



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

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

RAMÍREZ RAMÍREZ JORGE ALVARO

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2018

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2018-08-09

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

RAMÍREZ RAMÍREZ JORGE ÁLVARO

Titulado:

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

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Telmo Moreno
DIRECTOR

Ing. Miguel Pérez
MIEMBRO

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: RAMÍREZ RAMÍREZ JORGE ÁLVARO

TÍTULO DE LA TESIS: “ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENCENDIDO CON MICROGENERACIÓN HIDRÁULICA DE UN CALEFÓN A GAS PARA EVITAR EL USO DE PILAS”

Fecha de Examinación: 2018-08-09

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Telmo Moreno DIRECTOR DEL PROYECTO			
Ing. Miguel Pérez MIEMBRO DEL PROYECTO			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de Titulación que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Ramírez Ramírez Jorge Álvaro

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Jorge Álvaro Ramírez Ramírez, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Ramírez Ramírez Jorge Álvaro

Cédula de Identidad: 180455950-6

DEDICATORIA

A mi madre Margarita que, siendo ejemplo del esfuerzo y constancia, nunca me dejó solo en mis momentos de mayor necesidad, por ella esta lucha constante hasta llegar a cumplir mis objetivos. A mi hermano por ser el impulso y brindarme paciencia, a mis abuelos por ser como mis segundos padres y motivarme desde pequeño la honradez y la responsabilidad.

A mi familia y amigos por el respaldo sincero que me han brindado durante esta travesía, por los consejos y apoyo incondicional que me han brindado.

También a mis maestros que formaron parte de mi vida estudiantil, y que aportaron con sus conocimientos para cumplir con éxito esta etapa de mi vida.

Jorge Álvaro Ramírez Ramírez

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por permitirme ingresar a sus aulas y darme la oportunidad de culminar una etapa académica con la mejor preparación posible.

También extendo un profundo agradecimiento al Ing. Telmo Moreno y al Ing. Miguel Pérez, por brindarme su amistad y paciencia, quienes con su asesoramiento y experiencia han contribuido para elaborar el presente documento.

Jorge Álvaro Ramírez Ramírez

CONTENIDO

Pág.

RESUMEN

ABSTRACT

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Planteamiento del problema.	2
1.3	Justificación.....	3
1.3.1	<i>Justificación teórica</i>	3
1.3.2	<i>Justificación metodológica</i>	3
1.3.3	<i>Justificación práctica</i>	3
1.4	Objetivos.....	3
1.4.1	<i>Objetivo general</i>	3
1.4.2	<i>Objetivos específicos</i>	3
2.	MARCO REFERENCIAL SOBRE LOS SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA DE USO DOMÉSTICO Y MICROGENERACIÓN HIDRÁULICA	4
2.1	Calentadores de agua.....	4
2.2	Calentadores de agua con sistemas de acumulación.....	4
2.3	Calentadores de agua con sistemas instantáneos.	4
2.4	Calentadores Instantáneos o de paso eléctricos.....	6
2.5	Calentadores Instantáneos o de paso a gas (calefones).....	6
2.5.1	<i>Elementos constitutivos principales</i>	6
2.5.2	<i>Principios de funcionamiento</i>	8
2.5.3	<i>Clasificación</i>	9
2.5.3.1	<i>Calefón a gas según el tipo de cámara de combustión</i>	9
2.5.3.2	<i>Calefón a gas según el tipo de evacuación de los gases.</i>	9
2.5.3.3	<i>Calefón a gas según el tipo de encendido.</i>	11
2.6	Microgeneración hidráulica.....	13
2.7	<i>Turbina Hidráulica</i>	14
2.7.1	<i>Tipos de turbinas hidráulicas</i>	14
2.7.1.1	<i>Turbinas de acción</i>	15
2.7.1.2	<i>Turbinas de reacción</i>	16

2.7.2	<i>Criterios selección de turbinas hidráulicas</i>	17
2.7.2.1	<i>Mediante velocidades específicas</i>	17
2.7.2.2	<i>Mediante gráficos de altura y caudal</i>	17
3.	DISEÑO METODOLÓGICO DE LA ESTRUCTURA DEL MICROHIDROGENERADOR	19
3.1	Parámetros que figuran en la red instalada.....	20
3.2	Diseño y cálculos hidráulicos.....	21
3.2.1	<i>Determinación de caudal</i>	21
3.2.2	<i>Cálculo del salto neto aprovechable</i>	24
3.2.3	<i>Selección y velocidad de giro de la turbina</i>	29
3.2.4	<i>Dimensionamiento preliminar de la geometría del rodete</i>	31
3.3	Modelado preliminar de la geometría del dispositivo.....	34
3.3.1	<i>Modelado de la microturbina</i>	36
3.3.2	<i>Modelado del eje y bujes</i>	37
3.3.3	<i>Modelado del porta-imán para acople magnético</i>	38
3.3.4	<i>Modelado de la carcasa</i>	39
3.3.4.1	<i>Carcasa superior de la microturbina</i>	39
3.3.4.2	<i>Carcasa inferior de la microturbina</i>	40
3.3.4.3	<i>Carcasa del generador (motor DC)</i>	43
3.3.5	<i>Modelado de la tapa de la carcasa</i>	44
3.3.6	<i>Ensamble del hidrogenerador</i>	45
3.4	Validación de la geometría preliminar por MEF.....	47
3.4.1	<i>Simulación de trayectorias del fluido en ANSYS CFD</i>	47
3.4.1.1	<i>Análisis por MEF para la microturbina</i>	52
3.4.1.2	<i>Análisis por MEF para la carcasa</i>	55
3.4.2	<i>Selección del proceso de fabricación</i>	57
3.4.2.1	<i>Modelado por Deposición Fundida (FDM)</i>	57
3.4.2.2	<i>Materiales usados en impresión 3D bajo el proceso FDM</i>	58
3.4.2.3	<i>Materiales usados para el eje y los bujes</i>	60
4.	CONSTRUCCIÓN, EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS	63
4.1	Construcción con Modelado por Deposición Fundida (FDM).....	63
4.1.1	<i>Impresora 3D Delta HE3D K280</i>	65
4.1.2	<i>Construcción de la microturbina, porta- imán y buje plástico</i>	65
4.1.3	<i>Impresora 3D CR-10S</i>	66
4.1.4	<i>Construcción de la carcasa del dispositivo</i>	67

