
2.3.2.2	Turbinas de reacción.....	15
2.3.3	<b>Velocidad específica</b> .....	15
2.3.4	<b>Mediante gráficos de altura y caudal</b> .....	16
3	<b>METODOLOGIA</b> .....	17
3.1	<b>Metodología de Investigación</b> .....	17
3.2	<b>Diseño y Cálculos Hidráulicos</b> .....	18
3.2.1	<b>Parámetros de la red instalada del primer prototipo</b> .....	18
3.2.2	<b>Parámetros de la red instalada del segundo prototipo</b> .....	19
3.2.3	<b>Selección de Turbina</b> .....	21
3.2.4	<b>Parámetros de selección</b> .....	22
3.2.5	<b>Dimensionamiento de la Geometría del Rodete</b> .....	24
3.2.6	<b>Criterio de selección del diámetro del rodete</b> .....	26
3.2.7	<b>Diseño de los alabes de la turbina</b> .....	27
3.3	<b>Modelado preliminar de la geometría del dispositivo</b> .....	29
3.3.1	<b>Modelado de la Microturbina</b> .....	30
3.3.2	<b>Modelado del eje y Bujes</b> .....	30
3.3.3	<b>Modelado del Porta - Imán para el Acople Magnético del generador</b> .....	30
3.3.4	<b>Modelado de la carcasa</b> .....	31
3.3.5	<b>Carcasa del Generador</b> .....	32
3.3.6	<b>Tapa de Carcasa Generador</b> .....	32
3.4	<b>Validación de la Geometría por MEF</b> .....	33
3.4.1	<b>Evaluación del flujo del fluido mediante la herramienta ANSYS CFD</b> .....	34
3.4.2	<b>Definición completa del volumen de control</b> .....	34
3.4.3	<b>Análisis MEF para la turbina rediseñada</b> .....	43
3.4.4	<b>Análisis MEF para la Carcasa</b> .....	48
3.5	<b>Simulación Microgenerador</b> .....	51
3.5.1	<b>Función de Transferencia Generador DC</b> .....	51
3.5.2	<b>Simulación de funcionamiento</b> .....	55
3.6	<b>Análisis de Rendimiento</b> .....	58
4	<b>GESTION DEL PROYECTO</b> .....	61
4.1	<b>Tipos de construcción de los componentes</b> .....	61

4.1.1	Mecanizado CNC.....	61
4.1.2	Mecanizado .....	68
4.1.3	Impresión 3D.....	71
4.2	Selección del imán.....	73
4.3	Selección motor DC como generador.....	74
4.4	Ensamble micro generador .....	76
4.5	Instalación, comprobación y resultados. ....	78
4.6	Cálculo de la relación Beneficio Costo (B/C) .....	85
4.6.1	Cálculo de valores de beneficio del proyecto.....	85
4.6.2	Calculo valor total de costos del proyecto. ....	86
5	CONCLUSIONES .....	89
6	RECOMENDACIONES .....	92
<b>GLOSARIO</b>		
<b>BIBLIOGRAFIA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-3.</b>	Características Calefón 26 LT JUMBO GO-179 Instamatic. ....	19
<b>Tabla 2-3.</b>	Características Calefón BOSCH GWH6 B31. ....	21
<b>Tabla 3-3.</b>	Comparación de parámetros de instalación para los dos prototipos. ....	21
<b>Tabla 4-3.</b>	Datos para la selección de turbina. ....	22
<b>Tabla 5-3.</b>	Condiciones de Trabajo Primer Modelo ....	22
<b>Tabla 6-3.</b>	Condiciones Asumidas en el primer modelo ....	23
<b>Tabla 7-3.</b>	Velocidades de la Turbina ....	23
<b>Tabla 8-3.</b>	Condiciones de Trabajo Rediseño del Modelo ....	23
<b>Tabla 9-3.</b>	Rango de aplicación de turbinas hidráulicas. ....	24
<b>Tabla 10-3.</b>	Variación ángulo $\beta_1$ para construcción del rotor Michell Banki ....	25
<b>Tabla 11-3.</b>	Dimensiones de la Turbina rediseñada ....	29
<b>Tabla 12-3.</b>	Parámetros Malla de Volumen de Control. ....	35
<b>Tabla 13-3.</b>	Parámetros de Entrada y Salida ....	37
<b>Tabla 14-3.</b>	Reporte de Fuerzas Resultantes ....	43
<b>Tabla 15-3.</b>	Parámetros Malla de Turbina. ....	45
<b>Tabla 16-3.</b>	Parámetros Malla de Carcasa. ....	48
<b>Tabla 17-3.</b>	Condiciones del sistema. ....	58
<b>Tabla 18-3.</b>	Velocidad en la turbina ....	59
<b>Tabla 1-4.</b>	Procesos de construcción de componentes micro generador. ....	61
<b>Tabla 2-4.</b>	Características Línea ROMI D. ....	63
<b>Tabla 3-4.</b>	Características de mecanizado ALUMOLD 500 ....	65
<b>Tabla 4-4.</b>	Características torno CLK 6140 D/2. ....	69
<b>Tabla 5-4.</b>	Propiedades mecánicas AISI 304. ....	69
<b>Tabla 6-4.</b>	Propiedades Latón. ....	70
<b>Tabla 7-4.</b>	Propiedades físicas y mecánicas imán de Neodimio. ....	73
<b>Tabla 8-4.</b>	Valores Voltaje vs Caudal ....	79
<b>Tabla 9-4.</b>	Valores Corriente vs Caudal ....	80
<b>Tabla 10-4.</b>	Valores Potencia vs Caudal ....	81
<b>Tabla 11-4.</b>	Calculo Beneficio del Proyecto. ....	86
<b>Tabla 12-4.</b>	Costo total microturbina ....	87
<b>Tabla 13-4.</b>	Costo total impresión 3D. ....	87
<b>Tabla 14-4.</b>	Costo componentes metálicos, motor e imanes. ....	88
<b>Tabla 15-4.</b>	Relación Beneficio-Costo del proyecto. ....	88

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2.</b>	Cámara abierta.....	7
<b>Figura 2-2.</b>	Cámara estanca.....	8
<b>Figura 3-2.</b>	Partes de un Calefón.....	8
<b>Figura 4-2.</b>	Despiece hidro generador.....	9
<b>Figura 5-2.</b>	Diseño general de una planta hidroeléctrica.....	12
<b>Figura 6-2.</b>	Turbina Pelton.....	14
<b>Figura 7-2.</b>	Turbina Banki.....	14
<b>Figura 1-3.</b>	Conexión Sensor de flujo con Arduino .....	18
<b>Figura 2-3.</b>	Toma de presión de la red de alimentación de agua potable.....	20
<b>Figura 3-3.</b>	Medición sensor de flujo YF-S201. ....	20
<b>Figura 4-3.</b>	Perfil del Rodete.....	27
<b>Figura 5-3.</b>	Perfil de velocidades .....	28
<b>Figura 6-3.</b>	Modelado 3D de la Turbina. ....	30
<b>Figura 7-3.</b>	Modelado 3D del eje y buje. ....	30
<b>Figura 8-3.</b>	Modelado 3D acople magnético.....	31
<b>Figura 9-3.</b>	Modelado 3D Carcasa con el ingreso del fluido .....	31
<b>Figura 10-3.</b>	Modelado 3D Carcasa con la salida del fluido.....	32
<b>Figura 11-3.</b>	Modelado 3D Carcasa del generador eléctrico.....	32
<b>Figura 12-3.</b>	Modelado 3D tapa de la carcasa del generador. ....	33
<b>Figura 13-3.</b>	Volumen de Control Microturbina Rediseño. ....	34
<b>Figura 14-3.</b>	Face Sizing, Body Sizing .....	37
<b>Figura 15-3.</b>	Condiciones de entrada-salida, (Boundary Inlet/Outlet).....	37
<b>Figura 16-3.</b>	Herramientas análisis ANSYS CFD.....	38
<b>Figura 17-3.</b>	Velocidad en la turbina Vectorial a) Isométrico, b) Superior a la entrada. ....	39
<b>Figura 18-3.</b>	Velocidad en la turbina Vectorial a) Lateral, b) Lateral a la entrada. ....	40
<b>Figura 19-3.</b>	Líneas de Flujo a) Vista Lateral izquierda, b) Vista Lateral derecha .....	40
<b>Figura 20-3.</b>	Líneas de Flujo en el Volumen de Control en vista isométrica.....	40
<b>Figura 21-3.</b>	Líneas de Flujo en la carcasa, a) Lateral izquierda, b) Lateral derecha. ....	41
<b>Figura 22-3.</b>	Líneas de Flujo en la carcasa vista superior. ....	41
<b>Figura 23-3.</b>	Perfil de Presiones Carcasa: a) lateral izquierda, b) isométrica. ....	41
<b>Figura 24-3.</b>	Perfil de Presiones Carcasa Visualización Estrangulación. ....	42
<b>Figura 25-3.</b>	Perfil de Presiones Turbina: a) lateral derecha, b) lateral izquierda.....	42
<b>Figura 26-3.</b>	Perfil de Presiones Turbina: a) Frontal y b) Zona de esfuerzos. ....	42
<b>Figura 27-3.</b>	Propiedades mecánicas Duraluminio - Referencial.....	44
<b>Figura 28-3.</b>	Propiedades mecánicas Aluminio 1050. ....	44

<b>Figura 29-3.</b>	Propiedades Mecánicas. ....	44
<b>Figura 30-3.</b>	Deformación Total, a) Objeto mallado, b) Sin mallado y deformado. ....	46
<b>Figura 31-3.</b>	Esfuerzo Equivalente: a) Mallado) Sin mallado. ....	47
<b>Figura 32-3.</b>	Factor de Seguridad, a) Objeto mallado, b) Sin mallado. ....	47
<b>Figura 33-3.</b>	Propiedades Mecánicas PLA. ....	49
<b>Figura 34-3.</b>	Esfuerzos Equivalentes de la Carcasa, a) Corte, b) lateral derecha. ....	50
<b>Figura 35-3.</b>	Deformación total de la Carcasa, a) Vista de Corte, b) Vista lateral derecha. ...	50
<b>Figura 36-3.</b>	Factor de Seguridad de la Carcasa, a) Corte, b) Lateral derecha. ....	51
<b>Figura 37-3.</b>	Esquema electromecánico de un generador controlado por armadura. ....	51
<b>Figura 38-3.</b>	Diagrama de bloques en Simulink. ....	54
<b>Figura 39-3.</b>	Subsistema del diagrama. ....	54
<b>Figura 40-3.</b>	Función de transferencia del sistema. ....	54
<b>Figura 41-3.</b>	Sistema con carga. ....	56
<b>Figura 42-3.</b>	Sistema sin carga. ....	57
<b>Figura 43-3.</b>	Velocidad a la entrada de la turbina. ....	59
<b>Figura 1-4.</b>	Lingote de duraluminio. ....	62
<b>Figura 2-4.</b>	CNC ROMI D600. ....	62
<b>Figura 3-4.</b>	Recorridos Línea ROMI D. ....	63
<b>Figura 4-4.</b>	Interfaz Siemens NX 12. ....	64
<b>Figura 5-4.</b>	Turbina en Siemens NX 12. ....	64
<b>Figura 6-4.</b>	Simulación desbaste en Siemens NX 12. ....	65
<b>Figura 7-4.</b>	Código numérico generado en Siemens NX 12. ....	66
<b>Figura 8-4.</b>	Interfaz Siemens Sinumerik 828D. ....	66
<b>Figura 9-4.</b>	Fresas HSS. ....	67
<b>Figura 10-4.</b>	Calibración lingote de duraluminio. ....	67
<b>Figura 11-4.</b>	Mecanizado de la turbina. ....	68
<b>Figura 12-4.</b>	Microturbina hidráulica. ....	68
<b>Figura 13-4.</b>	Mecanizado eje. ....	70
<b>Figura 14-4.</b>	Eje. ....	70
<b>Figura 15-4.</b>	Bujes. ....	71
<b>Figura 16-4.</b>	Impresora Prusa MK3S. ....	71
<b>Figura 17-4.</b>	Piezas para imprimir. ....	72
<b>Figura 18-4.</b>	Impresión piezas. ....	72
<b>Figura 19-4.</b>	Imanes de neodimio. ....	74
<b>Figura 20-4.</b>	Motores de corriente continua. ....	74
<b>Figura 21-4.</b>	RF-500TB-12560. ....	76
<b>Figura 22-4.</b>	Colocación de eje y bujes. ....	77
<b>Figura 23-4.</b>	Instalación de la microturbina. ....	77
<b>Figura 24-4.</b>	Carcasa y acople magnético de la microturbina. ....	77

<b>Figura 25-4.</b>	Colocación acople magnético y motor DC.....	78
<b>Figura 26-4.</b>	Micro generador. ....	78
<b>Figura 27-4.</b>	Prueba microturbina .....	79
<b>Figura 28-4.</b>	Encendido calefón GWH6 B31 por micro generación.....	83
<b>Figura 29-4.</b>	Led Panel Light de 3w. ....	83
<b>Figura 30-4.</b>	Encendido Led Panel Light de 3w. ....	84
<b>Figura 31-4.</b>	Linterna led de cabeza.....	84
<b>Figura 32-4.</b>	Encendido Linterna led de cabeza.....	85

## INDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2.</b>	Metodología de diseño CFD.....	11
<b>Gráfico 2-2.</b>	Altura vs Caudal. ....	16
<b>Gráfico 1-3.</b>	Metodología de investigación.....	17
<b>Gráfico 2-3.</b>	Representación de la corriente del sistema. ....	55
<b>Gráfico 3-3.</b>	Representación del caudal del sistema.....	55
<b>Gráfico 4-3.</b>	Representación de la corriente del sistema. (Simscape). ....	57
<b>Gráfico 5-3.</b>	Representación del voltaje del sistema. ....	58
<b>Gráfico 1-4.</b>	Comparación del voltaje entre los motores.....	75
<b>Gráfico 2-4.</b>	Comparación de la corriente entre los motores.....	75
<b>Gráfico 3-4.</b>	Comparación de la potencia entre los motores. ....	76
<b>Gráfico 4-4.</b>	Comparación Voltaje vs Caudal de los dos prototipos. ....	80
<b>Gráfico 5-4.</b>	Comparación Corriente vs Caudal de los dos prototipos.....	81
<b>Gráfico 6-4.</b>	Comparación Potencia vs Caudal de los dos prototipos. ....	82
<b>Gráfico 7-4.</b>	Encuesta uso de baterías. ....	86

## **INDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** ESTADO DEL ARTE

**ANEXO B:** PROGRAMACION SENSOR DE FLUJO

**ANEXO C:** DATASHEET MOTOR DC

**ANEXO D:** ANALISIS ANSYS MICROGENERADOR

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo analizar, mejorar, optimizar e implementar un sistema de encendido con microgeneración hidráulica de un calefón a gas para evitar el uso de pilas. La metodología basada en el estado del arte partió de una extensa búsqueda bibliográfica hasta la configuración paramétrica del rediseño de un hidrogenerador. Se midió de forma experimental las variables de entrada aplicadas al modelo actual, para con ellas determinar un completo rediseño de la geometría. Se realizó un completo análisis CFD y Estructural mediante el uso del software ANSYS del diseño inicial y final del micro hidrogenerador basándose en las nuevas condiciones. Se rediseño la geometría del dispositivo basándose en los resultados de la simulación. Se realizó el modelado 3D en el software SolidWorks. Para la construcción del rediseño final, se utilizó técnicas de maquinado CNC utilizando los instrumentos del Laboratorio CAD CAM de la Facultad de Mecánica y el software Siemens Nx. Se puso a prueba de funcionalidad midiendo las variables de entrada y salida, marcando el comportamiento del dispositivo generador y simulándolo en una función transferencia en la herramienta Simulink de Matlab. Se realizó un análisis comparativo de costos del primer modelo y del rediseño final para con ello determinar el margen de costo y beneficio. Se obtuvo nuevas geometrías relacionadas con los diámetros y variación del número de alabes de la turbina, aumento de espesores, cambio de material. La velocidad del flujo fue tres veces superior y la presión seis veces superior al primer modelo se obtuvo un voltaje máximo de 16,6V y 0,301 A de corriente. El factor de Costo/Beneficio fue de 1,1. Finalmente se obtuvo un rediseño óptimo bajo las condiciones de uso actual, demostrando un aumento considerable en la potencia y una viabilidad económica aceptable cumpliendo con los objetivos.

**Palabras clave:** <MICROGENERACIÓN HIDRÁULICA>, <ANSYS (SOFTWARE)>, <DINAMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL>, <ANÁLISIS ESTRUCTURAL>, <HIDROGENERADOR>, <CONTROL NUMERICO POR COMPUTADORA>, <SIEMENS NX (SOFTWARE)>.



06-07-2020

0106-DBRAI-UPT-2020

## SUMMARY

The present research aims to analyze, improve, optimize and implement an ignition system with hydraulic microgeneration of a gas boiler to avoid the use of batteries. The methodology based on the state of the art started from an extensive bibliographic search to the parametric configuration of redesign of a hydrogenerator. The input variables applied to the current model were measured experimentally to determine a complete redesign of the geometry. A complete CFD and structural analysis was performed using ANSYS software of the initial and final design of the micro hydrogenerator based on the new conditions. The geometry of the device was redesigned based on the results of the simulations. The 3D modeling was done in the Solid Works software. For the construction of the final redesign, CNC machining techniques were used, using the instruments of the CAD CAM laboratory at the Faculty of Mechanics and the Siemens NX software. Functionality was tested by measuring input and output variables, marking the behavior of the generating device, and simulating it in a transfer function in Matlab's Simulink tool. A comparative cost analysis of the first model and the final redesign was carried out to determine the cost and benefit margin. New geometries were obtained related to the diameters and variation of the number of turbines blades, thickness increase and material change. The flow speed was three times higher and the pressure six times higher than the first model, a maximum voltage of 16.6V and 0.301A current was obtained. The cost-benefit factor was 1.1. Finally, an optimal redesign was obtained under the current conditions of use, demonstrating a considerable increase in power and an acceptable economic viability accomplishing the objectives.

**Keywords:** <HYDRAULIC MICRO-GENERATION>, <ANSYS (SOFTWARE)>, <COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS>, <STRUCTURAL ANALYSIS>, <HYDROGENERATOR>, <COMPUTER NUMERICAL CONTROL>, <SIEMENS NX (SOFTWARE)>.

# 1. INTRODUCCION

## 1.1 Introducción

### 1.1.1 Antecedentes

La situación actual del país con respecto al uso de calefones a gas conlleva un amplio estudio descrito en Tomo I: Encuesta Nacional de Salud y Nutrición, ENSANUT-ECU 2012 (Ministerio de Salud Pública/Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, Quito-Ecuador, 2014, 718 págs. ) la cual representa en un porcentaje de 25% de personas de altos recursos económicos como poseedores de al menos un sistema de calefón a gas, incluyendo un adicional de 14% de personas de otros estratos sociales que de la misma manera utilizan al menos un calefón para su desempeño diario, en total el Calefón a GLP resumiendo en datos del (Ministerio de Salud Pública/Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, Quito-Ecuador, 2014, 718 págs. ) y de (Ramírez A., 2018) representa un 39% de la población total que utiliza un calefón para fines domésticos siendo esta una cifra significativa y de importancia para el desarrollo de nuestra investigación.

En un estudio realizado en el año 2018 (Ramírez A., 2018) acerca del uso de un nano generador hidráulico para el encendido de calefones a gas, se pudo comprobar la existencia de sistemas no convencionales y alternativos para el reemplazo de baterías comerciales siendo estas una de las principales fuentes de alta contaminación en el planeta. La investigación propuso un cambio en el sistema común de encendido de los calefones de la misma forma la investigación describe de manera completa la elaboración de un sistema de encendido en el calefón a GLP mediante el uso de la micro generación para evitar el uso de las baterías comunes utilizadas para la generación de chispa de ignición del combustible, el tema principal enmarca el diseño y construcción de una microturbina hidráulica capaz de convertir el flujo de agua en corriente eléctrica DC.

El aporte de la investigación (Reyna T., 2015) sobre análisis de microturbinas Pelton, Michell – Banki, Hélice y Turgo, mencionan de manera característica cada una de las diferencias entre estas micro turbinas encontradas en la provincia de Córdoba en Argentina, relacionando al tema de estudio, describe de manera centrada todas las características de la turbina Michell- Banki, esta turbina representa optimización con respecto a las condiciones de funcionamiento al ser la pauta para el desarrollo del análisis del flujo y obtención energética para el reemplazo de las pilas comunes en el calefón. Esta investigación recopila de manera completa datos obtenidos desde el año 2010 al 2014-2015 en el cual se realizó el diseño y construcción de cada una de las turbinas

ya mencionadas para comprar las características de funcionamiento y emitir conclusiones de las tecnologías que cada una posee.

La escasez de temas investigativos acerca de la nano generación hidráulica nos orienta hacia un estudio un poco más amplio, como en el trabajo de titulación propuesta por Santiago Giraldo en su tesis “PRUEBA DE UNA MICROTURBINA TIPO MICHEL-BANKI DE BAJA POTENCIA” (Giraldo S., 2017) la investigación publicada y proporcionada nos ilustra hacia el uso de una turbina Michell-Banki en casos de optimización de recolección energética con baja potencia, el documento nos demuestra así también los cálculos necesarios para el diseño y eficiencia del modelo construido marcando la base para un análisis más exhaustivo en nuestra investigación sirviendo de precedente un aceptable resultado final.

El estudio de factibilidad 2019 del aprovechamiento energético en líneas de agua potable aplicando micro generación hidroeléctrica propuesto por (Benambourg D.,2019)., describe las ventajas tanto económicas como tecnológicas de implementar un sistema de aprovechamiento de la energía presente en las líneas de distribución de agua potable, las ventajas mencionadas en esta investigación marcan la justificación para el desarrollo de una micro generación hidráulica basada en una sobrepresión en las líneas de agua potable la misma que se pudo aprovechar de manera satisfactoria para la generación eléctrica y su posterior uso en una industria de la región.

### **1.1.2 Planteamiento del problema**

En el tiempo actual, en donde la contaminación ambiental sigue siendo uno de los problemas más grandes de la humanidad, se necesita encontrar nuevas alternativas amigables con el medio ambiente, para que, la población con menos recursos, en lugares aislados lo puedan utilizar. Uno de los suministros de energía más utilizados hasta el momento son las baterías cuyo fin de utilidad son arrojadas con el resto de los desperdicios domiciliarios a vertederos o simplemente lanzadas a ríos, patios, etc., sin conocer el daño que produce en el ambiente. (Prosperi S., 2015). Las personas quizás no se den cuenta el daño que provocan al ecosistema al desecharlas, pensando que solo es una pila, lamentablemente todas las personas lo piensan, provocando un gran problema medio ambiental.

Cuando se desechan con el paso del tiempo, las envolturas o carcasas proceden a dañarse, lo que ocasiona la liberación de sus componentes tóxicos a los suelos cercanos y a fuentes de agua superficiales o subterráneos. Otra manera de la liberación de estos componentes es por medio de los incendios de basureros o quema de la basura, lo cual contamina el aire y la capa de ozono. (Marcillo M., 2012).

Por lo cual se ha encontrado la necesidad de una nueva alternativa amigable con el medio ambiente para el encendido de calefones de agua, evitando así la contaminación a causa de baterías mal desechadas.

### **1.1.3 *Justificación***

#### **1.1.3.1 *Justificación teórica***

Esta propuesta se realiza con la finalidad de incurrir en una metodología de diseño para implementar mejores técnicas de construcción, rediseño y selección de componentes de un sistema de encendido de calefón con micro generación hidráulica ya propuesto mediante la optimización de recursos, selección de óptimos materiales y la aplicación de técnicas, métodos e información existente en el campo ingenieril acerca del desarrollo del tema.

#### **1.1.3.2 *Justificación metodológica***

El mejoramiento y optimización que la propuesta tecnológica planteada establecida mediante métodos científicos y prácticos, una vez realizada las pruebas y validación del funcionamiento se dispondrá del estado del arte para su posterior uso en trabajos investigativos y sobre todo en su uso particular en los calefones a gas.

#### **1.1.3.3 *Justificación práctica***

Una vez terminada la propuesta tecnológica de mejoramiento y optimización del sistema de encendido de calefón con micro generación hidráulica, se obtendrá de manera directa las ventajas del nuevo diseño con respecto a su predecesor que seguirá reemplazando al sistema de encendido tradicional en los calefones a gas. Con esta optimización, el sistema de encendido podrá realizarse de manera industrial para su rápida implementación en los calefones domésticos instalados en el país.

## **1.1.4** *Objetivos*

### **1.1.4.1** *Objetivo general*

- Optimización e implementación de un sistema de encendido con micro generación hidráulica de un calefón a gas en reemplazo del uso de baterías

### **1.1.4.2** *Objetivos específicos*

- Analizar el estado del arte de los sistemas de micro generación hidráulica.
- Optimizar y evaluar la nueva alternativa para el encendido de un calefón a gas.
- Esquematizar, construir y validar el prototipo.
- Realizar un análisis costo/beneficio del sistema propuesto respecto al tradicional (empleando pilas).
- Encontrar nuevas aplicaciones a nuestro sistema de micro generación.

## **2 MARCO TEORICO**

### **2.1 Marco teórico referencial**

En este apartado, se evidencia toda la información bibliográfica recopilada al desarrollo de una microturbina para uso en la micro generación hidráulica en el campo doméstico, cabe decir que la investigación se enfocara la utilización del mismo dentro del sistema de encendido de un calefón a gas comercial tomando en cuenta todas las caracterizaciones y condiciones de uso, así como parámetros de funcionamiento en una red doméstica de agua potable para su posterior análisis de generación energética y aprovechamiento de la misma en otras aplicaciones de importancia.

#### **2.1.1 *Calentadores de agua***

Basándonos en la información obtenida del portal informativo y comercial (Construmática, 2020) los calentadores de agua se definen como un instrumento termodinámico capaz de utilizar cualquier tipo de energía disponible para elevar la temperatura del agua para su aplicación doméstica o industrial, en este caso el uso implícito de gas natural, propano, querosén se destacan por ser las más utilizadas en el medio común.

##### **2.1.1.1 *Clasificación de los calentadores de agua***

La información acerca de la clasificación de los calentadores de agua descritos en el trabajo de titulación de (Villalta L.; Buñay S., 2016) clasifican en dos grupos de importancia a los calentadores de uso doméstico:

##### **2.1.1.2 *Calentadores de paso***

Otra denominación de estos sistemas es la de paso instantáneo o continuo, la principal característica de estos calentadores es la de producir agua caliente según la necesidad instantánea, ya que no poseen un tanque de almacenamiento, el calentamiento del agua se produce al momento que se active el flujo, es decir, el agua debe pasar por unos conductos de tal manera que se encienda el quemador a gas mediante un switch conectado a un sensor hidráulico, al mismo momento que el flujo pase a través de estos conductos, el quemador calentara dichos elementos elevando la temperatura de agua a la deseada.

Según (Altamira, 2020) “Los modelos de gas pueden alcanzar las 8 kcal/s como es el caso de un calentador de 18 L/min”, para este caso la descripción acierta con las condiciones de la investigación.