4.1.5	<i>Construcción del eje fijo y buje de cobre</i>	69
4.1.6	<i>Selección del motor DC como generador</i>	70
4.1.7	<i>Diseño de un circuito para regulación de voltaje</i>	71
4.2	Ensamblaje del dispositivo	73
4.2.1	<i>Comprobación del funcionamiento y resultados</i>	74
4.3	Cálculo de la relación Beneficio Coste (B/C).....	77
4.3.1	<i>Determinación de los valores de beneficio del proyecto</i>	78
4.3.2	<i>Determinación de los valores de costos del proyecto</i>	79
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
5.1	Conclusiones.....	82
5.2	Recomendaciones	83

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-2. Características de los sistemas de agua caliente	5
Tabla 2-2. Rangos de trabajo de las microturbinas	13
Tabla 3-2. Rango de aplicación de turbinas hidráulicas.....	17
Tabla 1-3. Características Calefón 26 LT JUMBO GO-179 Instamatic.	21
Tabla 2-3. Características sensor de flujo	22
Tabla 3-3. Coeficientes para pérdidas en accesorios.....	26
Tabla 4-3. Valores de recalcado de pérdidas con presión máxima	29
Tabla 5-3. Datos para la selección del tipo de turbina	30
Tabla 6-3. Variación ángulo β_1 para construcción del rotor Michell Banki	32
Tabla 7-3. Tamaño de conexión NPT para diámetro de ½"	41
Tabla 8-3. Definición de parámetros para mallar el volumen de control	48
Tabla 9-3. Selección de parámetros para simulación	50
Tabla 10-3. Parámetros para el análisis MEF de la microturbina	53
Tabla 11-3. Parámetros para el análisis MEF de la carcasa	55
Tabla 12-3. Propiedades físicas y mecánicas del ABS	59
Tabla 13-3. Propiedades físicas y mecánicas del PLA.....	59
Tabla 14-3. Diferencias entre los materiales ABS y PLA.....	60
Tabla 15-3. Propiedades generales de los aceros inoxidable.....	61
Tabla 16-3. Propiedades mecánicas del acero inoxidable austenítico AISI 304.....	62
Tabla 1-4. Designación del proceso de construcción de las piezas microgenerador.....	63
Tabla 2-4. Elementos construidos en la impresora 3D Delta HE3D K280	66
Tabla 3-4. Componentes construidos en la impresora CR-10S.....	68
Tabla 4-4. Componentes metálicos	69
Tabla 5-4. Descripción del montaje del dispositivo	73
Tabla 6-4. Datos de voltaje en función de caudal al abrir llave	74
Tabla 7-4. Datos de voltaje en función de caudal al cerrar llave	75
Tabla 8-4. Potencia en función de caudal.....	77
Tabla 9-4. Resultados de la encuesta	78
Tabla 10-4. Costo total en pilas.....	79
Tabla 11-4. Costos de materiales para el regulador del voltaje.....	79
Tabla 12-4. Costos de impresión para prototipo para microgeneración.....	80
Tabla 13 -4. Costos de materiales para componentes metálicos	81

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1-2. Suministro de agua caliente a) Sistema instantáneo, b) Sistema de acumulación.....	5
Figura 2-2. Representación de un calentador instantáneo a gas.....	7
Figura 3-2. Ionización de la llama en las calderas	7
Figura 4-2. Corte de la válvula de agua del calefón.....	8
Figura 5-2. Calefón con evacuación de gases por tiro forzado	10
Figura 6-2. Calefón con evacuación de gases por Tiro Natural	10
Figura 7-2. Pilas primarias Eveready® Energizer	11
Figura 8-2. Diagrama interno frontal del calefón ionizado con pilas.....	12
Figura 9-2. Esquema básico de una estación de turbinado	14
Figura 10-2. Turbina Pelton.....	15
Figura 11-2. Turbina Michell-Banki.....	16
Figura 12-2. Relación del tipo de turbinas en función del salto y caudal	18
Figura 1-3. Esquema metodológico	19
Figura 2-3. Sistema de alimentación de agua al calefón.....	20
Figura 3-3. Esquema sensor efecto Hall	22
Figura 4-3. Conexión Sensor de flujo con Arduino	23
Figura 5-3. Sensor de flujo instalado en la ducha	23
Figura 6-3. Datos de caudal en la interfaz de Arduino	24
Figura 7-3. Dimensiones de la red de alimentación de agua al calefón	25
Figura 8-3. Tipos de ruedas hidráulicas	31
Figura 9-3. Perfil de velocidades rodete Michell Banki	32
Figura 10-3. Perfil del álabe en el rodete Michell Banki	34
Figura 11-3. Partes de una bomba centrífuga de acople magnético.....	36
Figura 12-3. Modelado microturbina del hidrogenerador	37
Figura 13-3. Modelado de fijo	37
Figura 14-3. Modelado de bujes del eje.....	38
Figura 15-3. Modelado porta imán	38
Figura 16-3. Modelado carcasa superior de la turbina vista de ángulos diferentes.....	39
Figura 17-3. Modelado carcasa inferior de la turbina	40
Figura 18-3. Perfil de rosca cónica NPT	41
Figura 19-3. Trayectoria hélice para la rosca.....	42
Figura 20-3. Perfil de diente para la rosca	42

Figura 21-3. Modelado carcasa superior microturbina roscada	43
Figura 22-3. Carcasa del generador	43
Figura 23-3. Modelado tapa de la carcasa del generador	44
Figura 24-3. Modelado ensamble hidrogenerador	45
Figura 25-3. Corte de sección transversal del ensamble	46
Figura 26-3. Vista explotada del ensamble	46
Figura 27-3. Mallado del volumen de control de la carcasa	49
Figura 28-3. Parámetros de configuración para simulación en Ansys Fluent.....	49
Figura 29-3. Simulación: a) Frontal, b) Superior, c) Inclinada, d) Con vectores.....	51
Figura 30-3. Resultados de fuerzas sobre los álabes.....	51
Figura 31-3. Datos para definir el material ABS en ANSYS	52
Figura 32-3. Microturbina: a) Esfuerzo Von-Mises, b) Deformación c) Factor de seguridad...	54
Figura 33-3. Carcasa: a) Esfuerzo Von-Mises, b) Deformación c) Factor de seguridad	56
Figura 34-3. Diagrama de modelado por deposición fundida.....	57
Figura 35-3. Diagrama de flujo de información del proceso FDM.....	58
Figura 1-4. Preparación para impresión software Simplify3D	64
Figura 2-4. Impresora 3D Delta HE3D K280	65
Figura 3-4. Impresión en proceso del porta-imán	66
Figura 4-4. Impresora CR-10S.....	67
Figura 5-4. Impresión en proceso de la carcasa del motor.....	68
Figura 6-4. Motor RF-500TB-12560	70
Figura 7-4. Módulo de control calefón	70
Figura 8-4. (a) Efecto de un pico de corriente en la entrada; (b) Reducción de ruido	71
Figura 9-4. Diagrama eléctrico circuito regulador de voltaje	72
Figura 10-4. Circuito regulador de voltaje.....	72
Figura 11-4. Dispositivo instalado en la ducha.....	74
Figura 12-4. Curva Voltaje-Caudal al abrir la llave de agua	75
Figura 13-4. Curva Voltaje-Caudal al cerrar la llave de agua.....	76
Figura 14-4. Prueba del circuito regulador de voltaje en el dispositivo.....	76
Figura 15-4. Curva Potencia-Caudal.....	77

LISTA DE ABREVIATURAS

ACS	Agua Caliente Sanitaria
GLP	Gas Licuado de Petróleo
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
EERSA	Empresa Eléctrica Riobamba S.A.
ICE	Impuesto a los Consumos Especiales
CAD	Computer-Aided Design (Diseño Asistido por Computadora)
FEA	Finite Element Analysis (Análisis de Elementos Finitos)
MEF	Método de Elementos Finitos
CFD	Computational Fluid Dynamics (Dinámica de Fluidos Computacional)
FDM	Modelado por Deposición Fundida
ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno
PLA	Ácido Poliláctico

LISTA DE ANEXOS

Anexo A: Datasheet del sensor de flujo YF-S201

Anexo B: Código Arduino para medidor de flujo de agua

Anexo C: Tabla de roscas

Anexo D: Detalles técnicos de la Impresora 3D Delta HE3D K280

Anexo E: Detalles técnicos de la impresora CR-10S

Anexo F: Datasheet del motor RF-500TB-12560

Anexo G: Manual de instalación

Anexo H: Encuesta

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo, diseñar e implementar un sistema de encendido alternativo con microgeneración hidráulica de un calefón a gas para evitar el uso de pilas. Esto implicó especificar los requerimientos funcionales de entrada, se midió el caudal de una red doméstica con tanque elevado en la tubería que alimenta el calefón de agua fría, con un sensor de flujo de efecto Hall, conectado a una placa Arduino, y también se determinó la altura neta de este sistema, con estos parámetros iniciales se pudo seleccionar el tipo de turbina Pelton, con consideraciones de la geometría de los álabes de la turbina Michell-Banki. Se realizó un dimensionamiento preliminar de los componentes del dispositivo en base a formulaciones teóricas y criterios de diseño, luego se procedió a realizar la modelación de la geometría en el software SOLIDWORKS, para su posterior validación y simulación de trayectorias en el software ANSYS. Al definir el proceso de fabricación (impresión 3D) y la selección del material (ABS) se procedió con la construcción y montaje del dispositivo en serie con el sensor de flujo, y con un multímetro se obtuvieron valores de voltaje superiores a 4.2 V, con un caudal mínimo de 4099 L/min, por lo que se requiere instalar un circuito de regulación de voltaje para no dañar el módulo de control del calefón y reducir el voltaje a 1.5V. Como resultado del trabajo se provee una metodología de diseño para un sistema dispositivo micro-hidrogenerador que se implementa en la red que alimenta al calefón a gas para su encendido sin el uso de pilas.

Palabras clave: <TECNOLOGÍAS Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <INGENIERÍA MECÁNICA>, <MICROGENERACIÓN HIDRÁULICA>, <CALEFÓN A GAS>, <MICROTURBINA>, <ANSYS (SOFTWARE)>, <HIDROGENERADOR>, <DISEÑO E IMPLEMENTACION>.

ABSTRACT

The objective of the present graduation work was to design and implement an alternative ignition system with a hydraulic hydroelectric generation of a gas heater to avoid the use of batteries. This involved specifying the functional input requirements. The flow rate of a domestic network with a high tank was measured. In the pipe that feeds the cold water heater with a Hall effect flow sensor, connecting an Arduino board, and the net height of this system was also determined, with these initial parameters it was possible to select the Pelton turbine type, with considerations of the geometry of the blades of the Michell-Banki turbine. A preliminary dimensioning of the components of the packaging device was made to theoretical formulations and design criteria, then proceeded to perform the modeling of the geometry in the SOLIDWORKS software, for further validation and simulation of trajectories in the ANSYS software. When defining the manufacturing process (3D printing) and Material Selection (ABS), the construction and assembly of the device was carried out in series with the flow sensor, and with a multimeter, voltage values higher than 4.2 V were obtained, with a minimum flow of 4099 L/min, so it is necessary to install a voltage regulation circuit to avoid damaging the heating control module and reduce the voltage to 1.5 V. As a result of the work a design methodology is provided for a micro hydro-generator device system that is implemented in the network that feeds the gas heater for its ignition without the use of batteries.