### **2.1.1.3 Calentadores acumuladores**

Basándonos en la fuente anterior, la definición de calentadores de acumulación se ve reflejada en el uso exclusivo de un tanque acumulador, en el cual el agua se acumula hasta un nivel predeterminado y la calientan mediante una fuente de calor hasta una temperatura deseada, la capacidad de estos calentadores de agua van desde los 15L hasta los 1000L (modelo industrial), por lo general el uso de GLP o gas natural hacen de este calentador un aparato no versátil ya que se debe seleccionar una capacidad y temperatura determinada para su funcionamiento, caso contrario una vez agotada el agua se realizara el proceso de calentamiento las veces que sean necesarias y hasta que finalice pasaría un largo tiempo siendo esta su principal desventaja.

### **2.1.2 Calentador de agua a GLP instantáneo o de paso**

La definición de Calentador de agua a GLP según el autor (Villalta L.; Buñay S., 2016) lo define como un calentador de paso continuo instantáneo, el cual utiliza de manera continua gas licuado de petróleo para calentar agua de uso cotidiano. El funcionamiento generalizado de este tipo de calentadores se deriva en el paso de agua a través de tuberías serpentinas generalmente de cobre las cuales están expuestas a un quemador con sistema controlado.

### **2.1.3 Sistemas de encendido**

Correspondiente al uso de un calentador de agua a GLP, existen 3 principales tipos de encendido:

#### **2.1.3.1 Encendido piezo eléctrico**

La información proporcionada por el portal informativo en línea (Leroymerlin,2020) define al encendido piezoeléctrico o con tren de chispas como un sistema de encendido de tipo manual, se debe accionar un botón con el cual generaremos la chispa para el encendido del calentador o calefón de agua. Este sistema de encendido utiliza generalmente cristales piezoeléctricos como el Zirconato de plomo (PTZ) para producir la energía suficiente para encender un sistema completo, lastimosamente está sujeto a condiciones de presión y no tiene un buen desempeño.

### 2.1.3.2 Encendido ionizado

Este tipo de encendido tiene una prestación inmediata de funcionalidad, en comparación con el caso anterior no es necesario llevar una acción manual, el calefón o calentador esta siempre listo a funcionar sin una llama piloto, la única acción a realizar es la de abrir la llave de agua caliente y tener activas en el sistema eléctrico dos pilas de 1.5V. (Junkers,2020)

### 2.1.3.3 Encendido hydropower plus

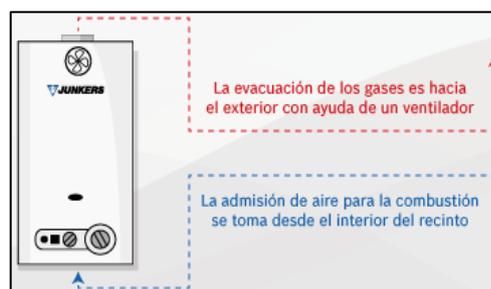
Este sistema de encendido es uno de los más modernos implementados en calentadores de agua de última generación, como se menciona en el trabajo de titulación de (Villalta L.; Buñay S., 2016) se utiliza principalmente una microturbina hidráulica en la vía principal de flujo de agua, la cual al ser abierta la llave, el flujo que atraviesa por la turbina produce la energía suficiente para encender la chispa del calentador, es un sistema automático y marca la base principal de la propuesta tecnología actual.

### 2.1.4 Cámaras de combustión

La clasificación de los calentadores (Junkers,2020) nos presenta lo siguiente:

#### 2.1.4.1 Cámara abierta

El oxígeno para la combustión se toma directamente del interior del recinto y se evacuan los gases de combustión mediante un extractor de gases.

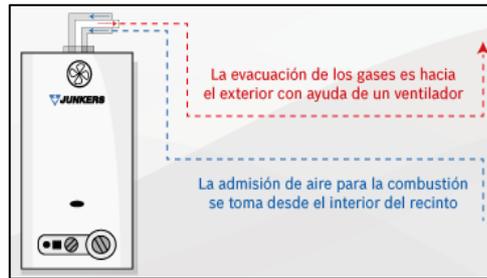


**Figura 1-2.** Cámara abierta.

Fuente: Juckers,2020

#### 2.1.4.2 Cámara estanca

Se evidencia un conducto concéntrico por el cual el oxígeno del aire es llevado para su combustión y de la misma forma los gases de combustión son evacuados por el mismo conducto hacia el exterior mediante la ayuda de un ventilador.



**Figura 2-2.** Cámara estanca.

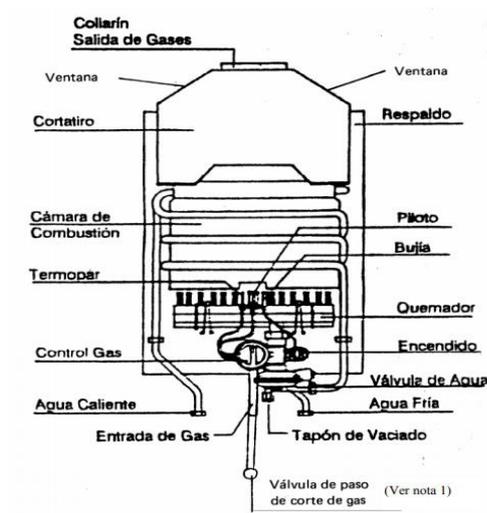
Fuente: Juckers,2020

### 2.1.5 Sistema de extracción de gases

La clasificación según la extracción se basa en el uso o no de un ventilador para la salida de los gases de combustión siendo de dos tipos principalmente, de TIRO NATURAL el cual no requiere sistema de extracción y este sujeto a la presión atmosférica para la dispersión de los gases y de TIRO FORZADO mediante el uso de un ventilador para evacuar rápidamente estos gases.

### 2.1.6 Partes constitutivas de un calentador de agua a GLP o calefón

Basándonos en las especificaciones generales pronunciadas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN y descritas en la normativa NTE INEN 2 124:98, el calefón está conformado por las siguientes partes:



**Figura 3-2.** Partes de un Calefón.

Fuente: NTE INEN 2 124:98

Sin importar el modelo, los calentadores poseen características similares en su estructura, como se evidencia en la norma INEN 2 124:98, las semejanzas entre los diferentes tipos de calentadores de paso continuo convergen en los siguientes elementos:

Tubería de ingreso de agua fría.

Tubería de salida de agua caliente.

Tubería de entrada de GLP.

Control de entrada de GLP.

Control de ingreso de agua.

Sistema de encendido.

Quemador.

Termopar.

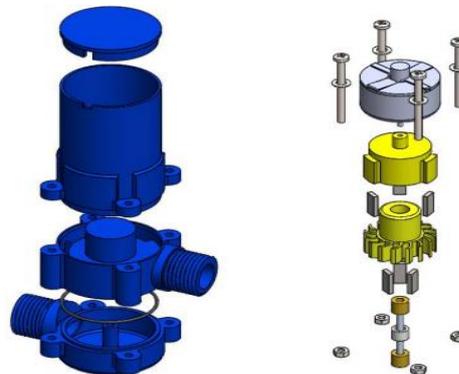
Cámara de Combustión.

Salida de gases.

Estos elementos son indispensables en la construcción de cualquier tipo de calentador de agua a GLP.

### **2.1.7 Principio de funcionamiento encendido hydro power**

Derivando de la definición de encendido HYDRO POWER, VARIOS AUTORES incluido (Ramírez A.,2018) se basa principalmente en la hidro generación de electricidad a partir de una nano turbina montada en un sistema hidráulico, en serie con el calentador de agua.



**Figura 4-2.** Despiece hidro generador.

Fuente: Ramírez A. 2018

El dispositivo utilizado es una turbina híbrida entre Pelton y Michel – Banky acoplada a un generador de corriente continua.

El flujo de agua atraviesa el dispositivo accionando el giro de la turbina, la cual mediante un acople magnético hace girar el eje del generador.

El actuar del generador de corriente continua produce un voltaje determinado por la presión en la tubería o línea de agua domiciliaria, la cual, mediante un circuito controlador y regulador desemboca a su posterior uso en la ignición de la chispa y encendido del GLP en el calefón.

Una vez generada la chispa y encendido del calefón, el agua recirculante en el sistema aumentara su temperatura cumpliendo así con la funcionalidad del sistema en conjunto con el calefón.

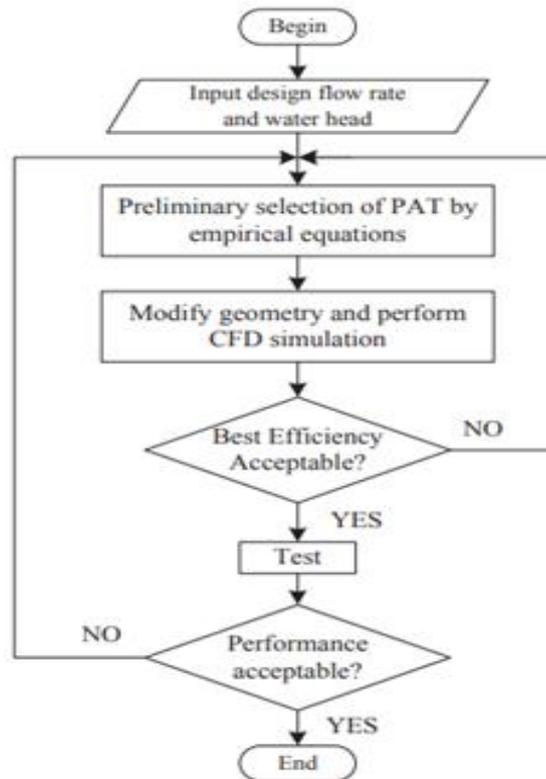
## **2.2 Micro generación hidráulica**

La micro generación hidráulica es un tema extenso en el campo ingenieril y de investigación, basándonos en el criterio de (Dua,2016) sobre la micro generación, queda implícito el uso de turbinas hidráulicas para el aprovechamiento de caídas de agua en regiones geográficamente aptas. El factor principal para el aprovechamiento energético a escala micro es la demanda energética que necesita una sociedad en constante crecimiento, no hay que confundir la escala de aplicabilidad ya que se requieren otro tipo de metodología para el análisis y obtención de energía. El principio de fundamental de la micro generación en la investigación antes mostrada es la de aprovechar el exceso de energía provista por el fluido y recobrar parte de este mediante el uso de hidro turbinas y electro generadores.

(Ramírez A.,2018) enuncia a la micro generación hidráulica como la producción de energía a baja escala, entre 10 KW a los 500KW, esta energía producida se enmarca en tecnologías verdes, de cuidado al medioambiente y de energía renovable.

### **2.2.1 Condiciones de diseño**

El proceso de análisis de la micro hidro generación se observa en el siguiente diagrama:



**Gráfico 1-2.** Metodología de diseño CFD.

Fuente: Du, Jiyun 2018

Se debe determinar las condiciones iniciales a las que se encuentra expuesta la energía del fluido, estas condiciones son: La cabeza de Presión y el Caudal.

En función a esas dos condiciones se inicia el diseño preliminar de la estructura y diseño de turbina mediante ecuaciones matemáticas y cálculos energéticos de acuerdo al espacio disponible y otros factores como materiales y costos de fabricación.

Una vez realizado los cálculos, el diseño enmarcara de manera completa los resultados obtenidos teóricamente en la simulación previa al desarrollo del prototipo final. Las conclusiones obtenidas por parte de la simulación deberán ser clara y expresar un valor de eficiencia necesaria para aprobar el diseño o no antes de la elaboración del prototipo, caso contrario se volverá a evaluar las condiciones iniciales y se reevaluará las ecuaciones y cálculos utilizados para mejorar dicha eficiencia y que sea aceptable.

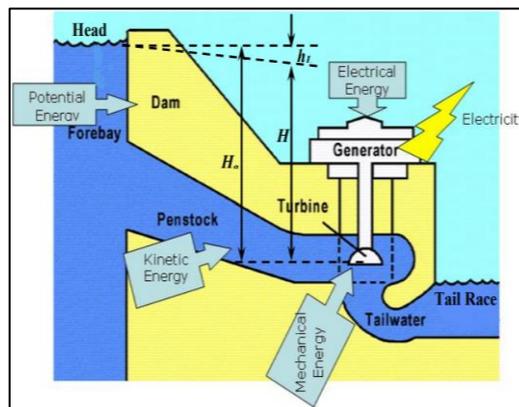
El desarrollo de las pruebas de eficiencia y desempeño realizadas después de elaborar el primer prototipo deberán ser analizadas minuciosamente debido a que las conclusiones que se obtendrán del análisis nos darán la pauta de si volver o no a realizar nuevamente el proceso a partir de los cálculos, ya que con esto se mejorara en un diseño final óptimo y eficiente dependiendo de las iteraciones que se realicen.

Si la eficiencia y el desempeño de un modelo final son adecuada y aceptables, se dice que el proceso ha culminado.

## 2.3 Criterios selección de turbinas hidráulicas

### 2.3.1 Turbina hidráulica

La turbina hidráulica es un dispositivo que convierte la energía hidráulica en energía mecánica o viceversa y se conoce como máquina hidráulica, esta convierte la energía hidráulica en mecánica por medio de un fluido (Prakash, s.f, p.1), generalmente agua, que al pasar por la turbina produce un movimiento de rotación, que, por medio de un eje, se conecta a un generador, transformando la energía mecánica en eléctrica.



**Figura 5-2.** Diseño general de una planta hidroeléctrica.

Fuente: (Prakash, s.f, p.1)

La Figura 5-2 nos indica las partes principales de una planta hidroeléctrica que consiste en lo siguiente:

1. Una presa construida a través de un río o un canal para almacenar agua en un depósito
2. Tuberías de gran diámetro llamados canales que llevan agua por medio de la presión desde el depósito de almacenamiento a las turbinas. Estas tuberías son generalmente de acero u hormigón armado.
3. Turbinas que tienen diferentes tipos de paletas o palas, montado en una rueda llamada corredor.
4. Desfogue, que es un canal que lleva el agua lejos de la turbina. después de que el agua haya trabajado en las turbinas.

Términos importantes:

Altura bruta ( $H_g$ ): es la diferencia vertical entre la altura del depósito y la entrada a la turbina.

Altura neta: ( $H$ ): la altura neta o altura efectiva es la altura real disponible en la entrada de la turbina.

$$H = H_g - h_l$$

Donde  $h_l$  es la pérdida de carga total durante el tránsito de agua desde el depósito a la entrada a la turbina, producida principalmente por la fricción, y es dada por:

$$f_v = \frac{4fLV^2}{2gd}$$

Donde:

$f$  es el coeficiente de fricción de la tubería dependiendo de su material

$l$  es la longitud total de la tubería

$V$  es la velocidad media de flujo de agua a través de la tubería

$d$  es el diámetro

$g$  es la aceleración debida a la gravedad

### **2.3.2 Tipos de turbina hidráulica**

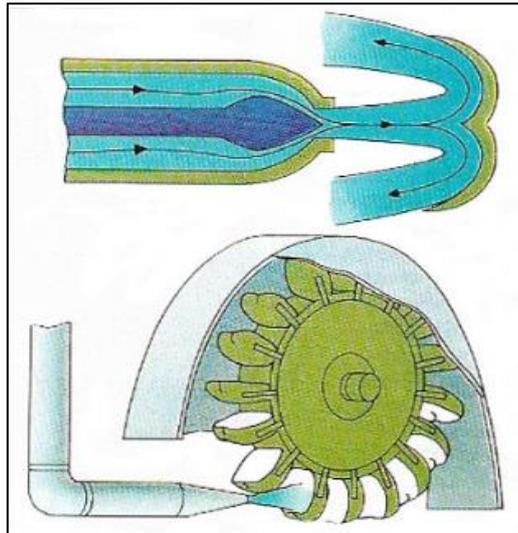
Las turbinas hidráulicas se clasifican generalmente en dos grandes tipos, que son turbinas de acción y turbinas de reacción.

#### **2.3.2.1 Turbinas de acción.**

Este tipo de turbinas tiene un grado de reacción nulo, su intercambio de energía se produce en el rodete exclusivamente por la energía cinética del fluido y la vena líquida se encuentra entre alabe y alabe y el rodete se encuentra a presión atmosférica. Ejemplo: Pelton, Banki. (Fajardo et al., 2017: p.13)

##### **Turbina Pelton**

Este tipo de turbina es instalada para aprovechar grandes desniveles, con caudales relativamente bajos, está formada por un rodete móvil con alabes de doble cuenco. Esta turbina tiene uno o varios inyectores que dirigen el chorro de agua a los alabes provocando rotación y movimiento en la turbina. Los inyectores se pueden regular, permitiendo el paso de más o menos agua, modificando la potencia de la turbina. (Vélez, 2013.p.65)



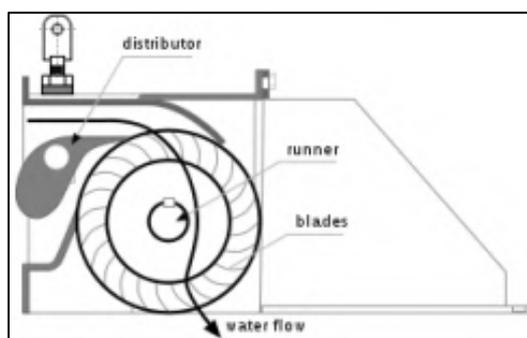
**Figura 6-2.** Turbina Pelton.

**Fuente:** ([https://www.daviddarling.info/encyclopedia/P/AE\\_Pelton\\_turbine.html](https://www.daviddarling.info/encyclopedia/P/AE_Pelton_turbine.html))

Este tipo de turbinas tiene una alta disponibilidad y relativo costo de mantenimiento, adicionalmente su rendimiento es alto, alrededor del 90% en condiciones de diseño. Su eje de instalación puede instalarse de forma horizontal o vertical, dependiendo del número de toberas y el diámetro del rodete.

#### Turbina Banki

La turbina Banki es también conocida de flujo cruzado y es clasificada como una turbina de impulso u entrada radial. La admisión en esta turbina es parcial y su flujo transversal, atravesando los alabes de forma diagonal, primero de fuera hacia adentro y a continuación, después de pasar por el interior del rodete, desde adentro hacia afuera. (Cabadiana et al., 2016: p.5).



**Figura 7-2.** Turbina Banki.

**Fuente:** (Cabadiana et al., 2016: p.6).

Las revoluciones de esta turbina son bajas, aptas para pequeñas alturas, pero grandes caudales. Gracias a su simple construcción, es de bajo costo, ideal para centrales de pequeño tamaño.

### 2.3.2.2 Turbinas de reacción.

En cambio, este tipo de turbinas, su grado de reacción no es nulo, su intercambio de energía se produce en el rodete tanto por variación de presión como por la energía cinética del fluido y la vena de fluido llena completamente los espacios entre alabes. (Fajardo et al., 2017: p.13)

Las turbinas de reacción se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Turbina Kaplan: Su flujo es axial con pequeñas alturas y grandes caudales.
- Turbina Francis: Su flujo es mixto, con una gran eficiencia y la más utilizada en la producción de energía eléctrica.

### 2.3.3 Velocidad específica

La velocidad específica ( $N_s$ ), es la cual gira un modelo geoméricamente semejante a la turbina real o prototipo, bajo una cabeza de un metro para producir una potencia de 1kw. (Suescun Monsalve, 2019).

Primero determinar el número específico de revoluciones de potencia o también conocido como numero de Cramer  $N_s$ .

$$N_s = \frac{N\sqrt{P}}{H_n^{1.25}}$$

Después se calcula el número de Brauer o número específico de revoluciones de caudal  $N_q$

$$N_q = \frac{N\sqrt{\frac{Q}{i}}}{H_n^{0.75}}$$

Donde:

N: Velocidad sincrónica o de rotación [rpm].

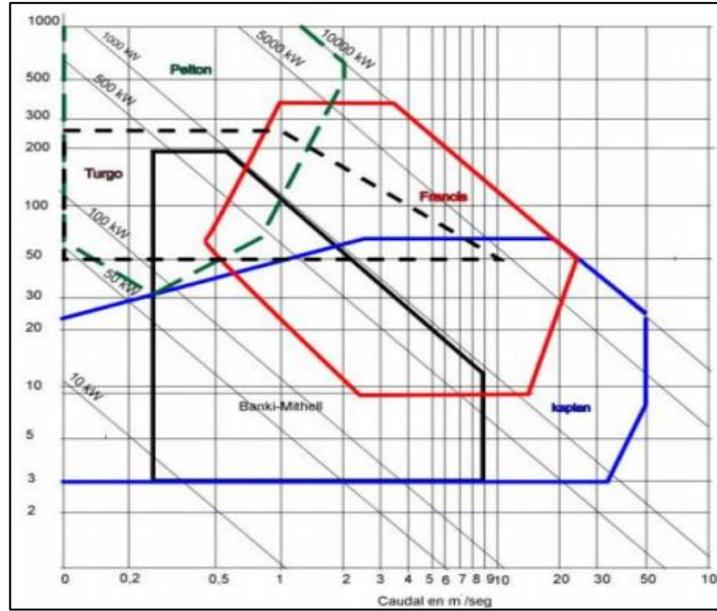
P: Potencia de la turbina [kW].

$H_n$ : Cabeza neta de diseño [m]

i: Numero de inyectores.

### 2.3.4 Mediante gráficos de altura y caudal

La grafica altura vs caudal ayuda a seleccionar un tipo de turbina, dependiendo de las condiciones en las que se planea implementar la hidroeléctrica.



**Gráfico 2-2.** Altura vs Caudal.

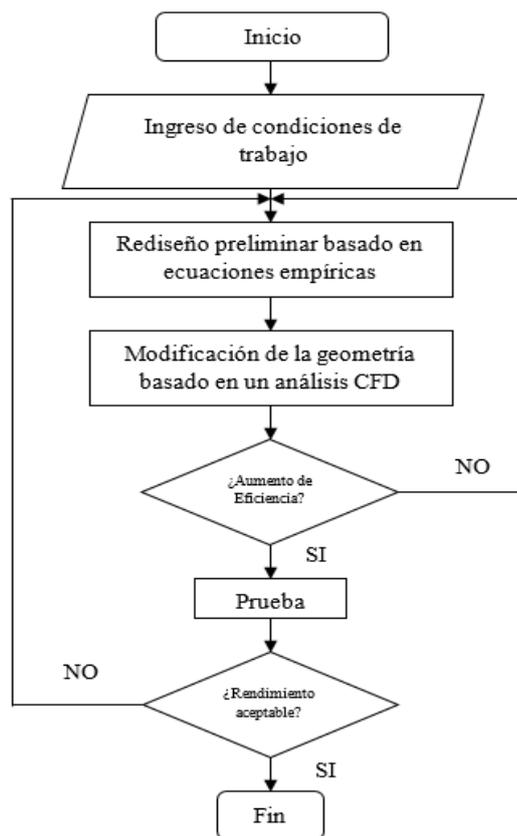
Fuente: Ferrada 2012

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Metodología de Investigación

El rediseño del micro hidro generador se basa en una metodología dedicada a un estudio del arte completo abarcando de manera específica cada uno de los detalles de su primer diseño y reincorporándonos a la investigación actual para su posterior modificación en base a diversos criterios a tomarse en cuenta para el aumento en la eficiencia del micro hidro generador y su posterior aprovechamiento energético basado en la hidro generación de una línea doméstica de agua potable.

La metodología tomada en cuenta para el desarrollo de la investigación se describe en el siguiente diagrama tomado de la bibliografía (DU, Jiyun, 2017).



**Gráfico 1-3.** Metodología de investigación.

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

La metodología se basa principalmente en el análisis del diseño preliminar, es decir a partir del modelo ya realizado en la investigación de (Ramírez A., 2018) y toda la información proporcionada en el documento investigativo y datos prácticos obtenidos del primer prototipo procederemos a evaluar bajo los criterios obtenidos de nuestra investigación un nuevo diseño realizando cambios significativos en cada uno de los elementos correspondiente al aumento en la eficiencia.

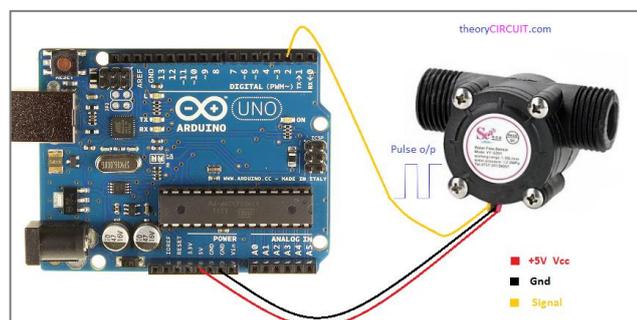
### 3.2 Diseño y Cálculos Hidráulicos

#### 3.2.1 Parámetros de la red instalada del primer prototipo.

El primer modelo se instaló en una tubería de agua fría conectada al calefón, cuya red está alimentada por el flujo de un tanque elevado a 3m de altura desde su base.

Para el cálculo de la presión de entrada del prototipo, se dimensiono la red de alimentación de agua al calefón determinando una altura bruta de 4.8m, longitud de tubería de 8.3m, diámetro comercial de la tubería de 1 pulgada, reducción de 1" a 1/2" en los últimos 30 cm de la red, también se registraron 6 codos a 90, una T y una válvula de bola para cortar el flujo de agua, dando como resultado una presión de 55452 Pa. (Ramirez,2018 pág. 29)

La determinación del caudal se determinó mediante un sensor de flujo YF-S201 conectado a un Arduino UNO con su respectivo código, su esquema de conexión se muestra a continuación.



**Figura 1-3.** Conexión Sensor de flujo con Arduino

**Fuente:** (<http://www.theorycircuit.com/water-flow-sensor-yf-s201-arduino-interface/> citado en Ramírez, 2018)

Los datos obtenidos se encuentran entre 3,607 LPM y 6,092 LPM, para el diseño del primer prototipo se utilizó el caudal más bajo. (Ramirez,2018 pág. 24)

El calefón utilizado en el primer prototipo es un 26 LT JUMBO GO-179 Instamatic, en la siguiente tabla se muestra las características del artefacto.

**Tabla 1-3.** Características Calefón 26 LT JUMBO GO-179 Instamatic.

Calefón a gas		
Fabricante	SHENQ TAY CO., LTD	
Marca/Modelo	GO-179	
Tipo	INSTANT/LPG	
Serie	OVHT-07032-NC	
Conexión de agua	G1/2	
Ignición	Automática (1pila "D"-1.5V)	
Caudal de funcionamiento		
Presión de agua min.	7 l/min	
Presión de agua máx.	26,3 l/min	

Fuente: (Ramirez,2018 pág. 21)

### 3.2.2 *Parámetros de la red instalada del segundo prototipo.*

Para el segundo prototipo, se procedió a conectar directamente con la red de agua potable, por la razón que su flujo es constante durante el día, asimismo tiene un mayor caudal y presión, siendo estas aprovechables para la generación de una mayor energía eléctrica.

Procedemos a tomar el valor de la presión de nuestra red de alimentación de agua por medio de la utilización de un manómetro PAOLO 100 PSI, conectándolo por medio de una manguera al suministro de agua potable domiciliario, como se muestra en la figura.



**Figura 2-3.** Toma de presión de la red de alimentación de agua potable.

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

Se tomaron varias mediciones para encontrar una presión más precisa, la cual es de 45,51 PSI, dato que será utilizado para nuestro diseño del nuevo prototipo.

Para la determinación del caudal se procedió a la utilización de un sensor de flujo de agua, el cual se conectó con el segundo prototipo.