Keywords: <TECHNOLOGIES AND ENGINEERING SCIENCES>, <MECHANICAL ENGINEERING>, <MICROGENERATION HYDRAULIC>, <GAS HEATER>, <MICROTURBINE>, <ANSYS (SOFTWARE)>, <HYDROGENERATOR>, <DESIGN AND IMPLEMENTATION>

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En la actualidad, prácticamente casi cualquier vivienda del planeta cuenta con un calentador de agua, debido a los diferentes entornos climáticos que existen, las variadas condiciones geográficas y ambientales, así como también por características sociales y culturales propias de cada región, y es que estos artefactos se han vuelto indispensables para una de las necesidades más básicas del ser humano, que es la de mantener su higiene de una forma sencilla y práctica con el uso de agua caliente sanitaria (ACS). Para suplir esta necesidad actualmente se utilizan sistemas eléctricos, sistemas a base de GLP (*Gas licuado de petróleo*) y sistemas alternativos provenientes de sistemas con energías renovables.

Muchas empresas disponen de una amplia gama de soluciones para la producción de agua caliente, con centros de producción y delegaciones comerciales en los cinco continentes. En 1892 la tecnología alemana de Hugo Junkers inventa el calefón y lo llama Kalorimeter. En 1894, Junkers obtiene la primera patente para la fabricación de calefones, por lo que en 1895 se da la fundación de la firma “Junkers & Co” en Dessau, Alemania. Como referencia en América en 1924 se vende el primer calefón Junkers en Chile. En el año 1932 Robert Bosch adquiere la compañía Junkers & Co, desde entonces y hasta hoy, la división de Bosch Termotecnia es una empresa líder en sistemas de calefacción de agua caliente y está presente en todo el mundo a través variadas marcas. En los años siguientes, se realizaron mejoras para la optimización de recursos y la automatización en cuanto al sistema de encendido, en 1968 se introduce el encendido piezoeléctrico en calefones a gas y 1994 inventa el primer calefón automático con encendido por batería (pilas). En el 2002 Junkers introduce en Chile el primer calefón Hydropower, con encendido automático por microturbina. (© Bosch Termotecnología)

En el último censo de población y vivienda del 2010, en Ecuador se ha desarrollado un notable crecimiento en el que se determinaron 4.654.054 viviendas de las cuales el 94.77% dispone de energía eléctrica, el 60.09% dispone de duchas. (INEC, 2010). En la ciudad de Riobamba, el 54% disponen de duchas eléctricas, el 44% calefones a gas, y el 2% otros (EERSA, 2010). Se estima

que en Ecuador existen unos 400 mil sistemas de agua caliente sanitaria funcionando con GLP, con un consumo promedio que varía de 1,4 a 2 bombonas de 15 kg al mes por familia, los principales usuarios están en las provincias de la sierra y principalmente en los hogares de mayor ingreso económico. (Peñañiel, y otros, 2012 pág. 63)

En Ecuador se oferta limitadas marcas principalmente de procedencia asiática, el costo es alto con relación al costo en países vecinos, ya que la ley de incentivos a la producción y prevención del fraude fiscal en Ecuador, desde el año 2015 aplica el alza del 100% al impuesto de consumos especiales (ICE) a los productos que utilizan GLP entre ellos las cocinas y calefones, (Villalta, y otros, 2016 pág. 45), es por eso que se ha desestimado la importación de estos aparatos en general, cabe mencionar que los calefones con encendido automático Hydropower (encendido automático con un hidrogenerador), que no necesita pilas para su encendido no se fabrican en el país, y así como la mayoría de calefones están sujetos a importaciones.

Con lo expuesto se nota que un porcentaje considerable de familias ecuatorianas poseen en sus hogares calefones a gas, en los que el sistema de encendido en su mayoría es automático con encendido por batería (pilas), ya que el encendido manual y el encendido piezoeléctrico que utilizan estos artefactos están en desuso. Las pilas que se utilizan en la generación de la chispa en un calefón a gas, han sido los principales componentes del sistema de encendido de los calefones por ignición electrónica, por lo que su uso ha sido indispensable en los últimos años, pero el mal manejo de estos pequeños componentes tras cumplir con vida útil ha traído efectos ambientales negativos.

1.2 Planteamiento del problema.

Según la información recabada, los elementos más frecuentes de contaminación de suelos provocada por la mala disposición de pilas en desuso, serían los metales como; Hg, Zn; Ni, Cd, Pb, y Mn, los que podrían provocar graves daños al ambiente natural y en especial al medio acuoso como causas en superficie o subterráneos. (Prósperi, y otros)

El cambio de estas pilas continuamente para esta aplicación, también implica costos relativamente significativos a largo plazo y que las sustituciones de las mismas se dan sin un aviso previo, resultando molestas y frecuentes. Por lo que se ha visto la necesidad de implementar un sistema alternativo y amigable con el ambiente, para evitar el consumo de baterías o pilas en la generación de chispa en el encendido de los calefones de nuestros domicilios y minimizar los efectos que producen en el mal manejo que tienen las pilas después de cumplir su vida útil que usualmente

en nuestro medio no se reciclan, debido a los costos que este proceso genera y los escasos controles que se manejan.

1.3 Justificación

1.3.1 *Justificación teórica*

Como resultado del trabajo se provee una metodología de diseño para un sistema de encendido con microgeneración hidráulica de un calefón a gas, utilizando un hidrogenerador para sustituir el uso típico de pilas, recopilando información y métodos de desarrollo existente de este campo.

1.3.2 *Justificación metodológica*

Concluido el trabajo en su totalidad se dispondrá del estudio de arte de los tipos de calentadores del agua y los sistemas de encendido de calefones a gas, métodos de análisis para el diseño e implementación del prototipo de un sistema de generación de chispa con microgeneración hidráulica que servirá como guía metodológica para posteriores investigaciones.

1.3.3 *Justificación práctica*

Una vez concluida la propuesta tecnológica planteada, se tendrá el diseño de un sistema de generación de chispa con microgeneración hidráulica, que sustituirá al encendido convencional de los calefones a gas ionizados con pilas. Este sistema puede ser desarrollado en serie para posteriormente ser implementados en los calefones ya instalados en el país.

1.4 Objetivos.

1.4.1 *Objetivo general*

- Diseñar e implementar un sistema de encendido con microgeneración hidráulica de un calefón a gas como sustituto de las pilas.