**Figura 3-3.** Medición sensor de flujo YF-S201.

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

El sensor de flujo se conecta al computador por medio de un Arduino UNO, cuya programación se presenta en el ANEXO B.

Los datos de caudal obtenidos por el sensor de flujo y mostrados en Arduino es de 12,88 l/min, con el cual procederemos a realizar los cálculos.

En esta ocasión el prototipo se conectó a la entrada del calefón modelo Gwh6 B3 cuyas características se muestran a continuación.

**Tabla 2-3.** Características Calefón BOSCH GWH6 B31.

Calefón a gas	
Fabricante	BOSCH
Marca/Modelo	GWH6 B31
Tipo	INSTANT/LPG
Tipo de gas	GN, GLP
Consumo calorífico nominal	13.5 KW
Ignición	Automática (2 pilas “D”-1.5V)
Caudal	6 l/min
Presión de agua min.	30 kPa
Presión de agua máx.	1000 kPa



Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

Los parámetros de la instalación son diferentes, en cuanto al tipo de calefón a utilizarse, así como el caudal y la presión, por lo que el análisis serán diferentes, en la siguiente tabla se hace un resumen de los dos casos.

**Tabla 3-3.** Comparación de parámetros de instalación para los dos prototipos.

	Primer Prototipo	Segundo Prototipo
<b>Caudal (l/min)</b>	3,6	12,88
<b>Presión (PSI)</b>	8	45,51
<b>Calefón</b>		
<b>Caudal (l/min)</b>	7	6
<b>Ignición (V)</b>	1,5	3

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

### 3.2.3 Selección de Turbina.

En la investigación precedente de Ramírez (2018, p.30) el criterio de selección utilizado en la turbina se basa en el uso de velocidades específicas, las cuales a su vez dependen de ciertos valores como caudal y altura neta aprovechable. Siguiendo la metodología correspondiente se aplicó las fórmulas y ecuaciones adecuadas y de acuerdo con los valores adquiridos en la investigación inicial se muestra un resumen de los principales factores a tomarse en cuenta en la selección de la turbina.

**Tabla 4-3.** Datos para la selección de turbina.

Datos de entrada		Valor	Unidad
Caudal mínimo	Q	6,0116E-05	(m <sup>3</sup> /s)
Altura neta	Hn	4,789	(m)
Diámetro exterior del rodete	Dp	0,029	(m)
Numero de inyectoros	I	1	(-)
Numero especifico de revoluciones	Nq	5,506	(-)
Velocidad de giro de la turbina	N	2299	(rpm)
Coefficiente de velocidad de rotación	Ku'	0,3604	(-)

Fuente: Ramírez A. 2018

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

En base a estos valores obtenidos se cataloga la turbina Pelton como la más adecuada para el desarrollo de la investigación.

### 3.2.4 Parámetros de selección.

La potencia para obtenerse por medio del dispositivo es relativamente baja con respecto a los sistemas de hidro generación utilizados a escala micro, comúnmente estos dispositivos utilizan potencias de 10WK – 500Kw para la generación de energía eléctrica aprovechando caídas de hasta 200m de columna de agua. El diseño propuesto para nuestro dispositivo parte de un análisis comparativo de los resultados obtenidos por parte de Ramírez A. (2018) el cual expone un modelo híbrido de una turbina Michell-Banki y una turbina Pelton para el funcionamiento de un dispositivo capaz de reemplazar el uso de pilas en los calefones de uso común.

El diseño preliminar se basó en las condiciones básicas de uso de un calefón cuya línea de alimentación estaba provista de las siguientes condiciones:

**Tabla 5-3.** Condiciones de Trabajo Primer Modelo

Altura Neta	Hn	4.7885 m
Caudal	Q	6.011E-5 m <sup>3</sup> /s
Presión	P	54986 Pa

Fuente: Ramírez A. 2018

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

La selección de la turbina y el cálculo de la velocidad de giro parten de una hipótesis propuesta por el autor y basado en cálculos del manual OLADE (1988) de la siguiente forma:

**Tabla 6-3.** Condiciones Asumidas en el primer modelo

<b>Diámetro del Rodete</b>	Dp	29mm
<b>Numero de Inyectores</b>	i	1
<b>Tipo de Turbina</b>	-	Pelton

Fuente: Ramírez A. 2018

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

Y mediante un sistema de tres ecuaciones con tres incógnitas, los valores de las velocidades obtenidas son las siguientes:

$$N_q = N \left[ \frac{\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{(H_n^3)}} \right] \quad (1)$$

$$N = \frac{84,84Ku'\sqrt{H}}{Dp} \quad (2)$$

$$Ku' = 0.49 - \frac{0.0072N_q}{\sqrt{i}} \quad (3)$$

**Tabla 7-3.** Velocidades de la Turbina

<b>Numero específico de revoluciones</b>	Nq	5.506
<b>Velocidad de giro de la turbina</b>	N	2299 (rpm)
<b>Coefficiente de velocidad de rotación</b>	Hu'	0.3604

Fuente: Ramírez A. 2018

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

El rediseño de la turbina contempla acoplar los nuevos valores de trabajo a las condiciones de diseño emitidos en una primera instancia por Ramírez A. tomando en cuenta los siguientes valores:

**Tabla 8-3.** Condiciones de Trabajo Rediseño del Modelo

<b>Altura Neta</b>	Hn	32.011 m
<b>Caudal</b>	Q	2.1667E-4 m <sup>3</sup> /s
<b>Presión</b>	P	313711.45 Pa
<b>Diámetro del Rodete</b>	Dp	30mm
<b>Numero de Inyectores</b>	i	1

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

La altura neta es producto de mediciones en la línea de suministro de agua de la ciudad de Riobamba, en el apartado anterior se muestra el procedimiento de toma de valores, se ha tomado el valor máximo de funcionamiento para el análisis CFD y estructural.

Resolviendo el sistema de ecuaciones anteriormente propuesto obtenemos los valores estimados para la velocidad y velocidad específica.

$$N_q = 7.848$$

$$N = 7175.22$$

$$Ku' = 0.4334$$

**Tabla 9-3.** Rango de aplicación de turbinas hidráulicas.

<b>TIPO DE TURBINA</b>	<b>Nq</b>	<b>Ns</b>
Turbina Pelton de 1 tobera	Hasta 9	Hasta 10
Turbina Pelton de 2 tobera	4-13	14-42
Turbina Pelton de 3 tobera	5-22	17-73
Turbina Michell-Banki	18-60	60-200
Turbina Francis Lenta	18-38	69-125
Turbina Francis Normal	38-68	125-225
Turbina Francis Rápida	68-135	225-450
Turbina Axial	105-300	350-1000

Fuente: Ramírez A. 2018

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

En base a los valores obtenidos se infiere que el diseño corresponde a una turbina Michell-Banki, tal como lo expresa Ramírez A. en su primer diseño se adoptó un modelo Pelton modificada con Banki, al coincidir con el criterio del primer modelado, el rediseño parte de una turbina Pelton con un diámetro asumido de 29mm con una obtención de casi el doble de velocidad de la turbina en comparación con los primeros cálculos.

### **3.2.5 Dimensionamiento de la Geometría del Rodete**

De acuerdo con Ramírez (2018, p 34) los álabes de la turbina Pelton son construidos de acuerdo a la geometría de las turbinas Michell Banki, dicha decisión tomada por el autor se justifica por la simplicidad del diseño y la comparativa con las antiguas ruedas hidráulicas utilizadas en la hidro generación.

Para ello las especificaciones principales de la construcción de la geometría existentes en el Manual OLADE (1980, p.18) incurren en el cálculo de diversos factores basados en datos anteriormente obtenidos como se presentan a continuación.

**Tabla 10-3.** Variación ángulo  $\beta_1$  para construcción del rotor Michell Banki

$\alpha_1$	$\beta_1$
16	29,83
16,01	29,99
<b>16,102</b>	<b>30</b>
16,2	30,15
16,4	30,48
16,8	31,12
17	31,44

Fuente: Ramírez A. 2018

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

El diámetro  $D_e$  está estimado de manera arbitraria con un valor de 29 mm de acuerdo a las geometrías preliminares, por ende, en el desarrollo de la siguiente ecuación obtenida en el manual OLADE (1980, pág. 18) con los valores anteriores se incurre en la estimación del diámetro interno como se muestra a continuación:

$$\frac{D_i}{D_e} = \sqrt{\frac{(2Ku \cos^2 \alpha_1 - 1) + \sqrt{1 - 4 \cos^2 \alpha_1 (1 - Ku) Ku}}{2Ku^2 \cos^2 \alpha_1}}$$

$$D_i = 0.01911m$$

Para el cálculo del radio de curvatura de los álabes del rodete se utiliza la siguiente canción tomada del mismo manual OLADE y especificada por Ramírez (2018, p.33).

$$r = \frac{D_e}{4 \cos^2 \beta_1} \left| a - \left| \frac{D_i}{D_e} \right|^2 \right|$$

$$r = 0.004778m$$

El cálculo de la curvatura de los álabes se obtiene de la ecuación siguiente:

$$\varphi = 2 \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left| \frac{\cos^2 \beta_1}{\left| \frac{D_i}{D_e} \right| + \operatorname{sen}^2 \beta_1} \right|$$

$$\varphi = 73.717^\circ$$

Cómo se especificó en un inicio la turbina seleccionada es una Pelton por ende el cálculo del número de álabes corresponde a la ecuación siguiente:

$$Z = \frac{\pi D_p}{(1.4 \sim 1.6) d_c}$$

Donde:

$D_p$ , diámetro Pelton en metros

$d_c$ , diámetro de chorro, en metros

$$Z = 15.18$$

### 3.2.6 Criterio de selección del diámetro del rodete.

Este valor infiere en uno de tipo aleatorio, Ramírez A. opto por un diámetro de 29mm tomando en cuenta las dimensiones que la línea de distribución de agua tomaba al ingresar dentro del domicilio, este valor equivale aproximadamente dos diámetros internos de la tubería utilizada en la red doméstica y en base a este diámetro se arma la geometría total del elemento.

Este valor referencial no tenía ningún sustento técnico sobre las condiciones de trabajo por esta razón era necesario justificar estos valores.

En nuestro caso el diámetro del rodete determino mediante el cálculo proporcionado en el “Manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas” (Bazo 1985) el cálculo es el siguiente:

$$N = \frac{39.85\sqrt{H}}{D_e}$$

Donde  $D_e$

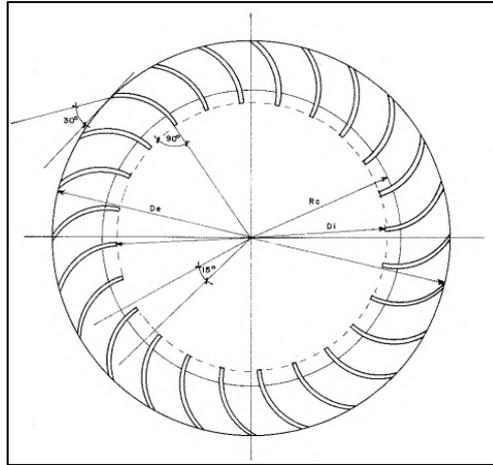
$$D_e = \frac{39.85\sqrt{H}}{N}$$

$$D_e = 0.03142 \text{ m} = 31.42 \text{ mm} \approx 30$$

EL valor del diámetro calculado de 30mm corresponde a una aproximación del valor cerrado más cercano, por forma se facilita la forma y el maquinado final para su construcción.

Con este cálculo se pretende aumentar esfuerzos de contacto, aumentar la velocidad y el torque en el dispositivo para una completa generación eléctrica.

### 3.2.7 Diseño de los alabes de la turbina.



**Figura 4-3.** Perfil del Rodete

Fuente: (OLADE,1988)

El diseño de los alabes parte de un análisis preconcebido de velocidades desarrollado en el manual OLADE en las cuales Hernández C. (1988) propuso el cálculo basándose en valores constantes para el cálculo de cada uno de los valores de la siguiente forma:

Coficiente de velocidad ( $K_c$ ) y el coeficiente de velocidad relativa comprenden valores entre 0.97-0.98

$$K_c = 0.98$$

$$K_f = 0.98$$

La bibliografía aplica un valor constante de 16 grados de inclinación para el impacto del chorro con la turbina.

$$\alpha_2 = 16^\circ$$

Este valor es desarrollado en el manual OLADE para la construcción del rotor de la turbina.

El valor de la constante de velocidad tangencial  $K_u$  es asumido con 0.5 basado en el criterio del manual OLADE.

$$K_u = 0.5$$

Los valores de interés listados a continuación son necesarios para apreciar de manera completa los prerequisites en el diseño de los alabes:

$$C_2 = 4.34\sqrt{H} = 24.55$$

$$U_2 = 2.09\sqrt{H} = 11.85$$

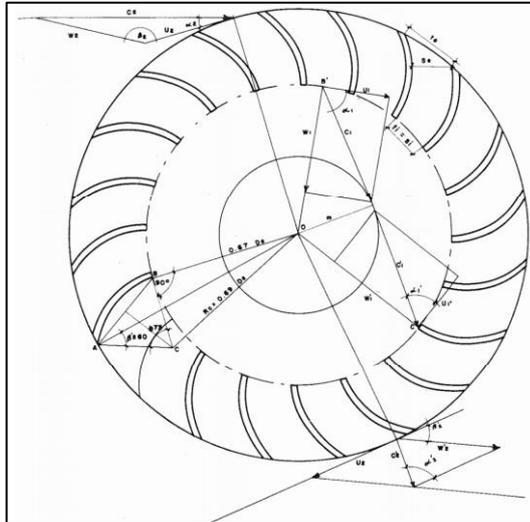
$$W_2 = 2.4\sqrt{H} = 13.57$$

$$W'_2 = 2.35\sqrt{H} = 13.29$$

$$C_2' = 1.2\sqrt{H} = 6.78$$

$$\beta_2' = 29.83^\circ \approx 30^\circ$$

$$\beta_1 = 90^\circ$$



**Figura 5-3.** Perfil de velocidades

Fuente: (OLADE,1988)

El cálculo comprende el análisis del diámetro interior  $D_i$  y del diámetro exterior  $D_e$  de la siguiente manera:

$$\frac{D_i}{D_e} = \sqrt{\frac{(2Ku \cos^2 \alpha_2 - 1) + \sqrt{1 - 4 \cos^2 \alpha_2 (1 - Ku) Ku}}{2Ku^2 \cos^2 \alpha_2}}$$

Que bajo los parámetros antes descritos se simplifica al siguiente calculo:

$$D_i = 0.66D_e$$

El radio de curvatura se lo puede calcular de la siguiente forma:

$$r = 0.163D_e$$

Basado en los cálculos preliminares tomamos de referencia el valor de 30mm y de forma análoga utilizamos las dimensiones expresadas en el manual OLADE para 300mm.

Por norma cuando se escoge un ángulo de  $16^\circ$  de inclinación, el ángulo de curvatura de los alabes es  $73^\circ$ , caso contrario se aplicará la siguiente ecuación

$$\varphi = 2 \operatorname{arctg} \left| \frac{\cos^2 \beta_1}{\left| \frac{D_i}{D_e} \right| + \sin^2 \beta_1} \right|$$

Con todos estos cálculos podemos inferir un primer rediseño basado solo en la constructiva basada en las velocidades obtenidas mediante los cálculos propuestos por el Manual OLADE (1988).

**Tabla 11-3.** Dimensiones de la Turbina rediseñada

<b>Diámetro externo</b>	De	30
<b>Diámetro interno</b>	Di	20
<b>Angulo de inclinación</b>	$\alpha_2$	16°
<b>Angulo de curvatura</b>	$\varphi$	73°
<b>Radio de curvatura</b>	r	5
<b>Angulo constructivo 1</b>	$\beta_1$	90°
<b>Angulo constructivo 2</b>	$\beta_2$	30°

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

### 3.3 Modelado preliminar de la geometría del dispositivo.

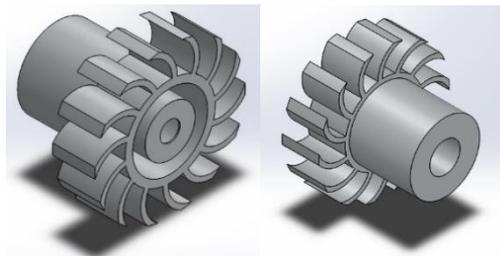
Ramírez (2018, p. 35) describe el principio de funcionamiento de una bomba centrífuga con acople magnético para con ello hacer una analogía a la turbina elaborada en su primer diseño, El condicionamiento de trabajo con el agua como fluido, el tamaño de la turbina, sus rodamientos, la imposibilidad de selección de rodamientos de acuerdo con las diminutas dimensiones con las cuales fue diseñada la turbina justifican el uso de este acople magnético.

Este acople magnético en su funcionamiento se describe con dos elementos, Un magneto conductor externo el cual va ubicado en el eje del motor y un magneto conducido el cuál irá montado en la turbina en el interior del elemento. El principio de funcionamiento descrito es muy simple, al momento de que el magneto en el interior de la turbina empieza a rotar producto del atravesamiento del fluido en el elemento, el magneto exterior montado en el motor gira de la misma manera, con esto se evita fugas en el dispositivo, pérdidas por rozamiento.

La única desventaja mostrada en la investigación va de acuerdo con la capacidad de acople de los imanes ya que, si la potencia en la turbina es mucho mayor, estos se desacoplan de manera automática es decir el motor sigue girando, pero el imán conducido quedará en reposo perdiendo así gran parte de la potencia que se puede transmitir al generador por parte de la turbina.

### 3.3.1 *Modelado de la Microturbina*

El modelado de la primera turbina propuesto por Ramírez (2018, p. 36) cuenta con un dimensionamiento completo basado en el software SolidWorks, el diseño final se ve a continuación el cual cuenta con los álabes diseñados bajo las medidas anteriormente descritas y tomando en cuenta dimensionalidades para un eje transversal de soporte de la turbina a sí mismo cuenta con un espacio cilíndrico en el cual estarán colocados los imanes que actuarán como el primer acople magnético.

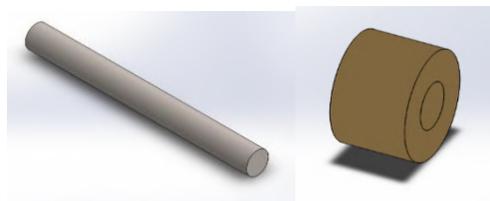


**Figura 6-3.** Modelado 3D de la Turbina.

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

### 3.3.2 *Modelado del eje y Bujes*

Diseño del eje donde se colocará la turbina fue fabricado de acero no ferroso, dicho material fue seleccionado debido a su capacidad de no influir en el campo magnético dentro del sistema de acople entre la turbina y el generador. acompañado al eje se fabricaron dos bujes del mismo material de la turbina con la finalidad de ejercer de soporte y evitar la fricción al momento del accionamiento de la microturbina.



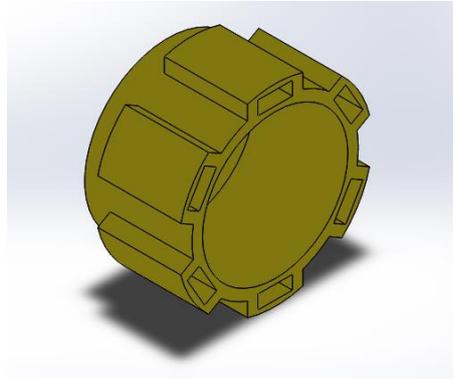
**Figura 7-3.** Modelado 3D del eje y buje.

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

### 3.3.3 *Modelado del Porta - Imán para el Acople Magnético del generador*

El modelado del acople magnético del generador fue diseñado de una forma muy peculiar ya que su diseño debía Contener los imanes los cuales servirán directamente para transmitir la fuerza

desde la turbina hacia este elemento, Prácticamente es un cilindro en el cual se le ha diseñado unas pequeñas ranuras en la parte exterior donde Irán colocados los imanes y de la misma forma en un costado un agujero del diámetro del eje del generador eléctrico con el cual recibiría todo el movimiento producto del accionamiento de la micro turbina.



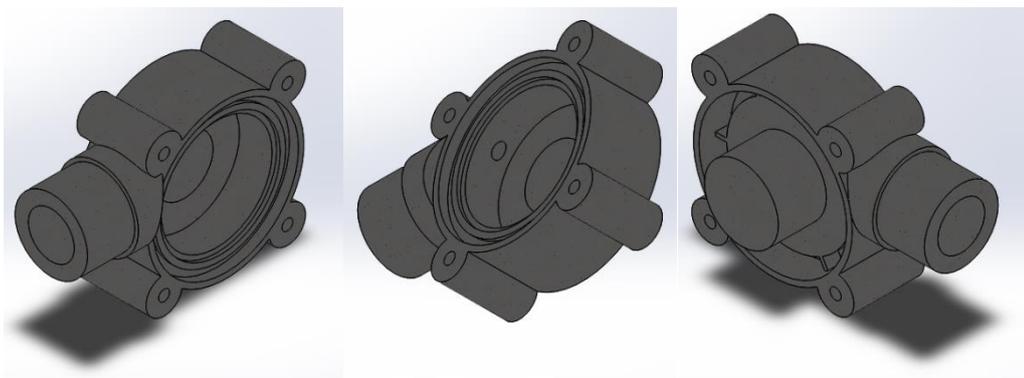
**Figura 8-3.** Modelado 3D acople magnético.

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

### 3.3.4 *Modelado de la carcasa*

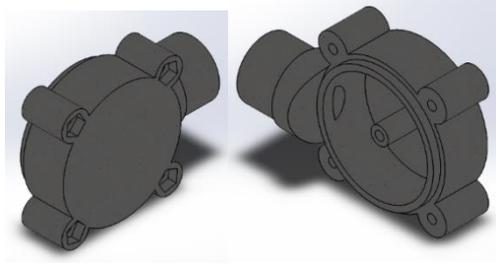
Ramírez (2018, p.39) explica de manera específica el diseño de las dos carcasas que contendrán la turbina, el diseño se basa prácticamente en corresponder con un correcto funcionamiento y proveer de la dinámica adecuada a la microturbina mediante la optimización de volumen y dimensionamiento de acuerdo con las necesidades requeridas.

La carcasa superior tanto como la inferior está diseñada para que la microturbina se acople de manera directa sin ninguna variación en las dimensiones, Asimismo provee del mínimo rozamiento entre los elementos.



**Figura 9-3.** Modelado 3D Carcasa con el ingreso del fluido

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

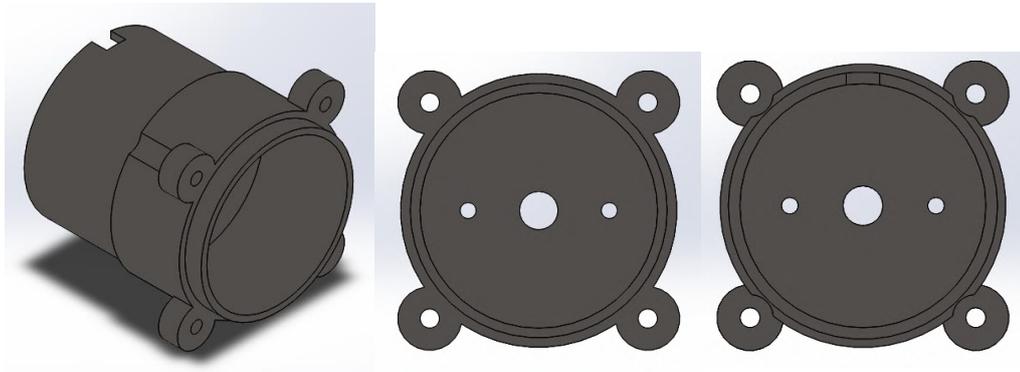


**Figura 10-3.** Modelado 3D Carcasa con la salida del fluido.

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

### 3.3.5 Carcasa del Generador

El diseño de la carcasa del generador se basó en las dimensiones del motor DC utilizado en la hidro generación, la forma final se especifica a continuación. Cabe recalcar que este diseño está puesto a variaciones de acuerdo con el modelo utilizado para el prototipo.



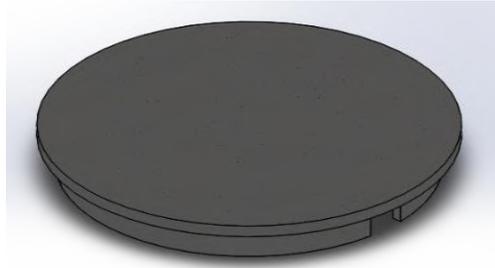
**Figura 11-3.** Modelado 3D Carcasa del generador eléctrico.

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

El diseño consta de un cilindro con 3 perforaciones principales, dos perforaciones de acuerdo con la medida del diámetro de acople de los tornillos del motor DC y un diámetro perteneciente al eje del mismo, con esto se asegura la rigidez del motor ante el movimiento de la turbina y su correcto acople con el porta-imán del generador.

### 3.3.6 Tapa de Carcasa Generador

Su diseño especifica el cierre hermético del generador eléctrico y su circuito controlador y regulador de carga.



**Figura 12-3.** Modelado 3D tapa de la carcasa del generador.

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

### 3.4 Validación de la Geometría por MEF

Mediante la aplicación de software ingenieril con capacidad de realizar análisis completos de elementos finitos FEA (Finite Element Analysis), se procedió con la validación del nuevo modelo 3D mediante la aplicación de las herramientas MEF (Método de Elementos Finitos) adecuadas para nuestro modelado.

El uso de las herramientas MEF conlleva un exhaustivo cálculo basado en análisis infinitesimales, por esta razón se ve obligado el uso de software capaz de realizar múltiples estimaciones en un corto periodo de tiempo. (Vicente Labarta; Jesús Cuartero; Hugo Malón 2017) en su trabajo de investigación propone la herramienta CFD de cálculo para su sistema ERG (Exhaust Gas Recirculation), mediante la discretización de cada una de las partes conformantes de dicho sistema. En su trabajo multifísico, los resultados finales son producto de estimaciones intermedias y la resolución de ecuaciones de tipo térmicas y flujo de fluidos utilizadas como condiciones de contorno en un cálculo estructural complejo. Concerniente a nuestro trabajo encaja en las condiciones perfectas para una estimación completa.

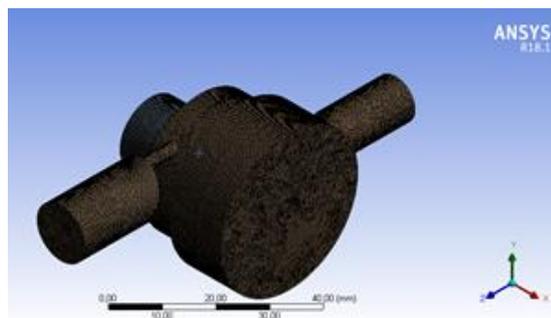
(Vicente Labarta; Jesús Cuartero; Hugo Malón 2017) En el análisis de flujo interno realizado en su investigación describe el proceso completo que lleva a cabo la herramienta ANSYS Fluent para la simulación de fluidos en una malla generada en todo el modelado. El programa utiliza dos mallados diferentes, pero utilizando una misma técnica de cálculo, la diferencia entre estos dos es la funcionalidad que se le dará en el desarrollo de la simulación ya que al generarse dos mallas a partir de un modelado la una representará las condiciones de material y la otra las condiciones de flujo.