1.4.2 *Objetivos específicos*

- Analizar el estado del arte de los sistemas de encendido de calefones a gas.
- Diseñar el sistema que se plantea para el encendido de un calefón a gas.
- Validar, construir e implementar el prototipo.
- Realizar un análisis Beneficio-Costo del sistema propuesto respecto al tradicional (empleando pilas).

CAPÍTULO II

2. MARCO REFERENCIAL SOBRE LOS SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA DE USO DOMÉSTICO Y MICROGENERACIÓN HIDRÁULICA

El siguiente capítulo, refleja la investigación bibliográfica referente a las características generales de los sistemas de calentamiento de agua sanitaria de uso residencial, con un enfoque a los calefones a gas, la descripción de su funcionamiento y los tipos de encendido que se utiliza para estos equipos. Así mismo se va a revisar los parámetros más relevantes para el desarrollo del sistema de encendido planteado y las teorías que lo gobiernan.

2.1 Calentadores de agua

Un calentador de agua, caldera o calefón, es un dispositivo termodinámico que utiliza energía para elevar la temperatura del agua fría que viene del sistema municipal de agua o de un pozo. (Construmática, 2017)

La preparación del agua caliente sanitaria se puede hacer bajo dos sistemas: Sistemas de acumulación y sistemas instantáneos.

2.2 Calentadores de agua con sistemas de acumulación

El agua se mantiene caliente y lista para su uso en todo momento en tanques de almacenamiento, muchas opciones de combustible están disponibles, incluyendo electricidad, gas natural, petróleo y propano (GLP). Cuando se enciende un grifo, el agua caliente sale del tanque de almacenamiento. El agua sin calentar fluye en el tanque para reemplazar esa agua caliente. Un termostato enciende el quemador o elemento eléctrico para mantener la temperatura del agua en el tanque. (EnergyStar, 2017)

2.3 Calentadores de agua con sistemas instantáneos.

Este tipo de calentador de agua consiste en un elemento eléctrico o un quemador de gas que calienta el agua que fluye, debido a que no tiene un tanque de almacenamiento. También se llama calentador de agua a pedido, calentador de punto, instantáneo o sin tanque, ya que calienta el agua sólo cuando es necesario, eliminando así las pérdidas continuas en modo de espera.

La Figura 1-2, se representa al calentador y el depósito antes de suministrar el agua caliente sanitaria al usuario;

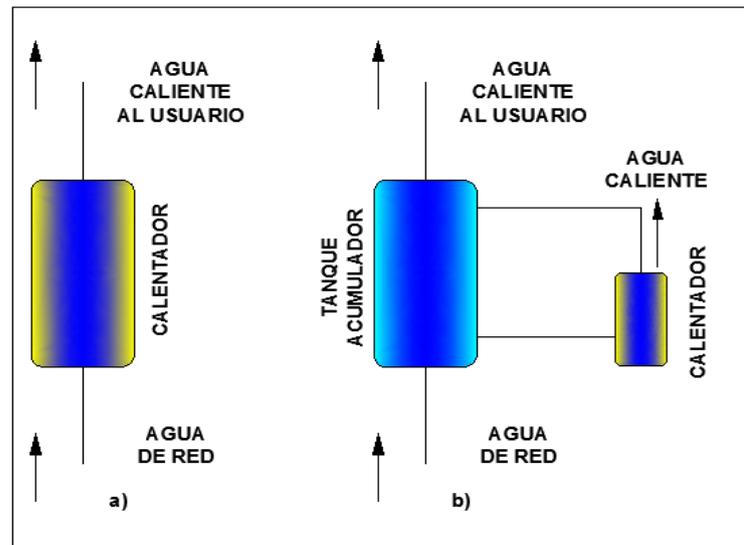


Figura 1-2. Suministro de agua caliente a) Sistema instantáneo, b) Sistema de acumulación

Fuente: (Agila Suárez, 2015 pág. 25)

Un calentador de agua sin tanque es generalmente más eficiente que un calentador de agua con tanque de almacenaje. Una posible preocupación con esta tecnología es la limitación en el número de dispositivos que pueden utilizar simultáneamente agua caliente. Sin embargo, hay un suministro interminable de agua caliente y se eliminan las pérdidas en espera. (EnergyStar, 2017)

La Tabla 1-2, resalta características entre los calentadores de agua instantáneos y de acumulación que se sirven como referencia para seleccionar el tipo de calentador adecuado según parámetros funcionales estos equipos.

Tabla 1-2. Características de los sistemas de agua caliente

Parámetros funcionales	Sistemas instantáneos	Sistemas de acumulación
Suministro	Continuo	Limitado
Demandas de espacio	Mínimo	Grande
Retraso encendido	Largo	Corto
Demanda de energía	Alta	Ligera
Temperatura	Variable	Constante
Flexibilidad de fuente de calor	Limitada	Flexible

Realizado por: (Agila Suárez, 2015)

Fuente: (Agila Suárez, 2015 pág. 25)

A continuación, se describen los calentadores de agua instantáneos, con especial detalle en los que utilizan energía proveniente del GLP, ya que son nuestro objeto de estudio de este capítulo.

2.4 Calentadores Instantáneos o de paso eléctricos

Los calentadores instantáneos eléctricos calientan el agua en el momento que el usuario requiera, no necesitan almacenar el agua, su acción es sobre el líquido que va de paso, esto se debe a que únicamente cuando se detecta un flujo de agua se activa un sensor que comienza a calentar el agua, están equipados con resistencias de inmersión, cuando no hay ningún flujo de agua se mantiene apagado y gracias a esto se ahorra energía. (H2O TEK, 2017)

Este tipo de calentadores, a diferencia de otros equipos, puede ser instalado de una manera muy simple, ya que solo necesita conexión a la red eléctrica para funcionar.