La metodología simplificada en el modelado y uso de ANSYS Fluent conlleva principalmente en la obtención de un mallado de los objetos que vamos a simular, posteriormente deberemos determinar las condiciones de contorno y parámetros de uso, finalmente tendremos que interpretar de manera correcta los resultados obtenidos después de la simulación. (Vicente Labarta; Jesús Cuartero; Hugo Malón 2017)

De la misma forma, esta metodología es aplicada para la resolución de problemas estructurales, deformaciones y todo lo concerniente a resistencia de materiales, (Moreno-Zulca et al. 2020) en su trabajo de investigación acerca del análisis estructural de un bus mediante el análisis de elementos finitos, parte de un prediseño basado en un modelado CAD del elemento, posteriormente se utilizara el software adecuado para realizar el mallado completo de la estructura y se procederá a evaluar en base a los esfuerzos de condicionamiento dándonos como resultado todos los cálculos estructurales de manera resumida y en una gráfica completa del elemento los cálculos requeridos para la evaluación de resistencia.

### 3.4.1 *Evaluación del flujo del fluido mediante la herramienta ANSYS CFD.*

(ANSYS 2019) La herramienta CFD (Computational fluid dynamics) cuenta con un amplio margen de utilidad y un alto índice de exactitud, al realizar este análisis adquirimos de manera directa predicciones cuantitativas precisas de interacciones y compensaciones dentro del fluido de análisis bajo las condiciones deseadas.



**Figura 13-3.** Volumen de Control Microturbina Rediseño.

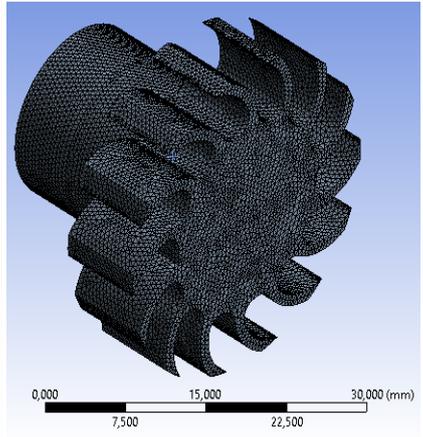
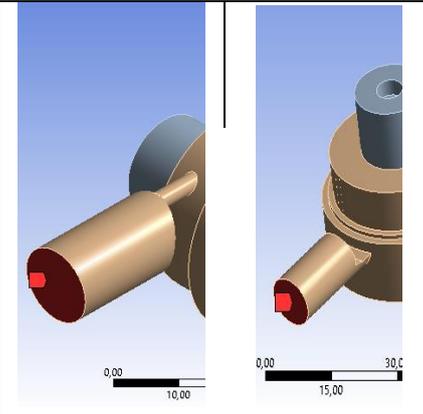
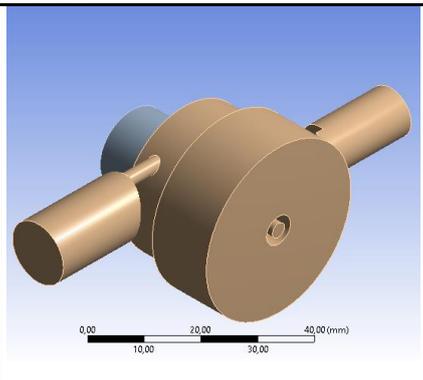
**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

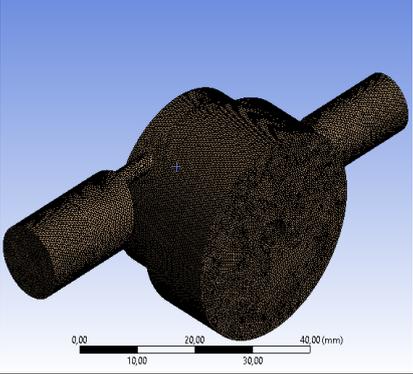
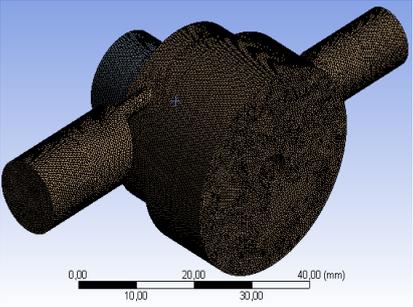
### 3.4.2 *Definición completa del volumen de control.*

Es necesario definir correctamente el volumen de control dentro de nuestro sistema, por ende, al utilizar la herramienta de ANSYS CFD utilizamos la sub herramienta SpaceClaim para extraer todo el volumen correspondiente al fluido dentro de nuestro modelado 3D. Cabe recalcar que el modelo debe ser exportado al programa. Las condiciones de Mallado del modelo son las siguientes:

**Tabla 12-3.** Parámetros Malla de Volumen de Control

<b>Condiciones de Mallado</b>			
<b>Geometría</b>	<b>Volumen de Control</b>	de	Volume/Volume
	<b>Material</b>		Fluido
<b>Condiciones de Entrada/Salida</b>	<b>int</b>		Inlet
	<b>out</b>		Outlet
	<b>Default Solid Side 1</b>	<b>Fluid Interfase</b>	Alabes
<b>Control de Malla</b>	<b>Cuerpos Activos</b>		2
	<b>Tipo de Malla</b>		Body sizing
	<b>Tamaño de Elemento</b>		0,5 mm

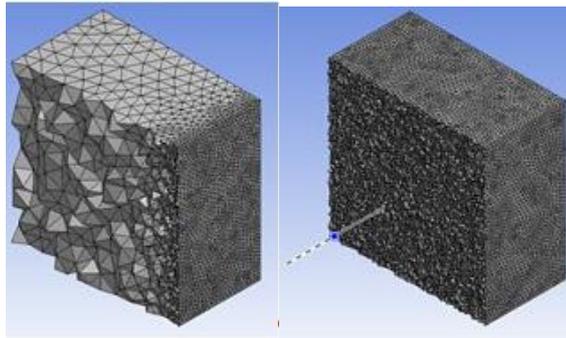


			
	<b>Volume\Volume</b>	Mallado	
	<b>Material</b>	Fluido	
	<b>Turbina \Turbina</b>	Mallado	
	<b>Material</b>	Solido	
<b>Detalle de Malla</b>	<b>Relevance Center</b>	Coarse	
	<b>Smoothing</b>	High	
	<b>Transition</b>	Slow	
	<b>Span angle center</b>	Fine	
<b>Estadísticas de Malla</b>	<b>Target Skewness</b>	0.90000 0	
	<b>Nodos</b>	151200	
	<b>Elementos</b>	719388	

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

El mallado anteriormente descrito incluye en su composición dos cuerpos, el volumen de control propiamente descrito como “Volume” y la turbina denominada “Turbina”, la justificación del análisis de ambos cuerpos dentro de ANSYS Fluent - CFD corresponde a la interpretación de las fuerzas resultantes sobre el objeto, debido a que al realizar un análisis simple con el volumen de control en los resultados no se aprecian completamente las fuerzas ejercidas sobre la turbina, por ende era necesario incluirla en el análisis configurándola como un sólido observando así en los resultados el perfil de presiones sobre los elementos requeridos.

La ejecución del mallado corresponde a una configuración de malla “Body Sizing”, este método corresponde a un mallado complejo que implica una alta precisión en trabajo con fluido ya que reduce de manera drástica el tamaño de los cuerpos geométricos que controlan el nivel de refinamiento de la malla, esto hace que se elimine la necesidad de descomponer el cuerpo en subregiones mucho más complejas. A diferencia del denominado “Face Meshing” el análisis se lo realiza en todo el elemento mas no de forma parcial a partir de una sola cara.

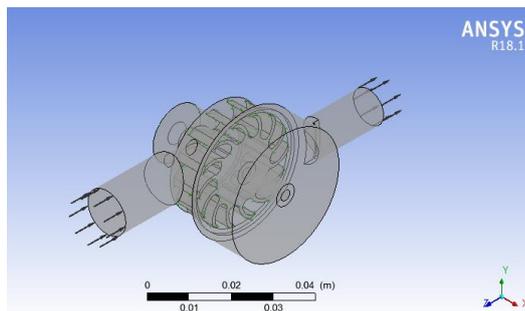


**Figura 14-3.** Face Sizing, Body Sizing

Fuente: (LEAP AUSTRALIA 2019)

El tipo de mallado se redefine como uno de tipo no estructurado, por ende, facilita el análisis más completo de formas curvas reduciendo el tiempo y aumentando la versatilidad en la obtención de los resultados finales. Para este tipo de mallado se configuro el Skewness en 0.25 cuyo valor es el óptimo para el diseño.

De acuerdo con las condiciones de trabajo para el rediseño, los valores de entrada y salida de flujo fueron configuradas de la siguiente forma:



**Figura 15-3.** Condiciones de entrada-salida, (Boundary Inlet/Outlet).

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

De acuerdo con los valores medidos de presión, caudal y velocidad indicados en los incisos anteriores, ingresamos en la configuración de las condiciones “Inlet” y “Outlet” correspondientes a la entrada y salida del dispositivo lo siguiente:

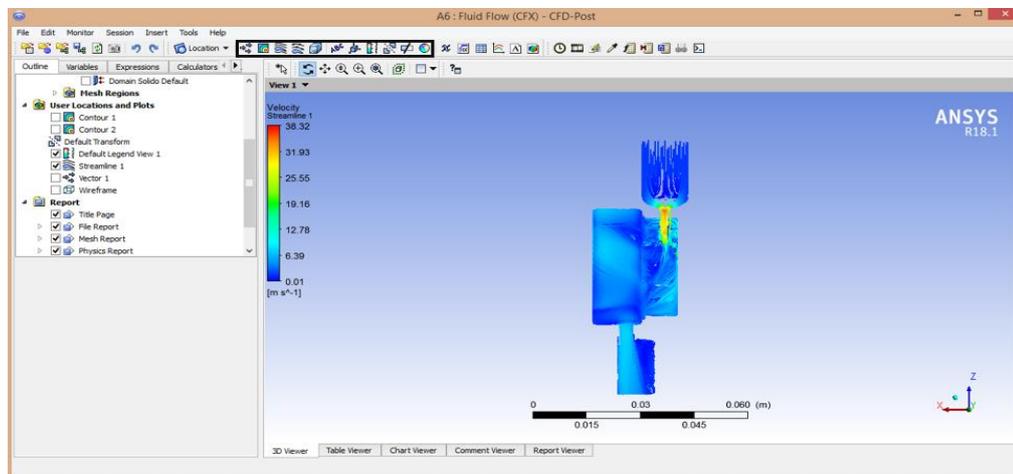
**Tabla 13-3.** Parámetros de Entrada y Salida

CONDICIONES DE TRABAJO		
<b>General</b>	<b>Malla</b>	Lista
	<b>Tipo</b>	Resure-Based
	<b>Tiempo</b>	Steady
	<b>Gravedad</b>	9,81

<b>Modelo</b>	<b>Turbulence</b>	Stationary, K-epsilon	
<b>Material</b>	<b>Tipo</b>	Agua	
<b>Cell zone conditions</b>	<b>Volume/Volume</b>	Water/Liquid	
<b>Boundary conditions</b>	<b>Inlet</b>	<b>Velocidad</b>	1,71 (m/s)
	<b>Outlet</b>	<b>Presion Relativa</b>	45,5 (Psi)
<b>Metodo de Solución</b>	<b>Scheme</b>	Simple	
	<b>Pressure</b>	Second Order	
	<b>Turbulence kinetic energy</b>	Second order upwind	

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

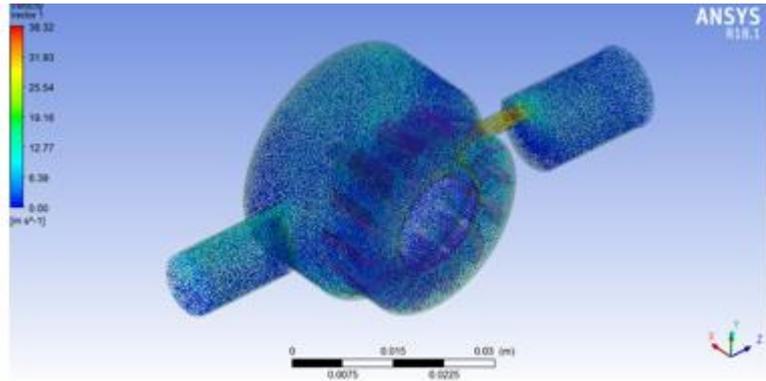
Con estos valores ingresados en la configuración, los resultados son posteriormente mostrados en una pantalla completa de detalle en un subprograma de ANSYS denominado “CFD Post-processing” en la cual configuraremos los resultados que deseamos tales como la velocidad del fluido, la presión en la turbina y la presión en la carcasa para ser mostrada con ilustraciones gráficas para su mejor comprensión.



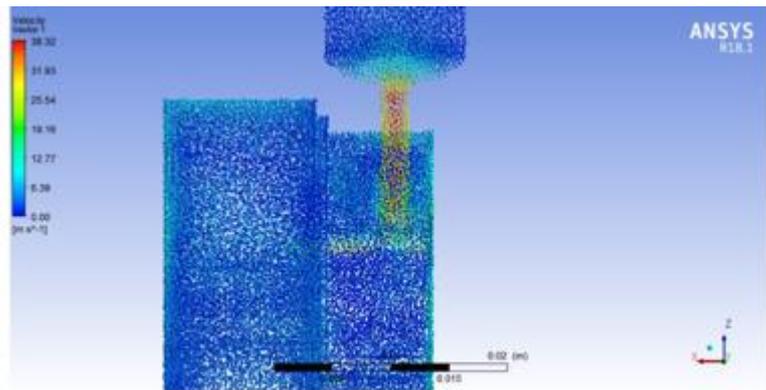
**Figura 16-3.** Herramientas análisis ANSYS CFD.

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

A continuación, se visualizarán y almacenarán los resultados obtenidos de la simulación en el programa CFD post-processing.



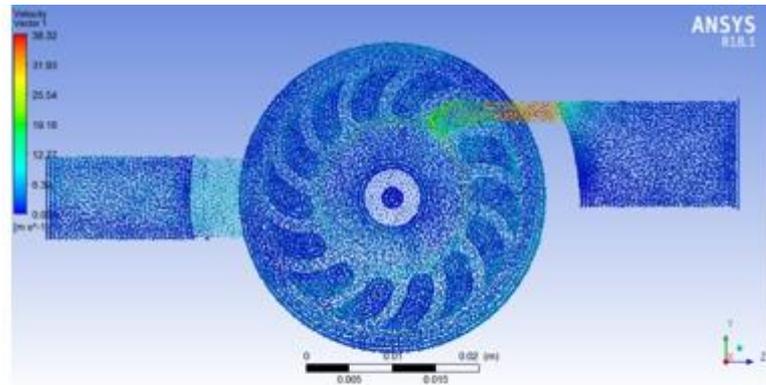
a)



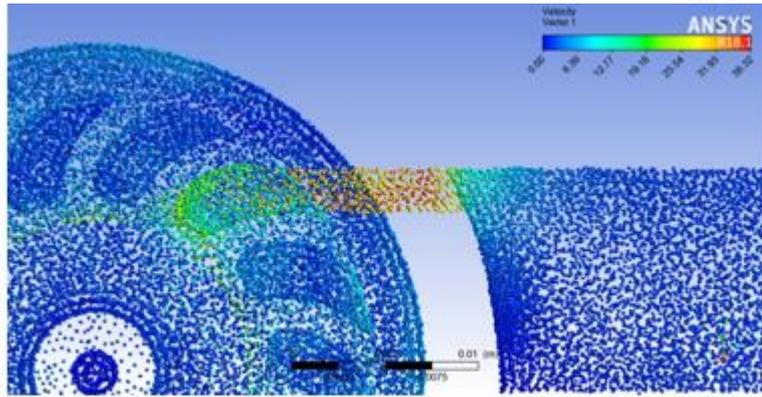
b)

**Figura 17-3.** Velocidad en la turbina Vectorial a) Isométrico, b) Superior a la entrada.

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.



a)

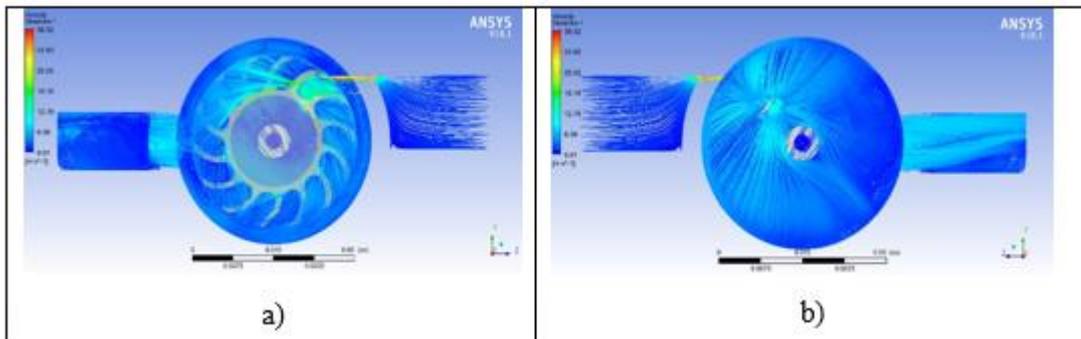


b)

**Figura 18-3.** Velocidad en la turbina Vectorial a) Lateral, b) Lateral a la entrada.

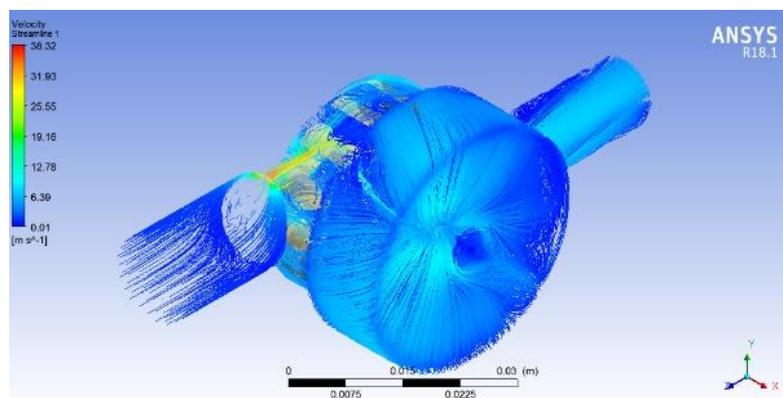
Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

El análisis demuestra que la zona en la “figura b” en el cambio de sección la velocidad del fluido es la más alta por ende se asume en un previo análisis que esta producirá el mayor esfuerzo en la turbina, en el caso de la carcasa no se puede aproximar ninguna conclusión hasta obtener los resultados pertinentes con respecto a la presión en la carcasa.



**Figura 19-3.** Líneas de Flujo a) Vista Lateral izquierda, b) Vista Lateral derecha

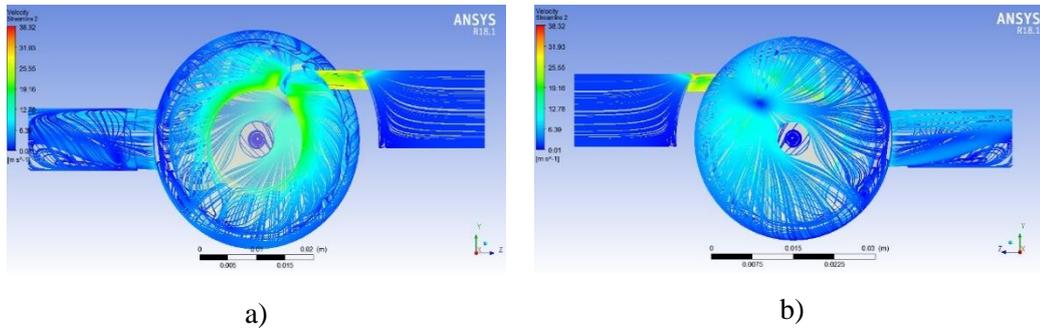
Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.



**Figura 20-3.** Líneas de Flujo en el Volumen de Control en vista isométrica.

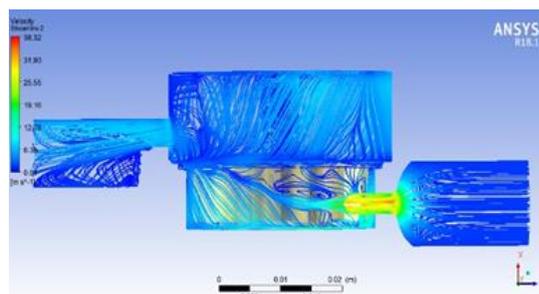
Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

El análisis de las líneas de flujo en el volumen de control demuestra las trayectorias presentes en el dispositivo, las velocidades más críticas están presentes en la entrada y salida del dispositivo, para un mejor entendimiento hace falta un análisis de velocidades en la capa superficial de la carcasa.



**Figura 21-3.** Líneas de Flujo en la carcasa, a) Lateral izquierda, b) Lateral derecha.

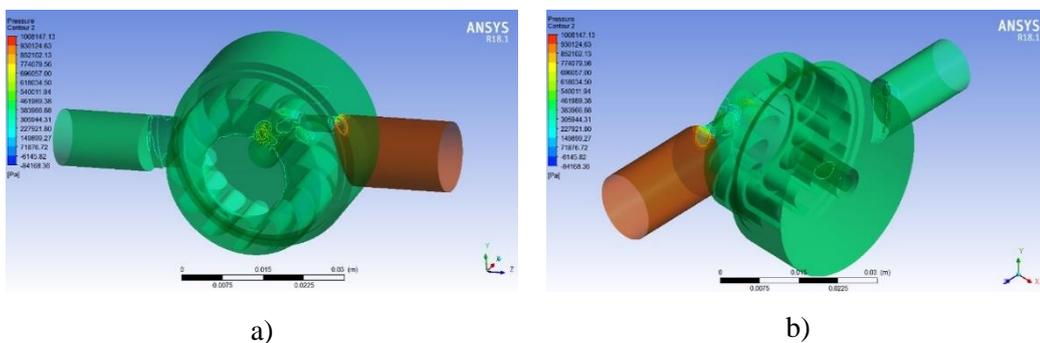
Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.



**Figura 22-3.** Líneas de Flujo en la carcasa vista superior.

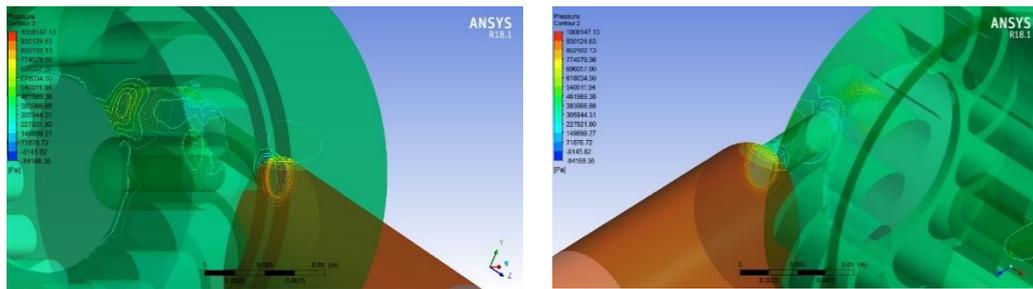
Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

La representación de velocidades en torno a la capa superficial de la carcasa nos demuestra que las velocidades más altas del dispositivo se encuentran efectivamente influyendo a la entrada del dispositivo y sobre la turbina, siendo esta zona la más propensa a sufrir grandes esfuerzos.



**Figura 23-3.** Perfil de Presiones Carcasa: a) lateral izquierda, b) isométrica.

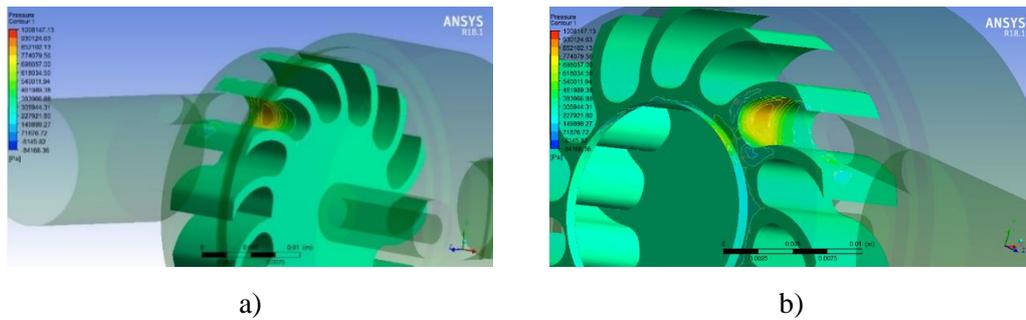
Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.



**Figura 24-3.** Perfil de Presiones Carcasa Visualización Estrangulación.

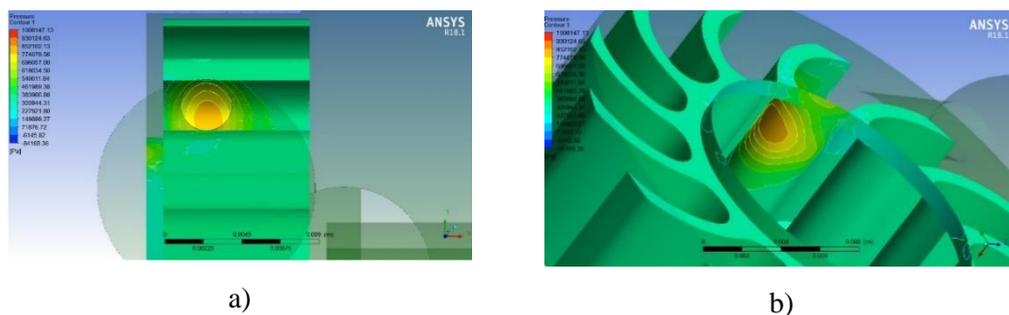
Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

El análisis de presiones en el interior del dispositivo evalúa un valor alto de presión a la entrada del dispositivo y un valor promedio más uniforme en toda la carcasa.



**Figura 25-3.** Perfil de Presiones Turbina: a) lateral derecha, b) lateral izquierda.

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.



**Figura 26-3.** Perfil de Presiones Turbina: a) Frontal y b) Zona de esfuerzos.

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

Producto de las altas velocidades expuestas en los resultados anteriores a la entrada del dispositivo, se puede apreciar un perfil variado de presiones sobre la turbina las cuales propiciarán sobreesfuerzos en el diseño e influirán en la selección del material entre otras especificaciones.

El resultado de las fuerzas en los cuerpos se genera automáticamente a partir del análisis CFD dándonos los siguientes valores:

**Tabla 14-3.** Reporte de Fuerzas Resultantes

Location	Type	X	Y	Z
Default Domain	Pressure Force	6.9302e+01	-1.4848e+00	-9.4258e+01
	Viscous Force	-3.7443e-02	-2.1677e-01	-3.7623e-01
	<b>Total Force</b>	6.9264e+01	-1.7016e+00	-9.4634e+01
	Pressure Torque	-4.5500e-01	2.9844e+00	2.5368e-02
	Viscous Torque	1.0011e-02	-3.4411e-03	3.1705e-04
	<b>Total Torque</b>	-4.4499e-01	2.9810e+00	2.5685e-02
Default Fluid Solid Interface Side 1	Pressure Force	-6.9155e+01	1.8122e+00	-6.7504e+00
	Viscous Force	8.9724e-02	-9.7067e-02	-8.0951e-02
	<b>Total Force</b>	-6.9066e+01	1.7151e+00	-6.8313e+00
	Pressure Torque	-1.6681e-01	-3.6943e+00	-2.6390e-02
	Viscous Torque	4.7770e-03	4.5256e-03	3.1088e-04
	<b>Total Torque</b>	-1.6203e-01	-3.6898e+00	-2.6079e-02

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

El análisis en ANSYS nos facilita el traspaso de presión y otros valores de interés a un análisis estructural más completo, estos valores son referenciales, miden la magnitud y nos dan una idea de la fuerza que se aplican en los elementos analizados.

### 3.4.3 *Análisis MEF para la turbina rediseñada*

Es necesario realizar un análisis de resistencia de materiales a la turbina para comprobar si los esfuerzos son soportados por este elemento, para ello disponemos de herramientas virtuales como lo es “ANSYS Static Structural” el cual nos permite realizar un análisis completo de resistencia sobre el elemento mediante la utilización de un análisis de elementos finitos exhaustivos de forma análoga a la herramienta “ANSYS CFD”. El rediseño de la turbina partió del uso del polímero PLA en una primera instancia al uso de un metal, específicamente el Duraluminio Comercial (A1050), se utilizó la estimación del aluminio puro, pero a causa del desabastecimiento comercial debido a razones externas no se pudo fabricar en este metal, el duraluminio como alternativa cumple con las expectativas de resistencia como se puede observar a continuación.

Característica	Valor	Unidad	Nota
Tubos extruidos en espiral; Endurecido por deformación (H112); 0.80 < wt <= 1.30 mm; Specified wall thickness			
Límite elástico, $R_{p0,2}$	≥ 15	MPa	
Resistencia a la tracción, $R_m$	60 - 100	MPa	
Alargamiento, A	≥ 25	%	$L_0 = 50$ mm

**Figura 27-3.** Propiedades mecánicas Duraluminio - Referencial.

Fuente: (Total Materia 2020)

**Table 1.** Mechanical properties of the materials in room temperature

Mechanical properties					
Material	$R_{02}$ [MPa]	$R_m$ [MPa]	$E$ [MPa]	$G$ MPa	$\nu$ -
Steel S235JR + N	235	350–370	220000	84000	0,3
Tytan Grade 1	189–215	308–324	100000	38000	0.37
Aluminium A1050	20	65–95	69000	25900	0.33
Aluminium A5080	125	275–350	71000	26800	0.33

Where:  $R_{02}$  – yield strength at 0.2 plastic strain,  $R_m$  – ultimate strength,  $E$  – Young’s modulus,  $G$  – Shear modulus,  $\nu$  – Poisson’s ratio

**Figura 28-3.** Propiedades mecánicas Aluminio 1050.

Fuente: (Rusinski,2019, p348)

Basándonos en ambas bibliografías y en los datos proporcionados por el fabricante, configuramos las propiedades en ANSYS de la siguiente manera, tomando en cuenta solo los datos de prioridad para el análisis.

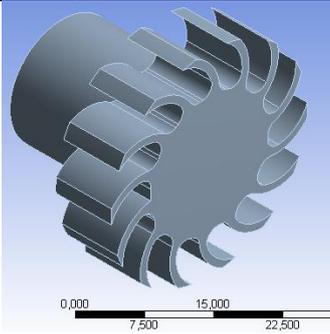
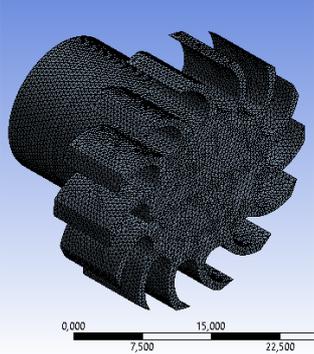
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	2770	kg m <sup>-3</sup>		
4	Isotropic Elasticity				
5	Derive from	Young's Modulu...			
6	Young's Modulus	7,1E+10	Pa		
7	Poisson's Ratio	0,33			
8	Bulk Modulus	6,9608E+10	Pa		
9	Shear Modulus	2,6692E+10	Pa		
10	Tensile Yield Strength	8,5E+07	Pa		
11	Tensile Ultimate Strength	1E+08	Pa		

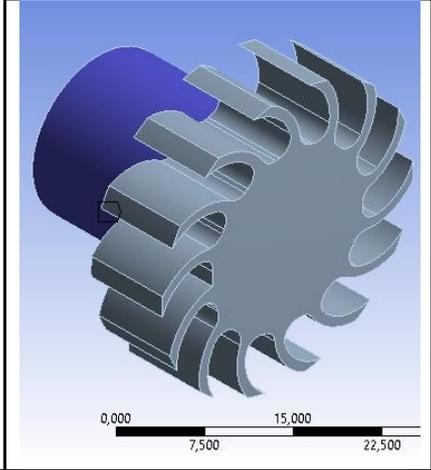
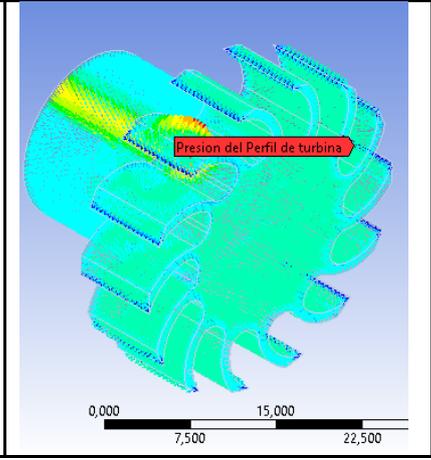
**Figura 29-3.** Propiedades Mecánicas.

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

La obtención de un correcto análisis estructural se lo realizo aplicando la herramienta de ANSYS “Static Structural” capaz de realizar cálculos de MEF sobre el determinado elemento a ser evaluado. De forma análoga a la herramienta “ANSYS CFD” partimos de un mallado del elemento cuidando de la calidad como se puede ver a continuación:

**Tabla 15-3.** Parámetros Malla de Turbina

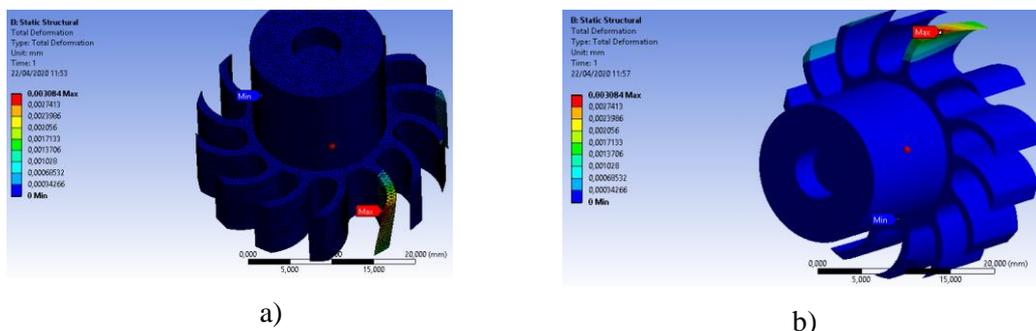
Condiciones de Mallado			
<b>Geometria</b>	<b>Volumen de Control</b>	Volume/Volume	
	<b>Material</b>	Aluminio 1050	
<b>Control de Malla</b>	<b>Body sizing</b>	Selección de Geometría: Todas las caras	
	<b>Element Size</b>	0,1 mm	
<b>Control de Malla</b>	<b>Cuerpos Activos</b>	1	
	<b>Tipo de Malla</b>	Body sizing	
	<b>Tamaño de Elemento</b>	0,1 mm	
	<b>Turbina aluminio MODIFICADA ANSYS\Turbina aluminio MODIFICADA ANSYS</b>	Mallado	
<b>Detalle de Malla</b>	<b>Material</b>	Solido	
	<b>Relevance Center</b>	Fine	
	<b>Smoothing</b>	High	
	<b>Transition</b>	Fast	
	<b>Span angle center</b>	Fine	
<b>Estadísticas de Malla</b>	<b>Target Skewness</b>	0.900000	
	<b>Nodos</b>	145780	
	<b>Elementos</b>	82356	

Static Structural	Cylindrical Support	Geometry: 1 Face	
	Imported Pressure	Import Pressure:	

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

La calidad del mallado es la máxima obtenida, los valores de esfuerzos producto del flujo de agua y las condiciones medidas en una primera instancia son previamente exportadas del análisis CFX de ANSYS, por ende, se transporta un perfil completo de presiones sobre la turbina para un análisis completo.

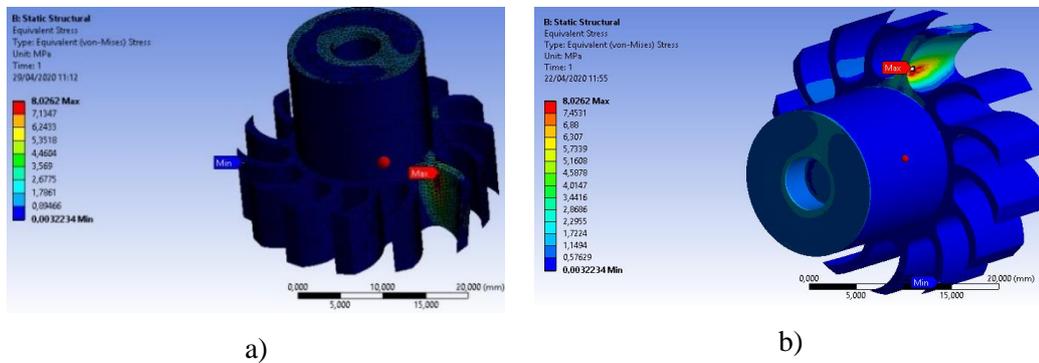
Los resultados obtenidos bajo las condiciones de trabajo establecidas para el dispositivo se describen a continuación:



**Figura 30-3.** Deformación Total, a) Objeto mallado, b) Sin mallado y deformado.

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

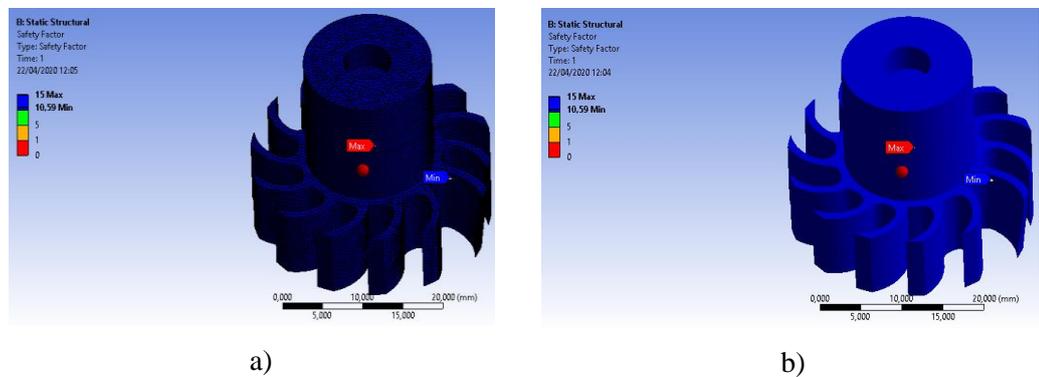
La deformación total se ubica en el extremo de los alabes de la turbina, esta deformación no es significativa y en comparación con el modelo básico realizado por (Ramírez A. 2018) el cambio de material resulto optimo basado en los esfuerzos nuevos obtenidos.



**Figura 31-3.** Esfuerzo Equivalente: a) Mallado) Sin mallado.

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

El esfuerzo equivalente en la turbina es muy similar al perfil de presiones obtenida en el análisis CFX anteriormente realizado y descrito, el esfuerzo máximo obtenido se ubica en la base de los alabes y específicamente en el lugar donde impacta el fluido con su máxima velocidad.



**Figura 32-3.** Factor de Seguridad, a) Objeto mallado, b) Sin mallado.

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

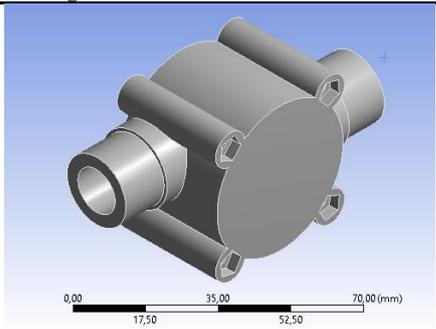
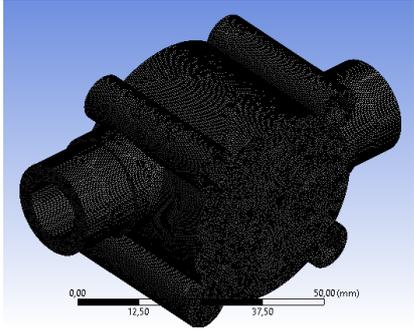
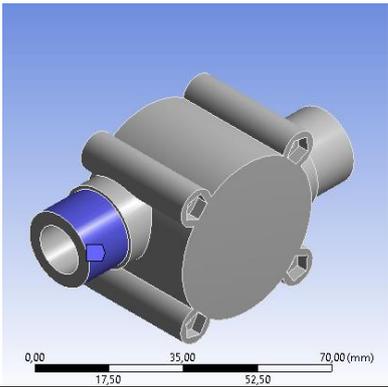
El factor de seguridad es muy alto debido a la resistencia del material y los esfuerzos obtenidos en el análisis, gracias a esto se puede confiar en una larga duración del elemento bajo las condiciones de trabajo medidas.

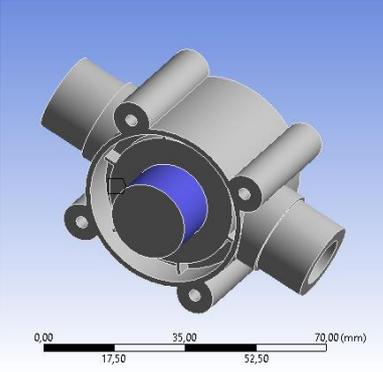
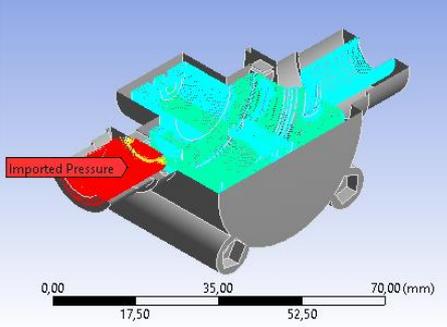
### 3.4.4 Análisis MEF para la Carcasa

El análisis estructural de la carcasa se lo realiza de forma análoga al de la turbina, bajo las condiciones de producción, se utilizó PLA como material constitutivo de todo el elemento.

El análisis estructural se lo realizo bajo las siguientes condiciones:

**Tabla 16-3.** Parámetros Malla de Carcasa

Parámetros de Configuración			
Geometría	Base Intermedia/Base intermedia	Material: PLA	
	<b>Sizing</b>		
Mallado	Size Function	Adaptative	
	Relevance center	Medium	
	Smoothing	Medium	
	Transition	Fast	
	Span Angle Center	Coarse	
	<b>Statistics</b>		
	Min	0,11473	
	Max	0,99999	
Average	0,72768		
Static Structural	Cylindrical Support	Geometry: 1 Face	

	Cylindrical support 2	Geometry: 1 Face	
	Imported Pressure	Import Pressure: Default Domain Default	

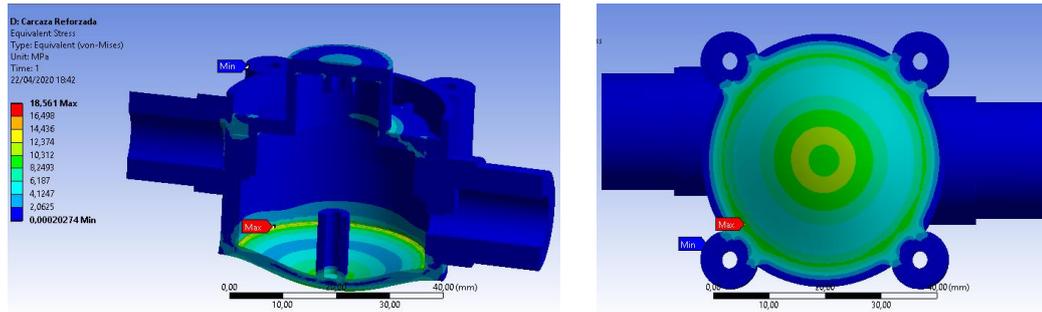
Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
2	Material				
3	PLA			C:\Users\Marc	
Properties of Outline Row 3: PLA					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Isotropic Elasticity				
4	Derive from	Young's Modul...			
5	Young's Modulus	3,83E+09	Pa		
6	Poisson's Ratio	0,33			
7	Bulk Modulus	3,7549E+09	Pa		
8	Shear Modulus	1,4398E+09	Pa		
9	Tensile Yield Strength	5,9E+07	Pa		
10	Tensile Ultimate Strength	6E+07	Pa		

**Figura 33-3.** Propiedades Mecánicas PLA.

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

Las condiciones de mallado tienen la máxima calidad que se logró conseguir, la presión interna de la carcasa fue importada de la misma forma que el caso anterior, esto facilita un análisis más completo y complejo obteniendo los siguientes resultados.



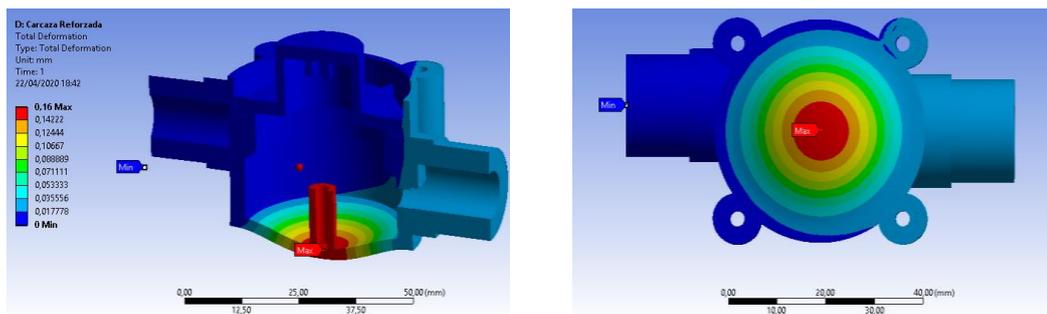
a)

b)

**Figura 34-3.** Esfuerzos Equivalentes de la Carcasa, a) Corte, b) lateral derecha.

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

Los esfuerzos equivalentes correspondientes a la carcasa muestran valores máximos en el borde como lo indica la “Figura 434-3a” debido al espesor de la pared.



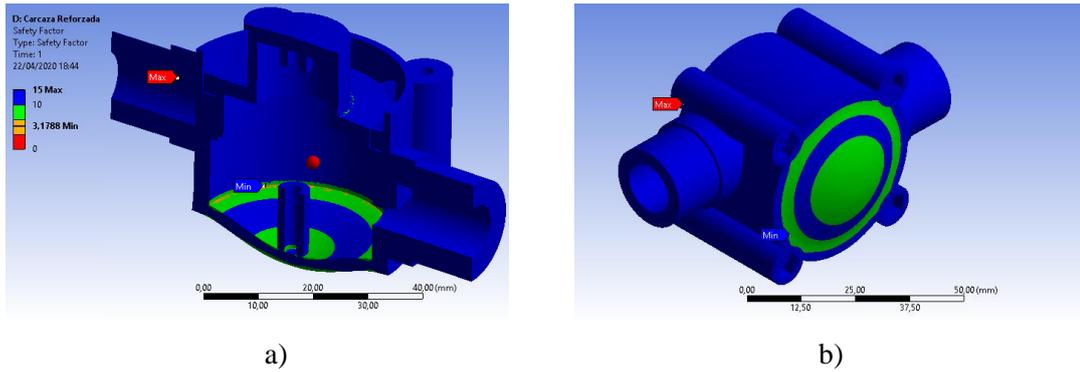
a)

b)

**Figura 35-3.** Deformación total de la Carcasa, a) Vista de Corte, b) Vista lateral derecha.

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

La deformación total se encuentra enfocada en el soporte de la turbina, esta deformación es tres veces inferior a la del primer modelo y la presión es diez veces superior, por ende, el diseño optimizado es aceptable y óptimo.



**Figura 36-3.** Factor de Seguridad de la Carcasa, a) Corte, b) Lateral derecha.

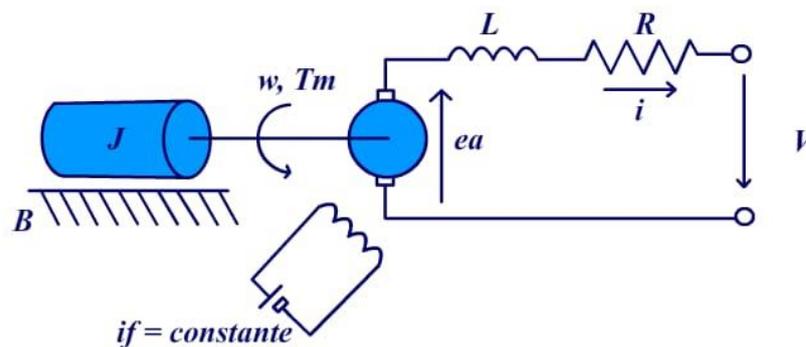
Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

El factor de seguridad obtenido es de 3.17 redondeado a 3, este valor es tres veces superior en comparación con el primer modelo, la razón por lo cual se consiguió este factor de seguridad se debe al rediseño que fue expuesto ya que la simulación en primera instancia con la geometría inicial no soportaba y fallaba en el borde donde se concentran los esfuerzos.

### 3.5 Simulación Microgenerador

#### 3.5.1 Función de Transferencia Generador DC

Un generador DC se modela con una resistencia constante  $R$  en serie con una inductancia constante  $L$  que representa la inductancia de la bobina de la armadura, y la salida  $v$  que representa la tensión generada en la armadura.



**Figura 37-3.** Esquema electromecánico de un generador controlado por armadura

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

La primera ecuación se realiza haciendo un análisis de la malla del circuito:

$$v(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + E_a(t)$$

$$L \frac{di(t)}{dt} = v(t) - Ri(t) - E_a(t) \quad (1)$$

Donde  $E_a(t)$  es una tensión generada que resulta cuando los conductores de la armadura se mueven a través del flujo de campo establecido por la corriente del campo  $i_f$ .

La ecuación de la sección mecánica viene dada por el modelo.

$$T_m(t) = J \frac{dw(t)}{dt} + Bw(t)$$

$$J \frac{dw(t)}{dt} = T_m(t) - Bw(t) \quad (2)$$

Donde  $T_m(t)$  es el torque del generador,  $B$  es el coeficiente de fricción,  $J$  es el momento de inercia,  $w(t)$  es la velocidad angular del generador y  $\frac{dw(t)}{dt}$  es la aceleración angular.

Se igualan las dos ecuaciones asumiendo una relación de proporcionalidad  $K_a$  entre la velocidad angular del generador y el voltaje producido.

$$E_a(t) = K_a w(t) \quad (3)$$

Asimismo, se supone la una relación electromecánica que establece que el torque mecánico es proporcional,  $K_m$ , a la corriente eléctrica que circula por el generador DC.

$$T_m(t) = K_m i(t) \quad (4)$$

Aplicando transformada de Laplace a las ecuaciones 1 al 4.

$$Ls i(s) = v(s) - Ri(s) - E_a(s) \quad (5)$$

$$sw(s) = T_m(s) - Bw(s) \quad (6)$$

$$E_a(s) = K_a w(s) \quad (7)$$

$$T_m(s) = K_m i(s) \quad (8)$$

Sustituimos 7 y 8 en 5

$$Ls \frac{T_m(s)}{K_m} = v(s) - R \frac{T_m(s)}{K_m} - K_a w(s)$$

$$v(s) = \frac{(R + Ls)T_m(s)}{K_m} + K_a w(s) \quad (9)$$

De la 6, podemos obtener la velocidad angular.

$$w(s) = \frac{T_m(s)}{Js + B} \quad (10)$$

Sustituyendo 10 en 9.

$$v(s) = \frac{(R + Ls)T_m(s)}{K_m} + K_a w \frac{T_m(s)}{Js + B}$$

$$v(s) = \frac{(R + Ls)(Js + B) + K_a K_m}{K_m (Js + B)} T_m(s) \quad (11)$$

Así logramos obtener la función de transferencia que relaciona el torque angular del generador con el voltaje.

$$\frac{T_m(s)}{v(s)} = \frac{K_m(Js + B)}{LJs^2 + (RJ + LB)s + RB + K_a K_m}$$

Despejamos  $i$  de la ecuación 8 y reemplazamos en la ecuación

$$\frac{i(s)}{v(s)} = \frac{Js + B}{LJs^2 + (RJ + LB)s + RB + K_a K_m}$$

De esta manera obtenemos la función de transferencia que relaciona la corriente y el voltaje.

$$G(s) = \frac{Js + B}{LJs^2 + (RJ + LB)s + RB + K_a K_m}$$

Vamos a representar la función de transferencia del generador usando la lógica de bloques del Simulink/Matlab, teniendo los siguientes parámetros del motor:

Momento de inercia del rotor:

$$J = 2 \times 10^{-8} \text{ Kg}m^2$$

Constante de fricción viscosa del motor:

$$B = 0,1 \text{ Nms}$$

Fuerza electromotriz constante:

$$K_a = 0,5 \text{ Vs/rad}$$

Par motor constante

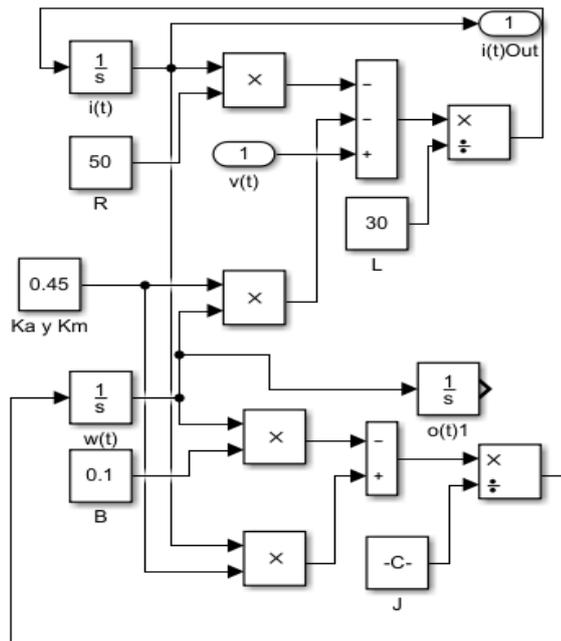
$$K_m = 0,5 \text{ Nm/A}$$

Resistencia eléctrica

$$R = 50 \Omega$$

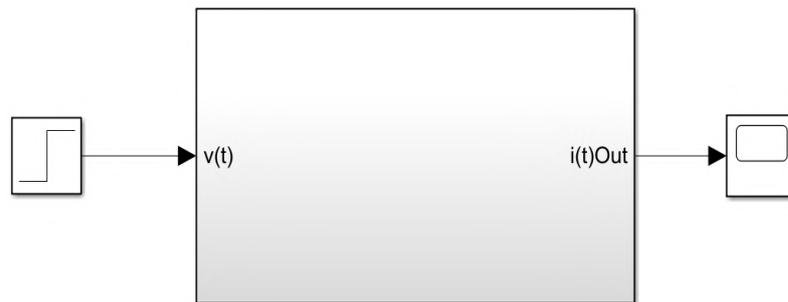
Inductancia eléctrica

$$L = 30 \text{ H}$$



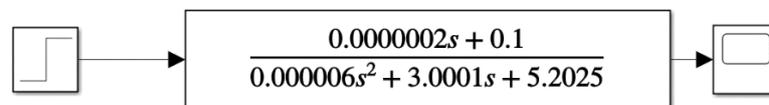
**Figura 38-3.** Diagrama de bloques en Simulink.