2.5 Calentadores Instantáneos o de paso a gas (calefones)

El calefón a gas o caldero mural, es un tipo de calentador instantáneo de funcionamiento continuo, diseñado para producir agua caliente para uso sanitario (ACS), el funcionamiento se basa en la circulación de agua fría en una serpentina calentada por una serie de quemadores controlados. (Villalta, y otros, 2016 pág. 44)

Este tipo de calentador es el más utilizado, ya que no es caro, ocupa poco espacio y es de gran afinidad, especialmente si la presión del agua es elevada y no sufre altibajos. (Ortega, 1998 pág. 41). La mayor ventaja de utilizar calefones que funcionan con GLP es que ha contribuido al mejoramiento de las condiciones de vida de la población, por disponibilidad de agua caliente de forma instantánea, sin interrupciones y a un costo energético mucho más bajo que el eléctrico.

2.5.1 Elementos constitutivos principales

Independientemente de la marca y modelo, en su mayoría los calefones tienen características y/o componentes semejantes, el resto de elementos adicionales, dependen de las aplicaciones y la tecnología que se aplica para darle un valor agregado con funciones más específicas, en la Figura 2-2 se indica la estructura básica de un calentador de agua sanitaria a gas. Los componentes para el encendido de estos equipos pueden variar también según el tipo, generalmente están conformados por una bujía que contienen electrodos y trabajan conjuntamente con una sonda de ionización que controla este sistema.

La sonda de ionización se basa en la propiedad que tiene la llama de ser conductora de la electricidad, cuando existe llama en el quemador este dispositivo es capaz de detectarlo creando un circuito cerrado desde el punto de vista eléctrico, siendo la llama parte de ese circuito eléctrico.

Si por cualquier circunstancia la llama no existiera, ésta se comporta como un interruptor abriendo el circuito. (Sanchis, 2016)

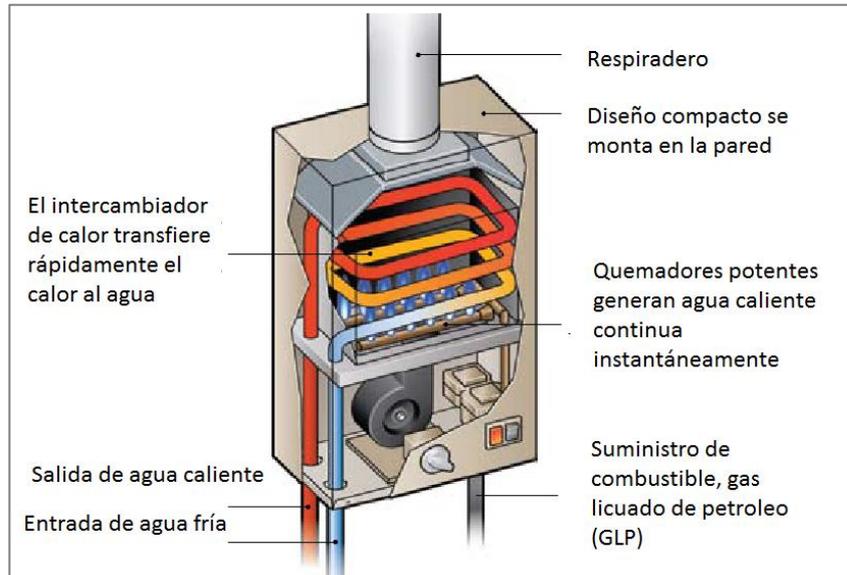


Figura 2-2. Representación de un calentador instantáneo a gas

Fuente: (Air Conditioning, Heating, and Refrigeration Institute, 2017)

También está constituido por un quemador, cuya llama tiene lugar en una cámara metálica. Ésta va insertada en una serie de espiras de tubo de cobre (soldadas a ella externamente) dentro de las cuales circula el agua que procede de la instalación de la casa, el calor que desprenden los quemadores, una vez encendidos, es absorbido por el agua que circula por el serpentín, calentándose ésta de una manera continua, según va saliendo para el consumo. (Peñafiel, y otros, 2012)

Además, se debe tener conocimiento sobre la ionización de la llama en las calderas y calefones que socarre mediante la sonda de ionización.

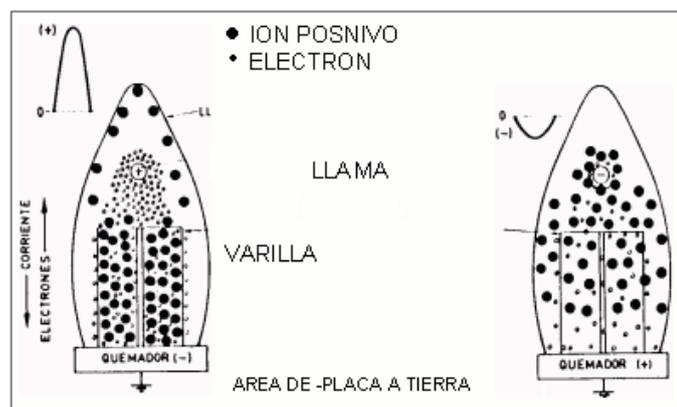


Figura 3-2. Ionización de la llama en las calderas

Fuente: (Sanchis, 2016)

Cuando una molécula pierde o gana electrones decimos que se encuentra ionizada. Durante la combustión del gas las moléculas del combustible se ionizan positivamente, es decir, pierden electrones adquiriendo la propiedad de ser conductores de la electricidad. (Sanchis, 2016)

Si situamos convenientemente un par de electrodos, inmersos en la llama, entre los que exista una tensión eléctrica, se puede observar el paso de la corriente mediante un galvanómetro debido a la ionización de la llama, esta ofrece una gran resistencia al paso de la corriente por lo que la intensidad que circula es del orden de microamperios. Por esta razón, para que pueda accionar al relé de mando que controla el paso del gas al quemador, debe ser amplificada. (Sanchis, 2016)

2.5.2 Principios de funcionamiento

El funcionamiento de la mayoría de calefones es activado automáticamente, cuando un grifo de agua caliente se abre, se produce una circulación de flujo de agua fría que recorre la tubería que alimenta al calefón, este flujo pasa por una válvula (Figura 4-2) actuando sobre las caras de la cámara, de tal modo que se genera una diferencia de presión sobre estas que origina un movimiento de diafragma.

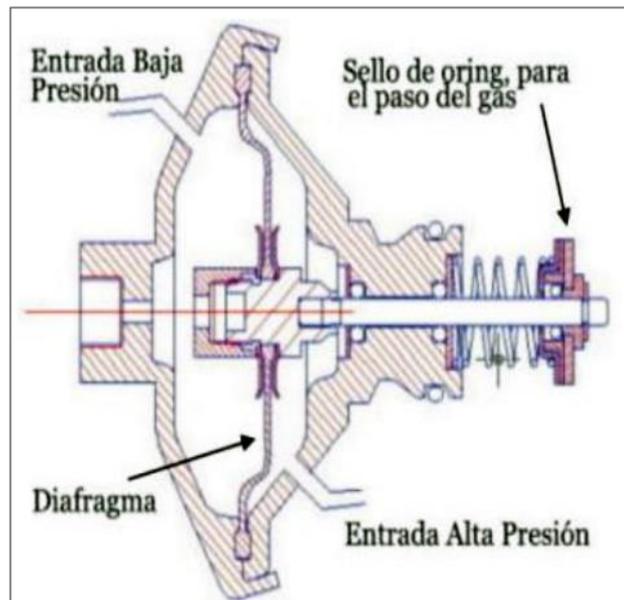


Figura 4-2. Corte de la válvula de agua del calefón

Fuente: (Criollo , y otros, 2011 pág. 22)

En simultáneo un micro interruptor es activado mediante un mecanismo por la diferencia de presión en el diafragma, el cual envía una señal electrónica al módulo de control o encendido, que acciona la electroválvula de gas dispuesta en el interior del calefón, permitiendo el paso de gas hacia los quemadores, al mismo tiempo envía la energía eléctrica para que aparezcan los chispazos en las bujías de encendido para que se encienda el quemador.

Una vez que la sonda de ionización, detecta que hay llama en los quemadores, manda una señal al módulo de control para que este cese la acción del chispero, pero no corta el flujo de gas; en el caso que no detecte llama, envía una señal a este módulo de control para que este siga generando chispa hasta que se detecte llama en el quemador. Al cerrar el grifo, un resorte provoca que el diafragma regrese a su posición original cerrando el paso de gas hacia los quemadores, por ende, el sistema se apaga.

2.5.3 Clasificación

Estos equipos disponen de distintos componentes para realizar su función, por un lado, se tomará en cuenta el circuito de combustión y en el sistema de evacuación de los gases y, por otro, los sistemas de encendido que incorporan.

2.5.3.1 Calefón a gas según el tipo de cámara de combustión

- *Calefones con cámara de combustión abierto (atmosféricos).* Toman el aire para realizar la combustión del interior del recinto donde están ubicadas, contribuyendo así a incrementar de manera sensible el caudal de aire exterior que penetra en los locales sin que por ello colabore en la ventilación de los mismos, a su vez se clasifican en atmosféricos y de tiro forzado.
- *Calefones con cámara de combustión estanca.* Toman el aire para la combustión directamente del exterior. Como en el caso de los abiertos, los hay también con tiro natural y forzado.

2.5.3.2 Calefón a gas según el tipo de evacuación de los gases.

- *Con sistema de evacuación de tiro forzado.* La circulación del aire se logra con un potente ventilador que está instalado en su interior, en la parte superior de la cámara de combustión, asegurando la correcta evacuación de gases, se los instala en espacios limitados.

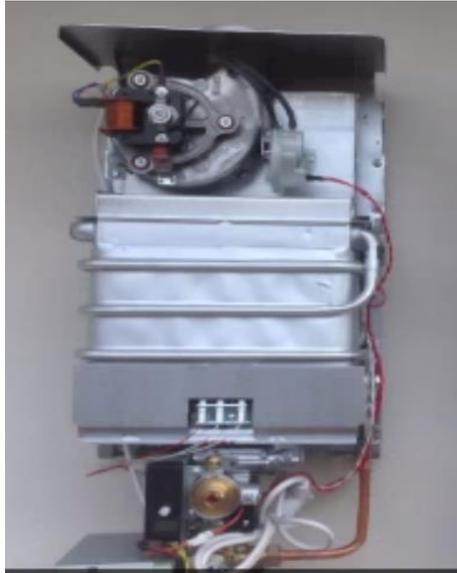


Figura 5-2. Calefón con evacuación de gases por tiro forzado

Fuente: (Gómez, 2013)

- *Con sistema de evacuación de tiro natural.* La circulación del aire se logra por tiro natural, producido por diferencia de densidades entre el aire frío y los gases de la combustión que se encuentran a mayor temperatura. En la parte superior, antes de la conexión al conducto de evacuación de humos, tienen un dispositivo cortatiros, cuyo objeto es estabilizar la combustión y, además, evitar el retroceso de los gases hacia el cuerpo de caldeo en las arrancadas. (San José García, 2006 pág. 19)



Figura 6-2. Calefón con evacuación de gases por Tiro Natural

Fuente: (Gómez, 2013)

2.5.3.3 Calefón a gas según el tipo de encendido.

- *Calefón con encendido por llama.* - El sistema de encendido por llama está en desuso, por obsoleto, y actualmente los calefones utilizan sistemas de encendido más eficientes para evitar el desperdicio de energía.
- *Calefón con chispero.* - Para generar la llama piloto, cuando está activado el paso de gas, hay que apretar un pulsador constantemente, hasta que encienda la llama piloto, de esta forma el calefón ya puede encender al quemador si hay flujo de agua. Este proceso se realiza mediante un sistema piezoeléctrico
- *Calefón ionizado con pilas.* - El calefón está siempre listo para funcionar, al abrir la llave de agua caliente, se genera la llama piloto, entonces el calefón se enciende automáticamente, al suministrar un voltaje por una pila instalada en el equipo, al cerrar la llave de agua caliente se apaga por completo.

Por definición, una batería consiste en una combinación de dos o más celdas similares, siendo una celda la fuente fundamental de energía eléctrica desarrollada mediante la conversión de energía química o solar. Todas las celdas o pilas pueden dividirse en tipos primario o secundario. Las del tipo secundario son recargables, mientras que las del primario no. (Boylestad, 2004 pág. 39)

En la Figura 7-2, se indican tipos de pilas de marca Energizer, descritas con la capacidad de corriente continua y sus respectivos voltajes. Esta fuente de corriente sirve para generar un voltaje suficiente para producir un tren de chispas en las bujías de manera que, si el gas está presente la energía liberada por la chispa lo enciende, se utiliza la pila “D”, que posee 1.5 V con una capacidad de (0-1) A de corriente continua.