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.



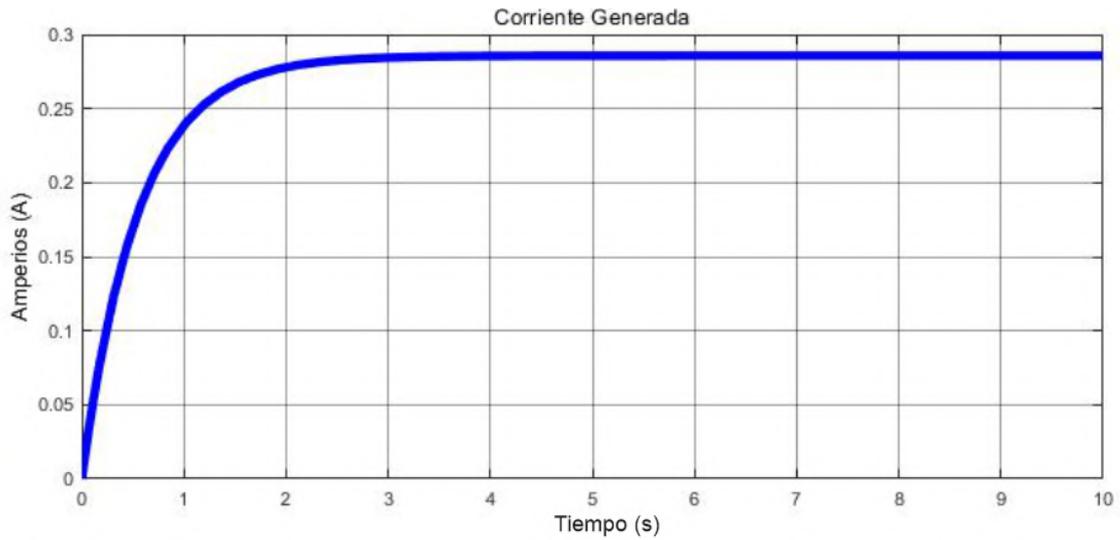
**Figura 39-3.** Subsistema del diagrama.

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.



**Figura 40-3.** Función de transferencia del sistema.

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.



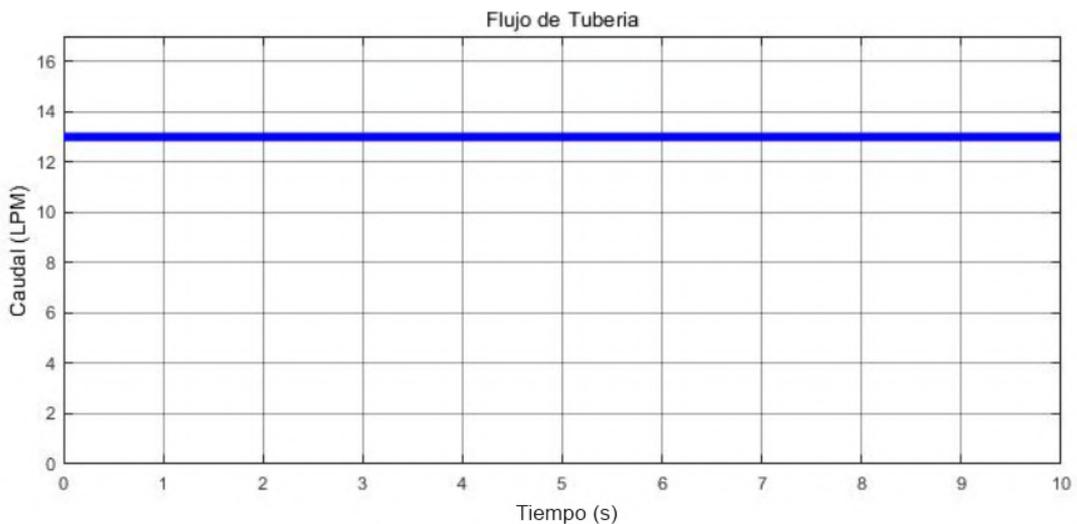
**Gráfico 2-3.** Representación de la corriente del sistema.

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

### 3.5.2 Simulación de funcionamiento.

El sistema parte de la simulación Simscape del dispositivo hidrogenerador, el cual cumplen con los principios de funcionamientos descritos en los antecedentes.

El circuito esta armado con una fuente de flujo hidráulico, configurado con los parámetros de caudal, en este caso un valor constante de acuerdo con nuestras condiciones (13LPM).



**Gráfico 3-3.** Representación del caudal del sistema.

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

El gráfico 3-3 representa el flujo de caudal que entra al dispositivo, el cual es un valor fijo de 13 Litros/minuto como se demostró en las mediciones en capítulos anteriores. La grafica muestra un flujo constante e invariable a lo largo del tiempo y esta es la variable de entrada para el cálculo energético simulado en la plataforma Simulink a través de las utilidades de la herramienta de Simscape.

$$Caudal = 13 \frac{L}{min} = 0.000216667 \frac{m^3}{s}$$

Posterior a eso está conectado un sensor de flujo cuyos valores resultantes tienen que ser transformados debidamente para ser observados en el Scope del programa.

Una vez configurada la condición de flujo, este es conectado a un transformador Hidráulico – mecánico de tipo rotacional, la cual debe ser configurada en sus parámetros A el flujo de agua, C tiene que ser conectado a una referencia rotacional y S nos da el valor transformado del flujo hacia las RPM del eje (Torque) de salida (funciona como una turbina o un motor hidráulico).

Posterior a eso, se conecta el generador DC los parámetros correspondientes al Torque (rpm en el eje) en R, C tiene que ser conectado a un referencial rotacional y el motor tendrá salidas +- simulando los cables de conexión positivo y neutro para la generación eléctrica.

En el circuito con Carga, se puede apreciar la conexión de un amperímetro y un voltímetro en una carga de R=1 (siendo la resistencia mínima).

Esto se debe a las leyes “V=IR”, para la cual se aprecia la corriente si existe una carga, ya que el voltaje lo tomara R.

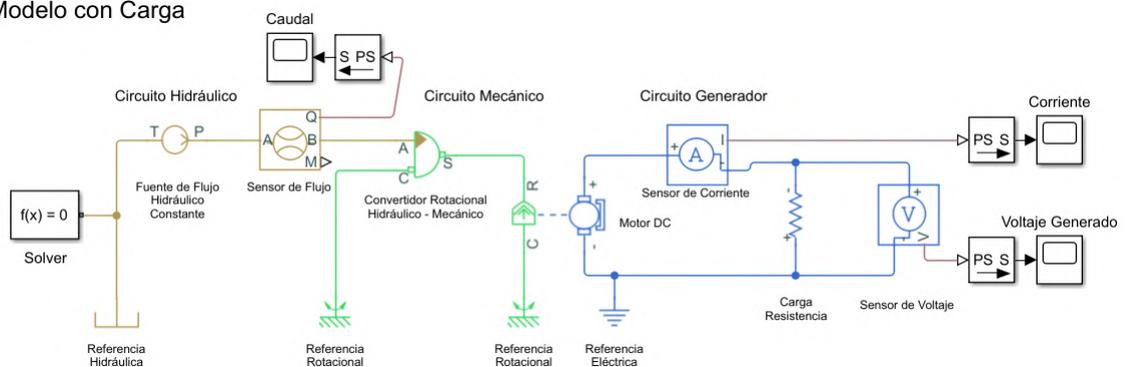
- (si está abierto el circuito se puede medir fácilmente el voltaje) Circuito Sin Carga.

Se mide el Voltaje y la Corriente marca =0

- (si está cerrado se puede medir la corriente el circuito)

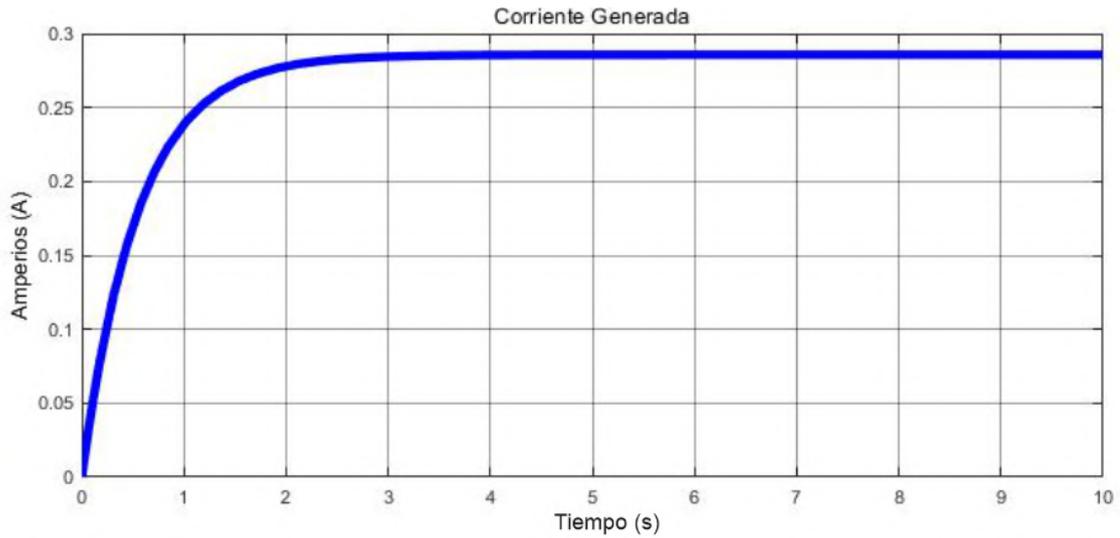
Se mide la corriente y el Voltaje = 0.

Modelo con Carga



**Figura 41-3.** Sistema con carga.

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.



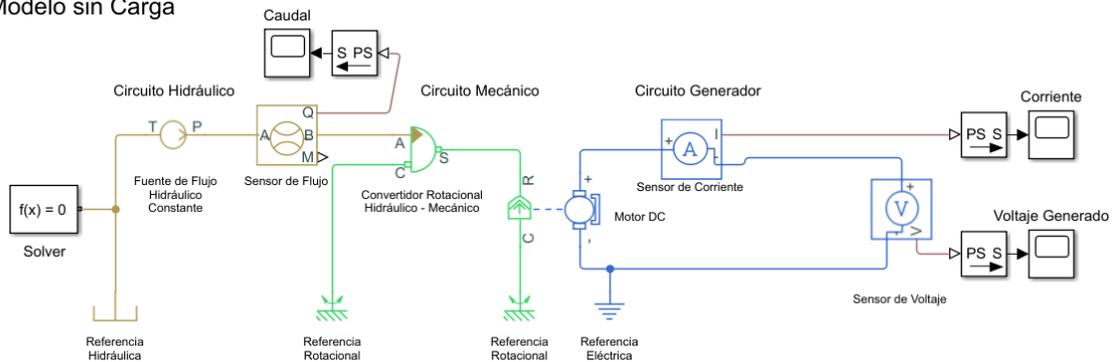
**Gráfico 4-3.** Representación de la corriente del sistema. (Simscape).

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

El grafico 4-3 describe el comportamiento de esta variable de salida en función del tiempo. Tiende a estabilizarse a los 3 segundos en su pico más alto y posteriormente se mantiene constante, este intervalo de tiempo que se tarda en aumentar desde 0 hasta su valor constante, depende en gran parte de la inductancia del circuito generador, siendo una inductancia mayor un tiempo mayor y una inductancia menor, menor tiempo de estabilización.

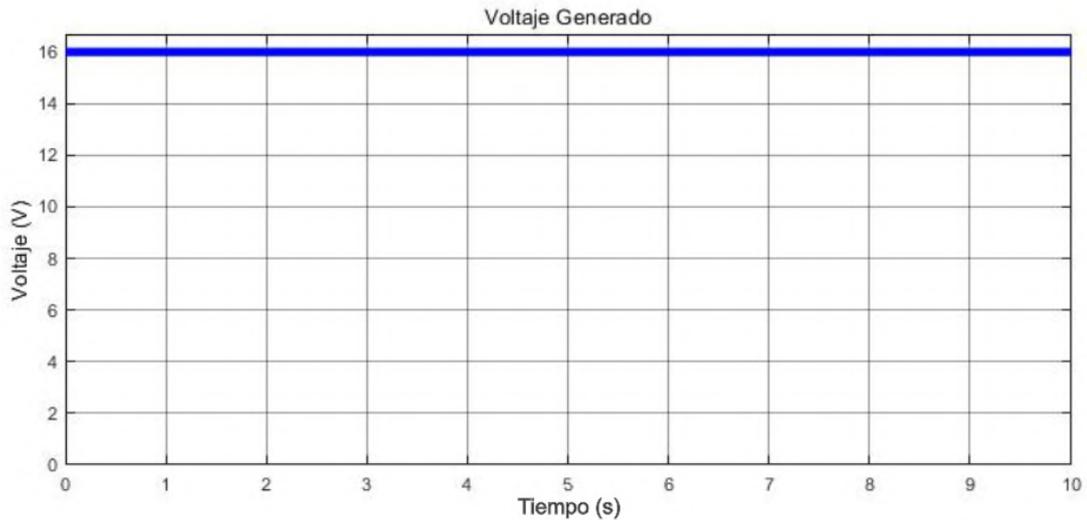
El valor de la corriente corresponde con nuestros valores calculados, en la simulación se utilizó un valor de resistencia muy bajo para representar el valor máximo de corriente generada.

**Modelo sin carga**



**Figura 42-3.** Sistema sin carga.

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.



**Gráfico 5-3.** Representación del voltaje del sistema.

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

El Grafico 5-3 parte de la simulación de cada uno de los elementos acoplados en el programa Simulink de Matlab mediante la configuración de elementos y parámetros. El resultado final parte del ingreso o configuración de una única variable de entrada que fue el caudal y mediante el análisis de cada uno de los elementos logramos obtener un voltaje generado al final, siendo este un valor constante si el caudal permanece constante.

$$V = Cte.$$

### 3.6 Análisis de Rendimiento

Siendo  $P_T$  la potencia en la tubería, utilizamos la fórmula de la potencia hidráulica para obtener el valor de la energía aprovechable en la tubería con los siguientes parámetros del sistema.

**Tabla 17-3.** Condiciones del sistema

<b>PRESION</b>	313711.45 Pa
<b>CAUDAL</b>	13 LPM

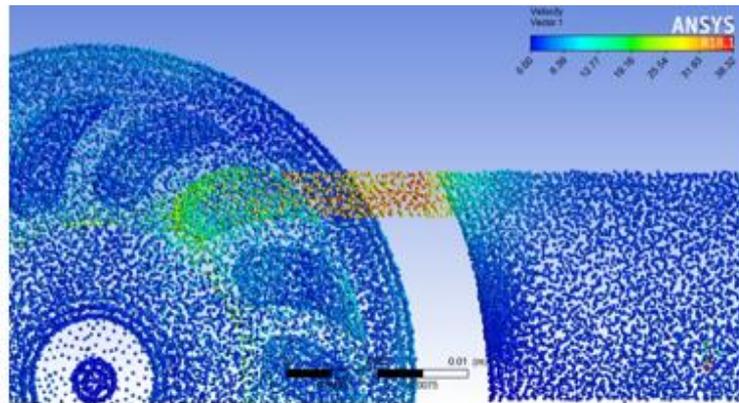
Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

$$P_T = \frac{Q(LPM) * P(Bar)}{600}$$

$$P_T = 13 * \frac{3.1371}{600} = 67.97 * 10^{-3} Kw$$

$$P_T = 67.97w$$

Mediante la validación obtenida mediante ANSYS, podemos calcular la potencia con ecuaciones basadas en la velocidad angular y el torque en la turbina.



**Figura 43-3.** Velocidad a la entrada de la turbina

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

**Tabla 18-3.** Velocidad en la turbina

<b>VELOCIDAD ANGULAR</b>	4600 RPM
<b>VELOCIDAD IMPACTO DEL FLUIDO DEL FLUIDO</b>	30 m/s
<b>TIPO DE FLUIDO</b>	AGUA C.N.

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

El cálculo del torque conlleva ecuaciones básicas basadas en la dinámica de fluidos. Específicamente la conservación de la cantidad de movimiento, para ello tenemos que hallar la reacción en la turbina, que por geometría impacta de forma tangencial.

Para plantear la resolución se establecen hipótesis.

1. El flujo del agua a la salida de la boquilla es estacionario en reposo.
2. El agua se dispersa en direcciones normales a la dirección incidente del chorro de agua.
3. el chorro de agua está expuesto a la atmósfera y sobre este chorro y sobre el agua dispersada que sale del volumen de control actúa la presión atmosférica, la cual se descarta ya que actúa sobre todo el sistema.
4. El efecto del factor de corrección del flujo de la cantidad de movimiento es despreciable.

$$\sum \vec{F} = \sum_{sal} \beta \dot{m} \vec{V} - \sum_{ent} \beta \dot{m} V$$

$$-F_R = 0 - \beta \dot{m} \vec{V}$$

$$F_R = 1 * 0.0002166 \frac{m^3}{s} * 997.13 \frac{Kg}{m^3} * 30 \frac{m}{s} * \left( \frac{1N}{1Kg * \frac{m}{s^2}} \right) = 6.46N$$

Con esta fuerza calculada y el diámetro de impacto, procedemos a calcular el Torque en el eje de la turbina.

$$T = F * \frac{d}{2}$$

$$T = 6.46N * \frac{0.03m}{2} = 0.0969 Nm$$

Con esto procedemos a calcular la potencia:

$$P_2 = T * \omega$$

$$P_2 = 0.0969 Nm * 481.71 \frac{rad}{s} = 46.67 w$$

Con este valor podemos calcular el rendimiento de nuestra turbina, la cual se calcula la potencia de salida en el eje de la turbina dividido para la potencia de entrada.

$$n = \frac{P_2}{P_T}$$

$$n = \frac{46.67w}{67.97w} = 0.689 \approx 0.69$$

$$n = 69\%$$

## 4 GESTION DEL PROYECTO

En este capítulo se abordará el proceso de construcción de los diferentes componentes que forman el micro generador, describiendo adecuadamente el ensamble, pruebas y toma de datos, para la siguiente elaboración de las gráficas de voltaje, amperaje y potencia con respecto al caudal, comparando y comprobando la optimización del micro generador.

### 4.1 Tipos de construcción de los componentes.

Todos los componentes fueron diseñados y analizados bajo diseño CAD, validando los resultados en el capítulo anterior, comprobando su desempeño y resistencia, bajo el factor de seguridad. Los métodos de construcción de los componentes serán por medio de la impresión 3D y mecanización, detallándolos a continuación:

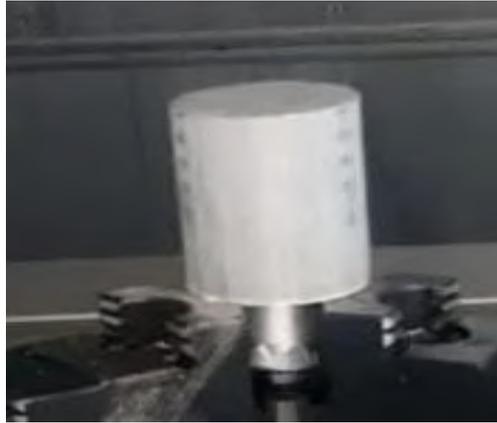
**Tabla 1-4.** Procesos de construcción de componentes micro generador.

<b>Cantidad</b>	<b>Componente</b>	<b>Tipo de Fabricación</b>
1	Microturbina	Mecanizado CNC
2	Buje de latón del eje	Mecanizado
1	Eje fijo	Mecanizado
1	Porta imán	Impresión 3D
1	Carcasa inferior microturbina	Impresión 3D
1	Carcasa superior microturbina	Impresión 3D
1	Carcasa motor DC	Impresión 3D
1	Tapa de la carcasa motor DC	Impresión 3D
1	Buje plástico del eje	Impresión 3D

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

#### 4.1.1 *Mecanizado CNC*

La microturbina la vamos a mecanizar a base de dura aluminio, esta aleación tiene una buena mecanización, y, sobre todo, no es magnética, ya que esto es necesario para no interferir en el acople magnético de la turbina con el generador.



**Figura 1-4.** Lingote de duraluminio.

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

El lingote de duraluminio tiene un diámetro de 30mm por 50mm de longitud, el cual la devastaremos para el mecanizado de la microturbina.

El mecanizado se lo realizo en el laboratorio de CAD CAM, perteneciente a la facultad de Mecánica, siendo uno de los centros universitarios de mecanizado mejor equipados del país. En el laboratorio se hizo uso del CNC de 4 ejes ROMI D 600.



**Figura 2-4.** CNC ROMI D600

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

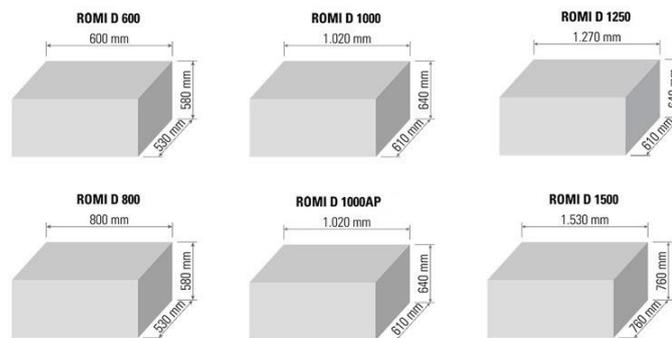
El CNC D600 es un centro de mecanizado vertical con una interfaz Siemens Sinumerik 828D, siendo flexibles para múltiples aplicaciones de mecanizado en entornos de producción y matricería.

Este CNC es de 4 ejes, siendo los tradicionales X, Y, Z, adicionalmente su mesa giratoria, las características de la línea ROMI D, se presentan a continuación:

**Tabla 2-4.** Características Línea ROMI D.

		ROMI D 600	ROMI D 800	ROMI D 1000	ROMI D 1000AP	ROMI D 1250	ROMI D 1500
Cono del husillo	ISO	40	40	40	40	40	40 / 50
Cabezal	rpm	-	-	-	-	-	6.000
Cabezal	rpm	8.000	8.000	8.000	-	8.000	8.000
Cabezal	rpm	10.000	10.000	10.000	-	10.000	10.000
Cabezal	rpm	-	-	-	-	-	12.000
Cabezal	rpm	-	-	-	15.000	-	-
Avance rápido (ejes X/Y/Z)	m/min	30	30	30	40	30	30
Capacidad de herramientas	-	20	30	30	30	30	30 / 24
Motor principal CA	cv / kW	20 / 15	20 / 15	25 / 18,5	25 / 18,5	25 / 18,5	30 / 22

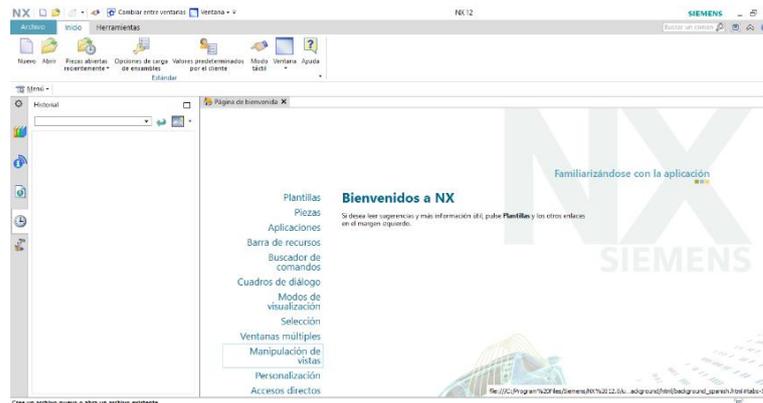
Fuente: (<http://www.romi.com/es/produetos/linea-romi-d/>)



**Figura 3-4.** Recorridos Línea ROMI D.

Fuente: (<http://www.romi.com/es/produetos/linea-romi-d/>)

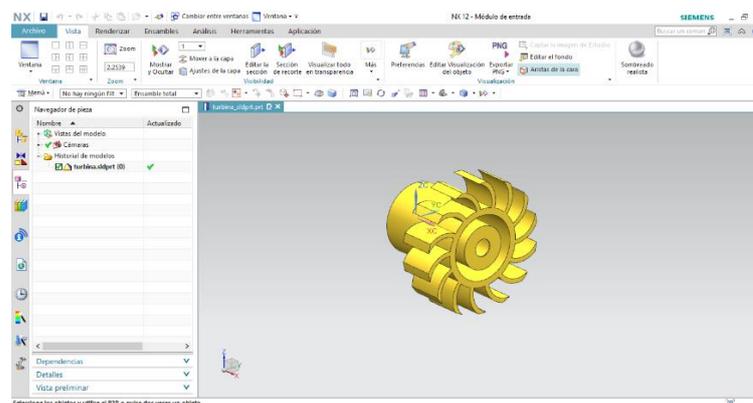
Para iniciar la mecanización de la turbina, primero se debe generar un código de programación, que siga el CNC, y fabricar nuestra pieza, para generar ese código nos apoyaremos del software Siemens Nx, el cual es un programa de diseño mecánico 3D utilizado para el diseño, análisis y manufactura digital para la industria de la maquinaria.



**Figura 4-4.** Interfaz Siemens NX 12

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

Procedemos a abrir la pieza en el programa Siemens Nx, para visualizar y comenzar a editar las condiciones de trabajo para proceder al mecanizado de la turbina.



**Figura 5-4.** Turbina en Siemens NX 12

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

Realizamos la simulación del desbastado de la turbina en Siemens Nx, para generar el código numérico, el cual es necesario para la mecanización de la turbina. En esta simulación principalmente se controla el tipo de herramienta de desbaste, el diámetro de la herramienta, el contorno del desbaste y la velocidad de desbaste que debe realizar la herramienta.

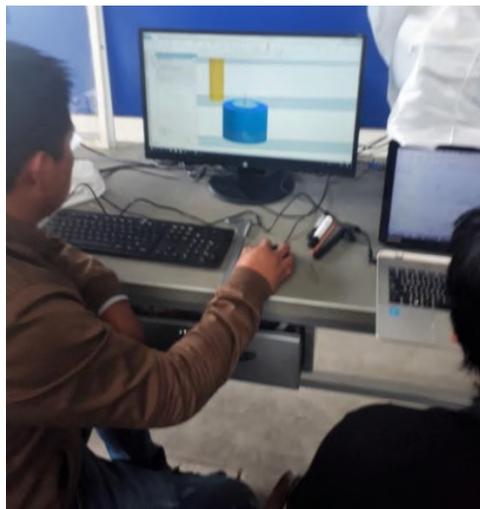
Para saber la velocidad de desbaste con la que tenemos que trabajar depende del material con el cual se está trabajando, en este caso se trata de duraluminio, cuyas características de mecanizado se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 3-4.** Características de mecanizado ALUMOLD 500

OPERACIÓN	ALUMOLD 500			
	HERRAMIENTA DE ACERO RÁPIDO		HERRAMIENTA DE CARBURO	
	Desbaste	Acabado	Desbaste	Acabado
<b>Torneado</b>				
Velocidad de corte (m/min)	300 a 600	≥1000	≥1000	≥1000
Avance (mm/rev.)	0.2 a 0.6	0.05 a 0.2	0.3 a 0.6	0.02 a 0.2
Profundidad de corte (mm)	3 a 15	0.3 a 3	3 a 15	0.3 a 3
<b>Fresado</b>				
Velocidad de corte (m/min)	300 a 600	≥1000	≥1000	≥1000
Avance (mm/diente)	0.1 a 0.3	0.03 a 0.1	0.1 a 0.3	0.03 a 0.1
Profundidad de corte (mm)	---	≤ 0.5	---	≤ 0.5
<b>Taladrado</b>				
Angulo de corte (°)	120 - 140		120 - 140	
Angulo de incidencia (°)	8 a 9		8 a 9	
Velocidad de corte (m/min)	30 a 80		50 a 100	
Avance (mm/rev.)	0.02 a 0.5		0.02 a 0.5	

**Fuente:** (<https://es.scribd.com/document/409222662/Duraluminio>)

Como podemos ver en la tabla, la velocidad de corte con la que se debe mecanizar el duraluminio se encuentra entre los 300 y 600 rpm, en este caso trabajaremos con una velocidad de 500rpm.



**Figura 6-4.** Simulación desbaste en Siemens NX 12

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

```

G291
G90 G94 G40 G64 G71
G91 G53 Z0
G53 X0 Y0
G90 G54
G290
M6 T3
G54 D1
G291
G54
G17 G8 G98 X-17.306 Y-4.952 Z5000 M3
G43 Z10,
Z2,5
G94 G1 Z-0,5 F350,
G3 X-13, Y0, I-0,694 J4,952
G2 I13, 30,
G1 Z-1,
G2 I13, 30,
G1 Z-1,5
G2 I13, 30,
G1 Z-2,
G2 I13, 30,
G1 Z-2,5
G2 I13, 30,
G1 Z-3,
G2 I13, 30,
G1 Z-3,5
G2 I13, 30,
G1 Z-4,
G2 I13, 30,
G1 Z-4,5
G2 I13, 30,
G1 Z-5,
G2 I13, 30,
G1 Z-5,5
G2 I13, 30,
G1 Z-6,
G2 I13, 30,
G1 Z-6,5
G2 I13, 30,
G1 Z-7,
G2 I13, 30,
G1 Z-7,5
G2 I13, 30,
G1 Z-8,
G2 I13, 30,
G1 Z-8,5
G2 I13, 30,
G1 Z-9,
G2 I13, 30,
G1 Z-9,5
G2 I13, 30,
G1 Z-10,
G2 I13, 30,
G1 Z-10,5
G2 I13, 30,
G1 Z-11,
G2 I13, 30,
G1 Z-11,5
G2 I13, 30,
G1 Z-12,
G2 I13, 30,
G1 Z-12,5
G2 I13, 30,
G1 Z-13,
G2 I13, 30,
G1 Z-13,5
G2 I13, 30,
G1 Z-14,
G2 I13, 30,
G1 X-20, Z-14,125
Z-14,5
G1 Z-15,
G2 I20, 10,
G1 Z-15,5
G2 I20, 10,
G1 Z-16,
G2 I20, 10,
G1 Z-16,5
G2 I20, 10,
G1 Z-17,
G2 I20, 10,
G1 Z-17,5
G2 I20, 10,
G1 Z-18,
G2 I20, 10,
G1 Z-18,5
G2 I20, 10,
G1 Z-19,
G2 I20, 10,
G1 Z-19,5
G2 I20, 10,
G1 Z-20,
G2 I20, 10,
G1 Z-20,5
G2 I20, 10,
G1 Z-21,
G2 I20, 10,
G1 Z-21,5
G2 I20, 10,
G1 Z-22,
G2 I20, 10,
G1 Z-22,5
G2 I20, 10,
G1 Z-23,
G2 I20, 10,
G1 Z-23,5
G2 I20, 10,

```

**Figura 7-4.** Código numérico generado en Siemens NX 12

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

Una vez generado el código numérico, por medio de una memoria USB, se conecta al interfaz Siemens Sinumerik 828D del CNC ROMI D600, tal como se ve en la Figura 8-4.



**Figura 8-4.** Interfaz Siemens Sinumerik 828D

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

Para mecanizar la turbina se va a ocupar fresas planas HSS, las cuales son de 2,3 y 10mm, la cual nos ayudaran a desbastar y perforar el lingote, formando la microturbina, también nos ayudara la utilización de brocas para las perforaciones y pulirla con las fresas.



**Figura 9-4.** Fresas HSS

**Fuente:**(<https://www.openhacks.com/page/productos/id/2429/title/10pcs-1.5mm-to-6mm-HSS-4-Flute-End-Mill-Cutter-6mm-Shank-Milling-Cutter-Set#.XpJZEchKjIU>)

Procedemos a colocar y ajustar el lingote en el cabezal del CNC, para proceder a calibrarla, esto por medio de una fresa plana HSS de 10mm, esto para que la superficie se encuentre completamente plana y mandar a correr el código de programación.



**Figura 10-4.** Calibración lingote de duraluminio

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

Una vez calibrado el lingote, se manda a correr la programación numérica realizada en Siemens Nx, utilizando la fresa de 10mm, ocupando refrigerante, en este caso de aceite soluble, para bajar la temperatura y evitar que se sobrecaliente.



**Figura 11-4.** Mecanizado de la turbina.

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

Para el mecanizado de la turbina se necesitó de fresas planas HSS de 2,3 y 10mm para desbastar y realizar el acabado superficial, cuyo avance es 0.2mm/diente y velocidad de corte de 500rpm. El tiempo de mecanizado fue alrededor de 6 horas, obteniendo así la microturbina con un excelente grado superficial, el cual se muestra en la siguiente Figura 12-4.



**Figura 12-4.** Microturbina hidráulica.

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

#### 4.1.2 *Mecanizado*

El eje y los bujes se mecanizarán por medio del torno CLK 6140 D/2 que se encuentra en el laboratorio de CAD CAM, sus características se presentan a continuación en la siguiente tabla:

**Tabla 4-4.** Características torno CLK 6140 D/2

Artículo NO	231002
Modelo	CLK6140D/2
Max. Volteo dia. sobre cama	400mm
Max. Volteo dia. sobre soporte	170mm
Max se longitud	550mm
Distancia de trabajo entre los centros	750mm
Eje de viaje X/Z	X: 230; Z: 550mm
Husillo aburrido	52mm
Husillo cónica	Morse 6
Husillo y formas	A6
Sección de mango de la herramienta	25X25mm
Herramientas de número	4
Contrapunto tapper	Morse 4
Velocidad del husillo de	80-400.400-2000 rpm (inversor)
Velocidad máxima de X, eje Z	6000/8000mm/min
Unidad mínima para eje X/Z	0.001mm
Motor del husillo de	5.5kw
Dimensión general	2000x1300x1650mm
Peso de la máquina	1800/1900 kg

**Fuente:**(<https://spanish.alibaba.com/product-detail/clk6140d-2-ttmc-professional-manufacture-cnc-lathe-60423336464.html>)

El material del eje debe ser un acero no magnético, para que no interfiera en el acople de la turbina, además debe ser resistente al agua, ya que va a estar en contacto permanentemente con él, entonces se escogió al acero austenítico inoxidable AISI 304, el cual es un acero comercial, cuyas características se pueden observar en la Tabla 5-4.

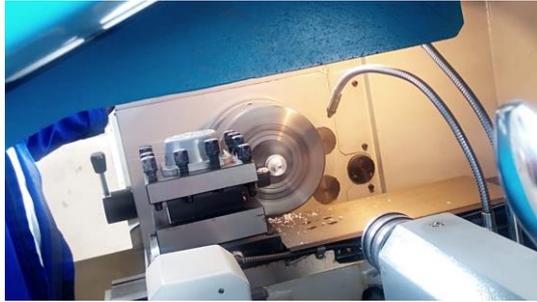
**Tabla 5-4.** Propiedades mecánicas AISI 304

<b>Resistencia Mecánica (N/mm<sup>2</sup>)</b>	520
<b>Punto de Fluencia (N/mm<sup>2</sup>)</b>	220
<b>Elongación % Min.</b>	20
<b>Dureza Rockwell B</b>	249 - 278

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

**Fuente:** (<http://www.dipacmanta.com/acero-inoxidable-aisi>)

Se adquirió un lingote de ¼” de diámetro(6,35mm) y 60mm de largo para la mecanización del eje de la turbina, el cual se debe reducir el diámetro a 2,6mm. Se lo monto en el cabezal del torno, y con cuchilla de acero HSS, se procedió al desbaste.



**Figura 13-4.** Mecanizado eje.

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

Acabando el mecanizado se procedió a pulir el eje para un mejor acabado superficial, quedando como se muestra en la figura.



**Figura 14-4.** Eje.

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

Los bujes se mecanizaron a partir de latón comercial, el cual es muy económico y de fácil mecanizado. El objetivo de la fabricación de los bujes es evitar la fricción y el juego entre la turbina y el eje, las características del latón se presentan a continuación en la siguiente tabla:

**Tabla 6-4.** Propiedades Latón.

<b>Dureza</b>	Recocido	Semiduro	Duro	Acerado
<b>Resistencia a la rotura (kilo/mm<sup>2</sup>)</b>	29-35	35-43	41-50	52-64
<b>Alargamiento (%)</b>	45	25	15	5
<b>Dureza Brinell (kilo/mm<sup>2</sup>)</b>	-	75-95	95-120	130-150

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

**Fuente:** (<https://www.aceroslevinson.com/metales/laton/>)

A partir de un lingote de latón de ¼” de diámetro(6,35mm) y 60mm de largo se desbasta en el torno CLK 6140 D/2, al igual que el eje hasta llegar a un diámetro exterior de 6mm y uno interior de 4mm, llegando a una longitud de 5mm, mecanizando dos bujes, tal como se muestra en la Figura 15-4.



**Figura 15-4.** Bujes.

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

### 4.1.3 *Impresión 3D*

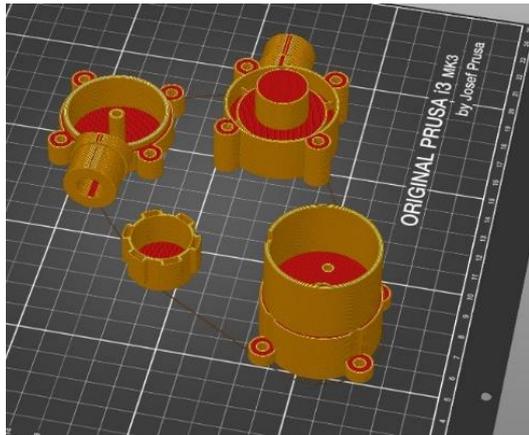
El porta imán, la carcasa del motor DC, la tapa, la carcasa inferior y superior de la microturbina se fabricaron a partir de la impresión 3D, la impresora a utilizar es la Prusa MK3S, como se muestra a continuación.



**Figura 16-4.** Impresora Prusa MK3S

**Fuente:** (<https://www.prusa3d.es/>)

Para poder imprimir los modelos de SolidWorks, se necesita guardarlas en extensión STL, los cuales se ingresan al software de la impresora, para iniciar el procedimiento.



**Figura 17-4.** Piezas para imprimir

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

Se comienza la impresión que dura alrededor de 9 horas, cuyo procedimiento se muestra a continuación.



**Figura 18-4.** Impresión piezas.

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

## 4.2 Selección del imán

Para nuestra microturbina se necesita que el acople magnético sea el de mejores características magnéticas, es por eso por lo que se eligió imanes de neodimio, que son los más potentes del mercado, siendo hasta seis veces más potentes que los imanes de ferrita. Los imanes de neodimio son de la familia de tierras raras, es el resultado de la combinación de neodimio, hierro y boro, cuya combinación resulta la formula empírica  $Nd_2Fe_{14}B$  (Bermúdez, 2017.p.6). Las propiedades mecánicas y físicas del imán de neodimio se muestran en la tabla 7-4.

**Tabla 7-4.** Propiedades físicas y mecánicas imán de Neodimio.

<b>Remanencia (T)</b>	1–1,3
<b>Coercividad (MA/m)</b>	0,875–1,99
<b>Permeabilidad magnética</b>	1,05
<b>Coefficiente de remanencia/temperatura (%/K)</b>	–0,12
<b>Coefficiente de coercividad/temperatura (%/K)</b>	–0,55.–0,65
<b>Temperatura de Curie (°C)</b>	320
<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	7,3–7,5
<b>CET, sobre la dirección de magnetización (1/K)</b>	$5.2 \times 10^{-6}$
<b>CET, normal a la dirección de magnetización (1/K)</b>	$-0.8 \times 10^{-6}$
<b>Resistencia a la flexión (N/mm<sup>2</sup>)</b>	250
<b>Resistencia a la compresión (N/mm<sup>2</sup>)</b>	1100
<b>Resistencia a la tracción (N/mm<sup>2</sup>)</b>	75
<b>Dureza Vickers (HV)</b>	550–650
<b>Resistividad (<math>\Omega \cdot \text{cm}</math>)</b>	$(110–170) \times 10^{-6}$

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

Fuente: ([https://es.wikipedia.org/wiki/Im%C3%A1n\\_de\\_neodimio](https://es.wikipedia.org/wiki/Im%C3%A1n_de_neodimio))

Para el acople magnético se necesitan cuatro imanes de neodimio, las dimensiones son de 10mm de alto, 4mm de ancho y 1mm de espesor, los imanes se presentan en la siguiente figura.



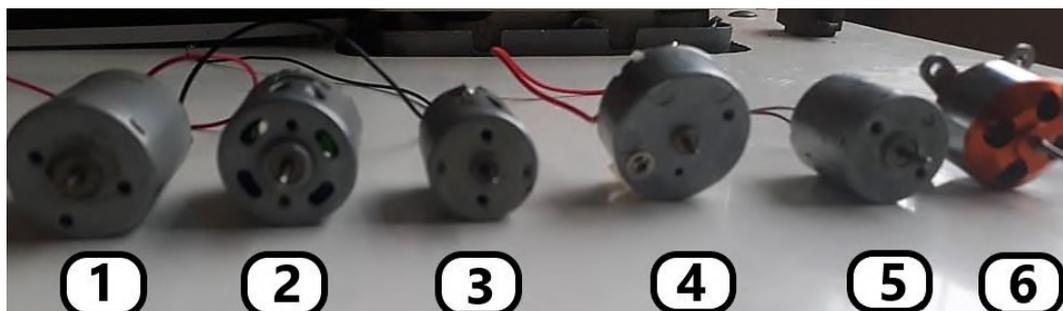
**Figura 19-4.** Imanes de neodimio.

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

### 4.3 Selección motor DC como generador

Las máquinas de corriente continua pueden trabajar tanto como motores como generadores (Chapman, 2012,p.301)., y se rigen bajo la ley de Faraday, el cual indica que, si mecánicamente se produce movimiento entre los conductores y el campo, se genera una fuerza electromotriz (FEM), lo que genera una diferencia de potencial entre sus dos terminales (Ferrari, 2015)

Se seleccionó algunos motores de corriente continua (figura 20-4) y se procedió a realizar las siguientes pruebas de voltaje, corriente y potencia.



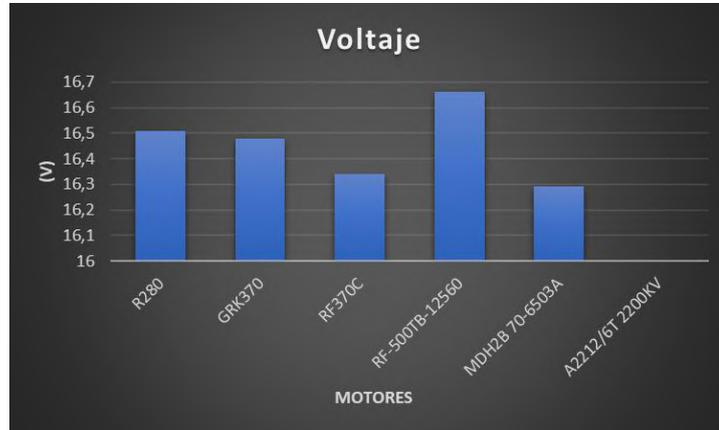
**Figura 20-4.** Motores de corriente continua.

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

Los nombres de los motores se muestran a continuación.

- 1 R280
- 2 GRK370
- 3 RF370C

- 4 RF-500TB-12560
- 5 MDH2B 70-6503A
- 6 A2212/6T 2200KV



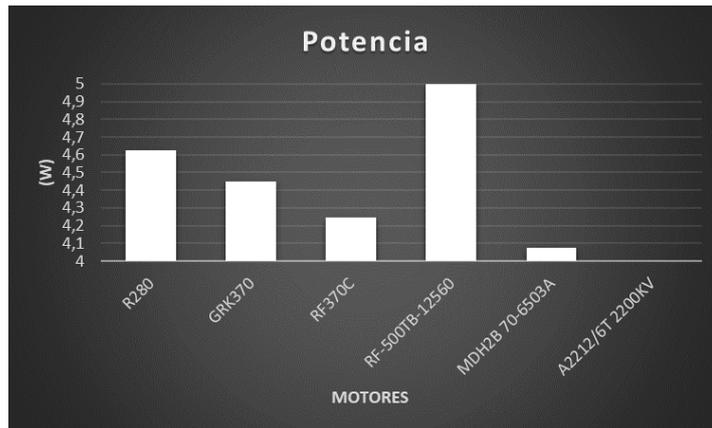
**Gráfico 1-4.** Comparación del voltaje entre los motores.

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.



**Gráfico 2-4.** Comparación de la corriente entre los motores.

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.



**Gráfico 3-4.** Comparación de la potencia entre los motores.

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

Los resultados de las pruebas de voltaje, corriente y potencia con los seis motores DC, se presenta en las gráficas anteriores, donde se puede observar que la mejor opción de generador es el RF-500TB-12560, cuyas características técnicas se puede observar en el anexo C.



**Figura 21-4.** RF-500TB-12560

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

#### 4.4 Ensamble micro generador

En la carcasa superior montamos el eje, y a su vez, en el colocamos los 2 bujes de latón y el de plástico, de manera alternada.



**Figura 22-4.** Colocación de eje y bujes

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

En la turbina de duraluminio colocamos los imanes de neodimio, sellándolos con resina. Después de que se seque la resina, colocamos la turbina en el eje fijo de la carcasa superior del dispositivo.



**Figura 23-4.** Instalación de la microturbina.

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

Juntamos las dos partes de la carcasa de la microturbina, como se muestra en la figura 24-4. Colocamos los imanes de neodimio en el acople magnético.



**Figura 24-4.** Carcasa y acople magnético de la microturbina.

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

Colocamos el acople magnético, de la misma manera colocamos el motor DC en su respectiva carcasa, fijándolos con tornillos.



**Figura 25-4.** Colocación acople magnético y motor DC.

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

Unimos las dos partes del micro generador, y lo fijamos con tornillos, ajustándolos con tuercas. Para el acople con la tubería residencial, colocamos dos uniones PVC de ½”.



**Figura 26-4.** Micro generador.

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

#### **4.5 Instalación, comprobación y resultados.**

Una vez instalada nuestra microturbina, procedemos a comprobar el funcionamiento de esta, para ello lo conectamos a una manguera de ½” como se ve en la figura 27-4 y procedemos a abrirla variando el caudal. Para esta prueba vamos a utilizar un multímetro, para medir voltaje y corriente, registrando los valores obtenidos.



**Figura 27-4.** Prueba microturbina

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

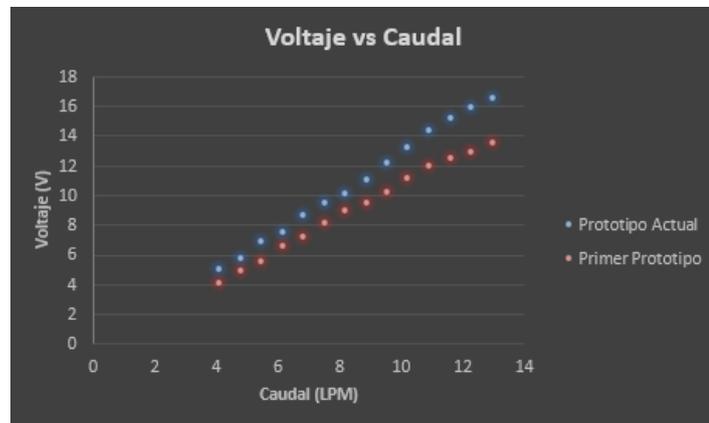
Durante las pruebas de funcionamiento de la microturbina anotamos los valores de voltaje vs caudal registrados por el multímetro, formando una tabla de datos, como se muestra a continuación.

**Tabla 8-4.** Valores Voltaje vs Caudal

<b>Caudal (LPM)</b>	<b>Voltaje (V)</b>
4,099	5,1
4,77	5,8
5,46	6,9
6,14	7,6
6,82	8,7
7,5	9,5
8,18	10,2
8,86	11,1
9,54	12,2
10,21	13,3
10,9	14,4
11,58	15,2
12,26	16
12,96	16,6

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

Con la tabla de valores del voltaje vs caudal, procedemos a realizar la gráfica, comparándola con la del primer prototipo, para darnos cuenta de qué manera se mejoró con relación al primer diseño, tal como se muestra en el gráfico 4-4. Como podemos observar, el voltaje en función del caudal aumento alrededor de un 22% con respecto al primer modelo.



**Gráfico 4-4.** Comparación Voltaje vs Caudal de los dos prototipos.

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

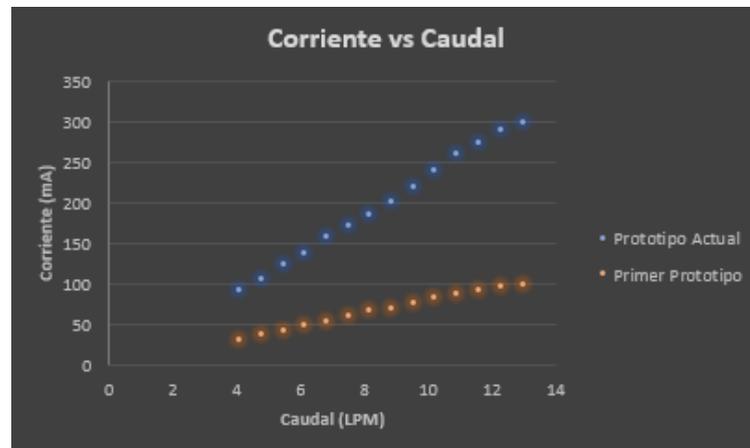
De la misma manera realizamos una tabla de valores de la Corriente vs Caudal, para estudiar como depende el uno del otro, tal como se muestra a continuación.

**Tabla 9-4.** Valores Corriente vs Caudal

Caudal (LPM)	Corriente (mA)
4,099	92,17
4,77	104,82
5,46	124,7
6,14	137,35
6,82	167,23
7,5	171,69
8,18	184,34
8,86	200,6
9,54	220,48
10,21	240,36
10,9	260,24
11,58	274,7
12,26	289,16
12,96	300,02

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

Con los valores de la corriente vs caudal, realizamos su respectiva gráfica, comparándola con la del primer prototipo, para darnos cuenta de qué manera se mejoró con relación al primer diseño, tal como se muestra en el grafico 5-4. Como podemos observar, la corriente en función del caudal aumento alrededor de un 300% con respecto al primer modelo.



**Gráfico 5-4.** Comparación Corriente vs Caudal de los dos prototipos.

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

Con los datos de voltaje y corriente en función del tiempo, podemos calcular la potencia eléctrica, con la siguiente formula:

$$P = V * I$$

En donde:

P: Potencia eléctrica (W)

V: Voltaje (V)

I: Intensidad de corriente (A)

Con los valores de potencia eléctrica, conformamos la gráfica de potencia vs caudal, con su respectiva gráfica, comparándola con la del primer prototipo.

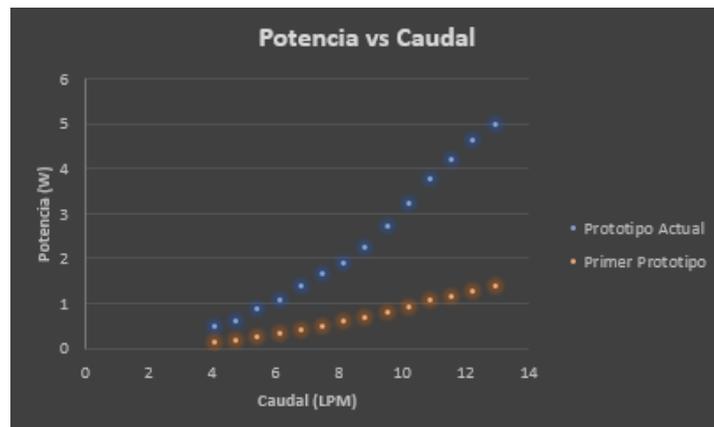
**Tabla 10-4.** Valores Potencia vs Caudal

Caudal (LPM)	Potencia (W)
4,099	0,47006024
4,77	0,60795181
5,46	0,86042169
6,14	1,04385542
6,82	1,36789157

7,5	1,6310241
8,18	1,88024096
8,86	2,22668675
9,54	2,68987952
10,21	3,19680723
10,9	3,74746988
11,58	4,17542169
12,26	4,62650602
12,96	4,98

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

Como podemos ver en el gráfico 6-4 la potencia del prototipo actual aumento alrededor de un 360%, respecto al primer modelo.



**Gráfico 6-4.** Comparación Potencia vs Caudal de los dos prototipos.

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

Después de medir la potencia eléctrica de la microturbina, procedemos a realizar la prueba de ignición, conectándolo al calefón GWH6 B31, para comprobar la formación de chispa para su encendido.



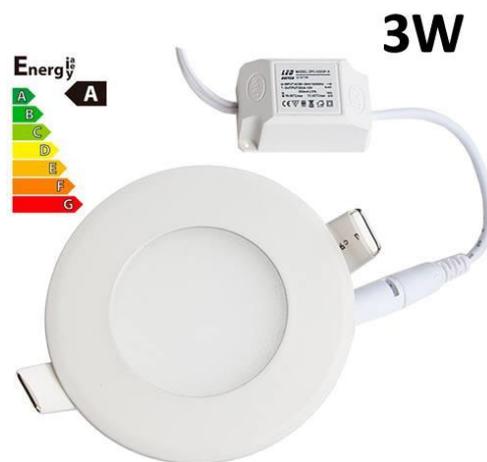
**Figura 28-4.** Encendido calefón GWH6 B31 por micro generación.

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

Como podemos ver en la figura 28-4, se comprobó que se encendió el calefón GWH6 B31, por medio de la micro generación, dando una alternativa al uso de pilas alcalinas.

Gracias al aumento de potencia eléctrica de la microturbina, aumento las utilidades que se puede dar al prototipo, lo cual lo hace más versátil y útil. Una de las nuevas utilidades es el de la iluminación, que en lugares rurales y alejados serian de mucha utilidad.

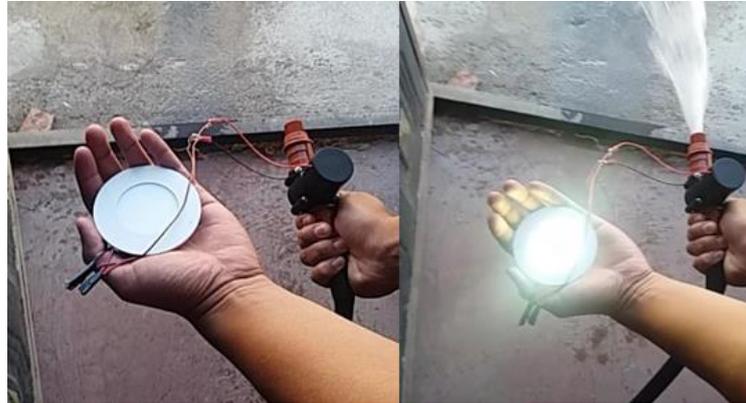
Dado que la potencia de la microturbina es alrededor de 5 W, procedemos a probar con lámparas led de menor potencia, para garantizar su funcionamiento, el modelo utilizado es el Led Panel Light de 3w, como se muestra en la figura 29-4.



**Figura 29-4.** Led Panel Light de 3w.

**Fuente:**(<https://www.facebook.com/DurresiGjithcka1Euro/photos/pcb.1030467290480566/1030466830480612/?type=3&theater>)

El micro generador lo conectamos directamente a la lámpara led, como se muestra en la figura 30-4, al momento de abrir la llave, vemos como la lámpara se enciende, comprobando su funcionamiento.



**Figura 30-4.** Encendido Led Panel Light de 3w.

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

Se busca otras opciones de iluminación led, y se probó con una linterna frontal de cabeza, tal como se muestra en la figura 31-4.



**Figura 31-4.** Linterna led de cabeza.

**Fuente:**( [http://eltiopepe.com/index.php?route=product/product&product\\_id=1715](http://eltiopepe.com/index.php?route=product/product&product_id=1715))

Se realiza el mismo procedimiento con el panel led, comprobando su funcionamiento.



**Figura 32-4.** Encendido Linterna led de cabeza.

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

#### **4.6 Cálculo de la relación Beneficio Costo (B/C)**

La relación Beneficio-Coste (B/C) relaciona de forma directa los beneficios y costo de un proyecto para calcular su viabilidad. (Blank et al., 2006: p.334). Se determina la relación (B/C) por medio de la suma de los beneficios divididos para la suma de los costos.

Si:

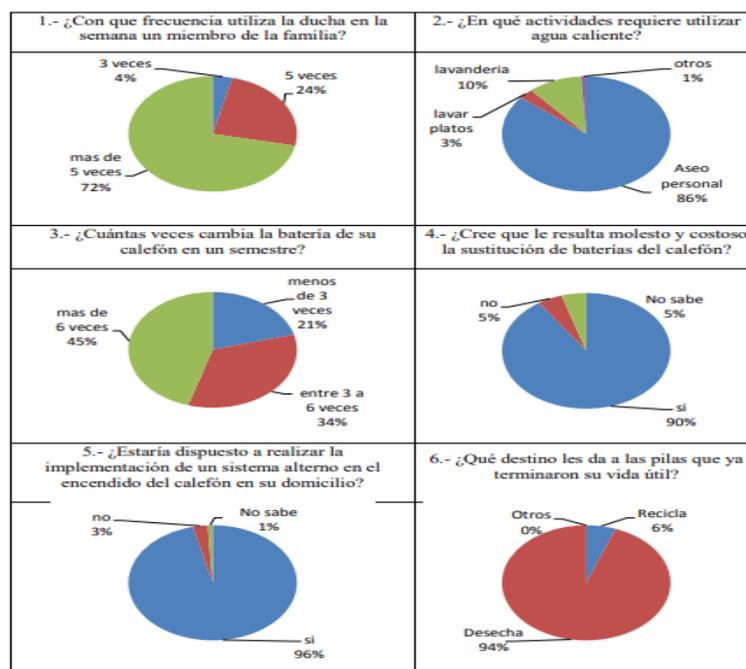
$B/C > 1$ : beneficios son superiores a los costos, por ende, el proyecto es viable

$B/C = 1$ : beneficios iguales a los costos

$B/C < 1$ : beneficios son inferiores a los costos, es por eso por lo que el proyecto no es viable

##### **4.6.1 Cálculo de valores de beneficio del proyecto.**

Se necesita saber un valor promedio de la cantidad de pilas que se usan para la ignición electrónica al año en los calefones, para ello se utilizara los datos de una encuesta realizada a 50 personas en la ciudad de Riobamba en el año 2018(Ramírez, 2018: p.78)., cuyos resultados se presentan en la siguiente gráfica.



**Gráfico 7-4.** Encuesta uso de baterías.

Realizado: Autores

Según el resultado de la encuesta, se aproxima un uso de pilas de 8 al año para el sistema de encendido de calefones con un valor unitario de \$2,80. Dado que la turbina es de duraluminio, y no necesita mayor mantenimiento más que la limpieza cada seis meses, el dispositivo puede trabajar un tiempo de 5 años.

Con los datos obtenidos podemos calcular un valor aproximado de los beneficios.

**Tabla 11-4.** Calculo Beneficio del Proyecto.

Producto	Tipo	Valor unitario (\$)	Pilas al año	Años de uso del dispositivo	Total de pilas	Costo total en pilas (\$)
Pila alcalina	D	2,80	8	5	40	112

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

#### 4.6.2 *Calculo valor total de costos del proyecto.*

Para calcular el valor total de costos del proyecto, se debe primero calcular los costos por partes, es decir costo del mecanizado de la turbina, eje y bujes, la impresión 3D, el motor DC y circuito eléctrico.

Primero procedemos a determinar el costo del mecanizado de la microturbina, la cual se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 12-4.** Costo total microturbina

<b>Producto</b>	<b>Costo unitario (\$)</b>	<b>Costo mecanizado (\$/h)</b>	<b>Tiempo mecanizado (h)</b>	<b>Costo total mecanizado (\$)</b>	<b>Costo total Microturbina (\$)</b>
Lingote de duraluminio	6	25	2	50	<b>56</b>

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

El costo total del mecanizado de la microturbina es de **\$56**.

Asimismo, se registra el valor total de la impresión 3D, el cual el costo de impresión por hora es de \$2,80. El tiempo que se empleó en la impresión fue alrededor de 9 horas, dando un costo total de \$25,2. Los detalles se presentan a continuación:

**Tabla 13-4.** Costo total impresión 3D.

<b>Componente</b>	Carcasa del motor	Carcasa superior de la turbina	Carcasa inferior de la turbina	Acople magnético	Tapa	Buje plástico
<b>Tiempo (min)</b>	165	150	140	48	30	8
<b>Tiempo total (h)</b>	9					
<b>Costo de impresión (\$/h)</b>	2,8					
<b>Costo total (\$)</b>	<b>25,2</b>					

**Realizado por:** Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

Por último, se enlista los valores de mecanizado de los componentes mecánicos, los imanes de neodimio y el motor eléctrico, el cual da un valor total de \$22,2.

**Tabla 14-4.** Costo componentes metálicos, motor e imanes.

<b>Producto</b>	Motor DC RF-500TB- 12560	Imán de Neodimio (x12)	Barra de 60cm SAE 304 ¼” de diámetro	Barra de 60cm latón ¼” de diámetro	Mecanizado eje y bujes
<b>Valor (\$)</b>	4	15	0,8	0,4	2
<b>Valor Total (\$)</b>	<b>22,2</b>				

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

Al sumar los valores totales de los costos del dispositivo da como resultado **\$103,4**, pudiendo ser más bajo, la elaboración en serie de los componentes plásticos, y la compra al por mayor de los componentes. El valor del beneficio es \$112, lo cual es lo que se ahorraría en baterías el usuario. Con estos valores calculamos la relación Beneficio-Costo, tal como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 15-4.** Relación Beneficio-Costo del proyecto.

<b>Relación Beneficio-Costo</b>	
<b>Valor Beneficio (\$)</b>	112
<b>Valor Costo (\$)</b>	103,4
<b>(B/C)</b>	<b>1,1</b>

Realizado por: Lemache, J.; Uquillas, M. 2020.

Como la relación Beneficio-Costo (B/C) es mayor a 1, el proyecto es viable, convirtiéndose en una alternativa amigable con el medio ambiente.

## 5 CONCLUSIONES

Con propuesta tecnológica emitida en este tema de tesis se optimizo e implemento un sistema de encendido con micro generación hidráulica de un calefón a gas en reemplazo del uso de baterías mediante el rediseño dimensional de las partes críticas del dispositivo y la selección de materiales de acuerdo con el criterio ingenieril basado en análisis estructural aplicando herramientas virtuales para el cálculo.

La propuesta de rediseño implico la búsqueda exhaustiva de información basada en investigaciones, análisis y simulación de prototipos similares de hidro generadores y turbinas de muy baja potencia aplicables a la metodología de nuestro dispositivo, cuyos datos fueron muy escasos, pero significativamente útiles para el desarrollo del rediseño, criterios de selección de partes de importancia y aprovechamiento de recursos disponibles.

En la propuesta realizada se analizó el estado del arte de sistemas similares de micro generación hidráulica, tomándose en cuenta los modelos matemáticos utilizados para el diseño, dimensionamiento y funcionalidad acoplando directamente los puntos de mayor importancia tomados en cuenta en estos modelos y adoptándolos de acuerdo con nuestras condiciones de uso.

Mediante el análisis de la información obtenida y el rediseño del hidro generador, se optimizo y evaluó la nueva alternativa para el encendido de un calefón a gas, basado en un modelo de turbina Michell-Banki en comparativa al primer prototipo de Pelton, además de variantes en dimensiones y geometría se optó por cambio de materiales, manteniendo un modelo simplificado de generación eléctrica basada en el principio de accionamiento de una turbina.

Se esquematizo un rediseño basado en cálculos óptimos para una turbina Michell-Banki tomando en cuenta las revoluciones de la turbina para obtener cálculos precisos de dimensionamiento de geometría de alabes y rodete, el rediseño se adaptó al acople magnético adoptado en el prototipo para la transmisión del torque hacia el generador, siendo una medida fundamental el diámetro de 30mm calculado mediante ecuaciones para la elaboración de la carcasa que contendría todos los elementos constitutivos del dispositivo y tomando en cuenta también la versatilidad del mismo al verse incorporado en las líneas domiciliarias de agua potable para aprovechar las condiciones de flujo generando energía eléctrica limpia y reemplazando las baterías de uso común del generador y aplicado de la misma manera a otras aplicaciones.

Se construyó el prototipo del rediseño tomando en cuenta procesos de construcción y selección de materiales, para lo cual fue necesario la fabricación de la turbina en material duraluminio siendo la principal ventaja la durabilidad, resistencia y anticorrosión que presenta este metal en contacto con el flujo de agua y las condiciones de trabajo de la turbina, el maquinado se lo realizó en un CNC de 4 ejes y fresas planas seleccionadas de acuerdo a la forma de la turbina, la carcasa fue realizada en material polímero PLA propio de la impresión con tecnología 3D de alta densidad, obteniendo así un acabado muy superior al de la impresión estándar, la ventaja de utilizar PLA es la obtención de mayor resistencia y combinado con un diseño optimizado nos asegura la fiabilidad ante las condiciones de operación en el interior del dispositivo evitando fugas y rupturas que hubiéramos tenido al utilizar el primer prototipo antes del rediseño.

Se validó el rediseño mediante un análisis completo MEF (Método de Elementos Finitos) en dos partes, la primera parte incurrió en un análisis inicial de factores de trabajo utilizando las herramientas virtuales para el análisis de condiciones mediante CFD ANSYS cuya utilidad en el cálculo infinitesimal de las condiciones de presión y caudal, nos dio como resultado un amplio margen de valores correspondientes a velocidades y esfuerzos actuantes en la turbina y en la carcasa contando con la facilidad de exportar dichos valores de forma completa para un nuevo estudio realizado como el segundo paso para la validación MEF, en el cual incurre el uso de una nueva herramienta como lo fue Static Structural de ANSYS, esta herramienta nos permitió analizar de manera completa el cálculo estructural ejecutado sobre la turbina y sobre la carcasa, el desarrollo analítico de este cálculo parte de la exportación los resultados del análisis anterior hacia el desarrollo de un cálculo preciso estructural de nuestra turbina, en la cual se determinó que los esfuerzos propensos en los alabes son hasta seis veces mayores que los resultados expuestos en el primer prototipo, pero la deformación es hasta tres veces menor, dándonos un coeficiente de seguridad de 10, siendo un valor muy alto que nos garantiza durabilidad y resistencia al dispositivo. El cálculo estructural realizado a la carcasa nos muestra un aumento de hasta 6 veces la presión utilizada en el primer prototipo, los esfuerzos propensos en la carcasa fueron de hasta tres veces superior requiriéndose un refuerzo en las paredes donde se concentraron los esfuerzos más críticos, el factor de seguridad arrojado por el programa nos muestra un valor de 4 este un valor aceptable para las condiciones de uso actuales y demostrando un aumento en la eficiencia de la turbina como se propuso en una primera instancia.

Se realizó un análisis de costo/beneficio del sistema propuesto en contraste con el sistema tradicional tomando en cuenta factores como el tiempo de duración de las baterías comunes utilizadas y la cantidad en un cierto periodo de tiempo, evaluando el costo total generado por la compra en contraste con los valores de producción, maquinado, montaje y tiempo de vida de nuestro dispositivo, obteniendo un índice de costo beneficio de 1.1 mostrando la viabilidad del proyecto de una forma óptima y aceptable.

Se encontró nuevas aplicaciones para el uso del micro generador hidráulico, en primera instancia se enfocó el proyecto al uso específico en el encendido del calefón. Debido a que la potencia obtenida es mucho mayor a la del primer prototipo, se enfocó el dispositivo en el encendido de las luces de iluminación, estas luces de tipo Led ocupan muy poca energía con respecto a las actuales lámparas fluorescentes y focos ahorradores, esto hace que el dispositivo pueda ocuparse también para letreros iluminados con el fin de aprovechar la energía de la red de agua doméstica.

## **6 RECOMENDACIONES**

Se recomienda la búsqueda en un futuro de mejores generadores DC de bajo voltaje que puedan aprovechar de manera más eficiente las altas rpm de la turbina debido a que la tecnología actual en el mercado es sumamente limitada con relación a estos dispositivos, por ende, en un futuro puede que la tecnología sea más avanzada que la que tenemos en este momento.

Se recomienda probar bajo condiciones extremas, nuestro análisis solo contempla las condiciones diarias de uso en el país, por dicha razón es necesario aplicar condiciones de extremo frío y de extremo calor para analizar el comportamiento a esas condiciones.

Se recomienda incrementar el diámetro de la turbina para incrementar el torque.

Se recomienda disminuir el diámetro del inyector de la turbina para incrementar las revoluciones.

Se recomienda el mecanizado de moldes para una posible fabricación en masa.

## GLOSARIO

**Microgeneración:** Se define microgeneración a la generación eléctrica en escala micro correspondiente a los 10 – 500 KW enmarcándose en el aprovechamiento energético de fuentes de tipo renovables. (García I. et al. 2019, p 2-5)

**CFD:** Computational Fluid Dynamics (Dinámica de Fluidos Computacional) corresponde a una herramienta virtual de análisis de fluidos con una gran flexibilidad, precisión y amplitud de aplicación ofreciendo predicciones cuantitativas precisas de interacciones y compensaciones de fluidos. (ANSYS.2020)

**CAD:** Diseño Asistido por Computadora, es un procedimiento que consiste en la utilización de programas de ordenador con la finalidad de analizar, modificar, crear y representar gráficamente figuras bidimensionales o tridimensionales de objetos físicos. (Siemens. 2020)

**CAM:** Fabricación Asistida por Computadora, es un proceso complejo que implica el uso de programas de ordenador como forma multidisciplinaria que abarca al dibujo asistido por computadora para la elaboración de metodologías de mecanizado, diseño y fabricación de objetos. (Ramírez A. 2018)

**Nanogenerador:** Comprende un generador cuya escala es muchas veces inferior a uno de tamaño estándar, es decir, la escala nano se aplica a su tamaño y a su funcionalidad, generalmente son utilizados bajo condiciones únicas y específicas. (Saini R. 2019)

**Microturbina:** Se define como un equipo constitutivo para la generación eléctrica diseñado específicamente para la energía distribuida, empleándose también en sistemas de recirculación de aire o agua. (Construmática, 2015)

**Hydropower:** Término utilizado para referirse al uso de la energía hídrica como principal fuente de potencia, dentro de la investigación se hace referencia al uso de la fuerza del agua para la generación eléctrica. (Ramírez A. 2018)

**Termopar:** Es un termo transductor conformado por dos elementos de tipo metal que al ser expuestos al calor estos emiten un potencial muy pequeño, su función es la medición de temperatura basada en el diferencial entre un punto caliente y uno frío.

**OLADE:** Organización Latinoamericana de Energía. (Manual Olade, 1980)

**Polímero:** Definidos como un compuesto de macromoléculas provistas por una o varias unidades denominadas monómeros que se repiten a lo largo de toda su cadena compositiva.

**Duraluminio:** Es una aleación de aluminio con cobre y manganeso, cuyas propiedades mecánicas las provén de una dureza similar al acero y una gran resistencia mecánica.

**Impresión 3D:** Conocida también como impresión por adición, es el conjunto de procesos que producen objetos en tres dimensiones a través de la adición de material según las capas con las cuales se diseñó. (Siemens, 2020).

## **BIBLIOGRAFIA.**

**ALTAMIRA.** *Calentadores de agua centro servicio, reparación y ventas.*, 2020. *Calentadoresaltamira.com.ve* [online], [fecha de consulta: 12 noviembre 2019] disponible en: <https://www.calentadoresaltamira.com.ve/caracas/preguntas.html>

**ANSYS, 2019.** *CFD Simulation Software | ANSYS Fluids Simulation.* [en línea]. [Consulta: 27 abril 2020]. Disponible en: <https://www.ansys.com/products/fluids>.

**BAZO, Carlos Alberto Hernández.** *Manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas.* Olade, 1985.

**BLANK, Leland.; & TARQUIN, Anthony.** *Ingeniería Económica.* 6ª ed. Mexico-Mexico: Mc: Mc Graw Hill,2006, p.304.

**BERMUDEZ JAUREGUI, J.** Prototipo de generación de energía a partir de investigación y desarrollo tecnológico en tecnologías alternativas [En línea]. Universidad Nacional de Cuyo, Argentina. 2017.p.6. [Consulta: 20 de enero del 2020]. Disponible en : [https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos\\_digitales/9675/599-formato-articulos-iman.es.pdf](https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/9675/599-formato-articulos-iman.es.pdf)

**CONSTRUPEDIA, ENCICLOPEDIA CONSTRUCCIÓN.** *Calentador de Agua.*, 2020. [online], [fecha de consulta: 12 noviembre 2019] Disponible en: [https://www.construmatica.com/construpedia/Calentador\\_de\\_Agua](https://www.construmatica.com/construpedia/Calentador_de_Agua)

**CABADIANA MOROCHO, Paul Alejandro, & OÑATE GUERRERO, Alex Mauricio.** Implementación de una turbina turgo para generación eléctrica en el laboratorio de turbomaquinaria de la facultad de mecánica [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.2016.pp. 5-6. [Consulta: 14 de enero del 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/5185/1/15T00641.pdf>

**CHAPMAN, Stephen.** *Maquinas Eléctricas.* 5ª ed. Mexico-Mexico: Mc: Mc Graw Hill,2012,p.301.

**DU, Jiyun; et al.** *Micro hydro power generation from water supply system in high rise buildings using pump as turbines.* *Energy*, 2017, vol. 137, p. 431-440.

**FAJARDO VELEZ, Christian Lauro, & JORDAN POLIT, Carlos Eduardo.** Diseño de una micro central de bajo costo para generar energía eléctrica mediante el uso de un sistema bomba-turbina/motor-generator [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador.2017. p.13. [Consulta: 12 de enero del 2020]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/99235/D-CD88509.pdf>

**FERNÁNDEZ GARCÍA, Irene; et al.** *Potential of energy recovery and water saving using micro-hydropower in rural water distribution networks.* Journal of Water Resources Planning and Management, 2019, vol. 145, no 3, p. 05019001.

**FERRADA, L.** (2012). Retrieved 20 December 2019, from [http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112366/cf-ferrada\\_ls.pdf](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112366/cf-ferrada_ls.pdf)

**FERRARI, Hernán.** *Motor y generador eléctrico.* [blog]. 2015.[Consulta: 23 de enero del 2020]. Disponible en: <https://www.educ.ar/recursos/128940/motor-y-generador-electrico>

**FREIRE, Wilma; et al.** *Tomo I: Encuesta Nacional de Salud y Nutrición de la población ecuatoriana de cero a 59 años, ENSANUT-ECU 2012.* 2014.

**GIRALDO JIMÉNEZ, Santiago; et al.** *Prueba de una microturbina tipo Michel-Banki de baja potencia.* 2015. Tesis de Licenciatura. Universidad EAFIT.

**HERNÁNDEZ, Carlos, & INDACOCHEA, E.** *Apuntes para un Manual técnico de diseño, estandarización y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas-turbinas Michell Banki.* OLADE (Organización Latinoamericana de Energía), 1988

**BOSCH TERMOTECNOLOGÍA.** *Junkers.* [En línea] [Citado el: 28 de Octubre de 2019.] <https://www.junkers.cl/>

**LABARTA, Vicente; et al.** *Análisis CFD Y MEF del Diseño Inicial de un Sistema EGR.* 2017.

**MANUAL OLADE.** *Manual de diseño de turbinas Michell Banki.* Vol. I.

**MARCILLO MANZABA, Marilin Maricela.** Los desechos de pilas y baterías y su influencia en la contaminación ambiental. 2012. Tesis de Licenciatura. Universidad Tecnológica Equinoccial. Facultad: Educación a Distancia.

**MORENO ZULCA, P; et al.** *Análisis estructural de un bus por el método de elementos finitos.* *Polo del Conocimiento* [en línea].2020, vol. 5, no. 01, pp. 799-837. [Consulta: 27 abril 2020]. ISSN 2550-682X. DOI 10.23857/pc.v5i01.1265. Disponible en: <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/1265/2242>.

**OKDINATA, Echa; et al.** *Performance Test of Pelton Micro-Hydro Turbine with the Variations of Parameter to Produce the Maximum Output Power.* En *Journal of Physics: Conference Series.* IOP Publishing, 2019. p. 012025.

**OLADE.** *Apuntes para un manual técnico de diseño, estandarización y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas.* Turbinas Pelton: s.n., 1988. Vol. 2

**PRAKASH, Shesha.** *Hydraulics and Hydraulic Machines.* [blog]. Shimoga(India): Shesha Prakash, (sin fecha) . [Consulta: 03 de enero del 2020]. Disponible en: [http://yozmen.ktu.edu.tr/files/hes\\_2.pdf](http://yozmen.ktu.edu.tr/files/hes_2.pdf)

**PROSPERI, S; et al.** *Impacto ambiental producido por las pilas en desuso.* Trabajo no publicado, UNAM, México, 2005.

**RAMÍREZ RAMÍREZ, Jorge.** *Análisis, diseño e implementación de un sistema de encendido con microgeneración hidráulica de un calefón a gas para evitar el uso de pilas.* 2018. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

**REYNA, T; et al.** *Energía mini y micro hidráulica: aporte contra el Cambio Climático.* V Jornadas de Ingeniería del Agua. La Coruña, 2017, p. 24-26.

**RUSIŃSKI, Eugeniusz; & PIETRUSIAK, Damian.** *Proceedings of the 14th International Scientific Conference: Computer Aided Engineering.* Springer, 2019.

**SAINI, R; et al.** *Development of Modified Pump Used as Turbine in Micro Hydro Plants.* En *Rural Technology Development and Delivery.* Springer, Singapore, 2019. p. 301-308.

**SONG, Ke; et al.** *Numerical and experimental analysis of a diffuser-augmented micro-hydro turbine.* *Ocean Engineering*, 2019, vol. 171, p. 590-602.

**SUESCUN MONSALVE, I.** *Kimerius Aircraf.* 2019.[fecha de consulta: 20 diciembre 2019], Disponible en: <http://kimerius.com/app/download/5780662658/Turbinas+hidr%C3%A1ulicas.pdf>

**TOTAL MATERIA.** *Total Materia - La Base de Datos de Materiales más Extensa del Mundo.*2020 [en línea]. [Consulta: 27 abril 2020]. Disponible en: <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=Home&LN=ES>.

**VARGAS BENAMBOURG, Daniela.** *Estudio de prefactibilidad para el Aprovechamiento Energético mediante Sistemas de Micro Generación Hidroeléctrica en líneas de agua potable para el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.* 2019.

**VELEZ IÑIGUEZ, Rafael Esteban.** Factibilidad de sistemas de micro y mini hidroeléctricas comunitarias rurales en el Azuay [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad de Cuenca, Ecuador.2013. p.65. [Consulta: 14 de enero del 2020]. Disponible en: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3240/1/TESIS.pdf>

*Ventajas e inconvenientes del encendido piezoeléctrico en un calentador,* 2020. *comunidad.leroymerlin.es* [online], [fecha de consulta: 20 noviembre 2019] disponible en: <https://comunidad.leroymerlin.es/t5/Bricopedia-Climatizaci%C3%B3n/Ventajas-e-inconvenientes-del-encendido-piezoel%C3%A9ctrico-en-un/ta-p/12325>

**VICENTE LABARTA; et al.** *ANÁLISIS CFD Y MEF DEL DISEÑO INICIAL DE UN SISTEMA EGR.* 21th International Congress on Project Management and Engineering (Cádiz, 12th - 14th July ).2017. [en línea], [Consulta: 27 abril 2020]. Disponible en: <http://dspace.aeipro.com/xmlui/handle/123456789/384?show=full>.

**VILLALTA PACHECO, Leonardo; & BUÑAY YUGSI, Sergio.** *Evaluación energética-económica en el uso de calentadores de agua en el cantón Paute.* 2016. Tesis de Licenciatura.

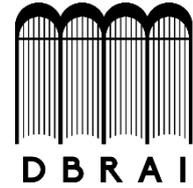
**WEI, Liangliang; et al.** *Development and optimization of low-speed and high-efficiency permanent magnet generator for micro hydro-electrical generation system.* *Renewable Energy,* 2020, vol. 147, p. 1653-1662



06-07-2020  
0106-DBRAI-UPT-2020



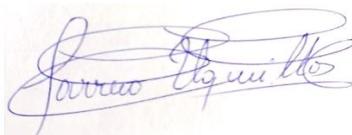
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO



DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS  
PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS  
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 06 / 07 / 2020

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
<b>Nombres – Apellidos:</b> Jeferson Xavier Lemache Rivera Marcos Paul Uquillas Lescano
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
<b>Facultad:</b> Mecánica
<b>Carrera:</b> Ingeniería Mecánica
<b>Título a optar:</b> Ingeniero Mecánico
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. CPA. Jhonatan Parreño Uquillas. MBA.
 
06-07-2020 0106-DBRAI-UPT-2020