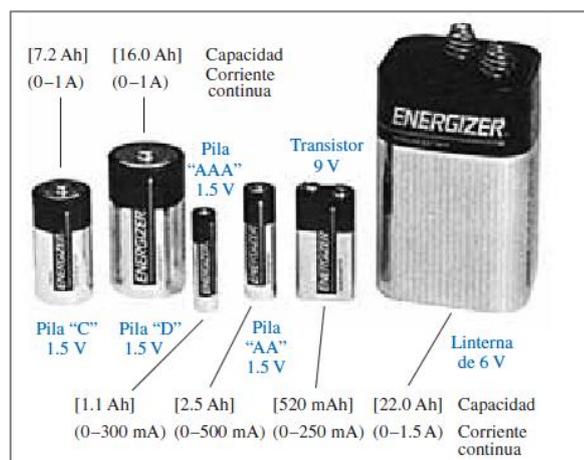


Figura 7-2. Pilas primarias Eveready® Energizer

Fuente: (Boylestad, 2004)

En la Figura 8-2 se presenta el esquema interno de un calefón a gas ionizado con pilas de industria chilena, marca SPLENDID, se utiliza este diagrama como referencia debido a las características semejantes con las marcas importadas como INSTAMATIC y YANG que son más usadas y conocidas en nuestro país.

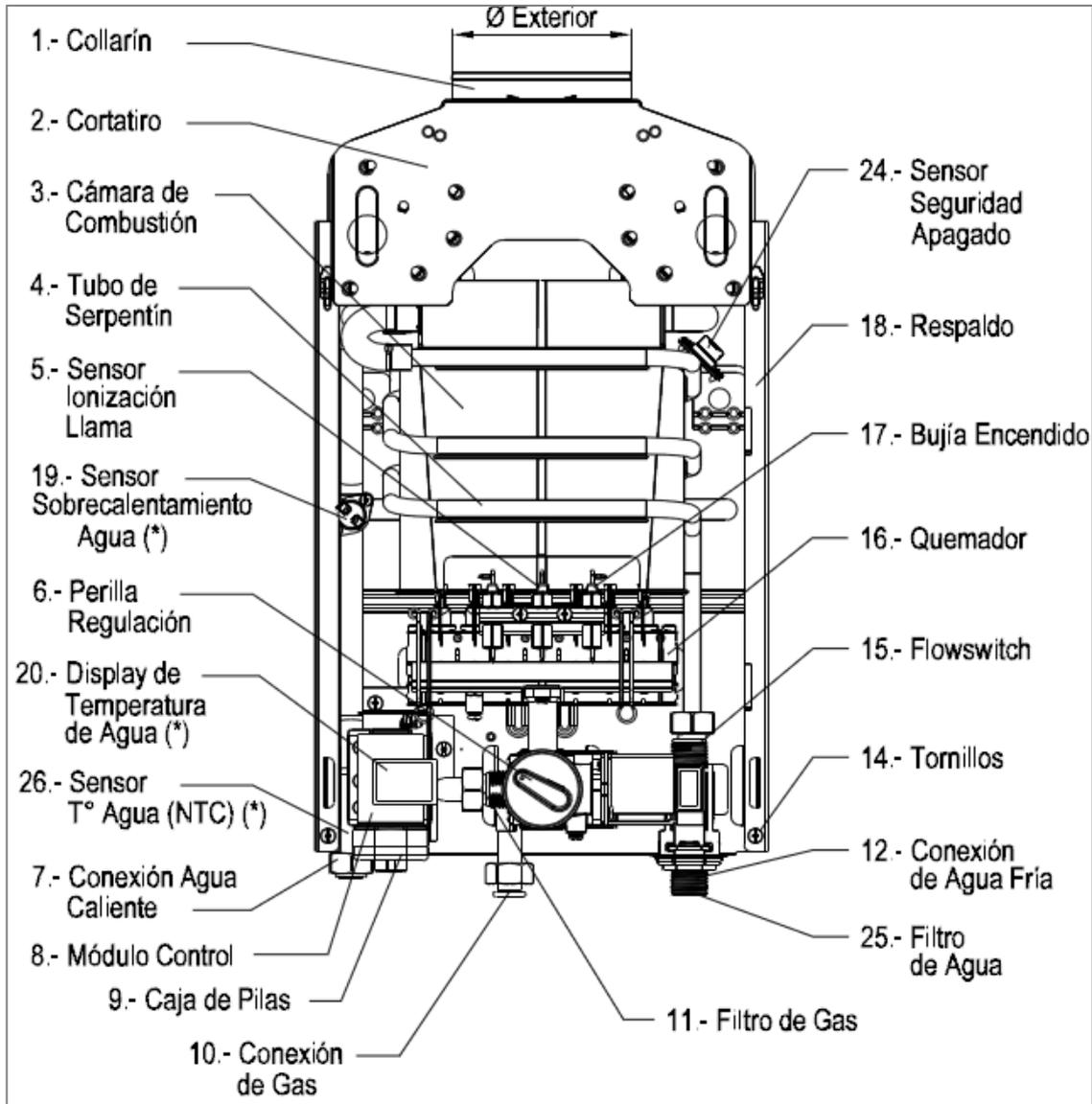


Figura 8-2. Diagrama interno frontal del calefón ionizado con pilas

Fuente: (Manual de instrucciones de uso calefón ionizado SPLENDID)

Según el técnico chileno Luis Berríos, experto en calefones a gas, menciona que, si el voltaje de una pila baja a menos 1.20V (80% del voltaje nominal de la pila), el calefón no va a trabajar bien, este funcionamiento puede ser intermitente en su encendido, por lo que recomienda sustituirla para proteger al equipo de posibles daños. Esto se verifica midiendo con un multímetro el voltaje en los terminales de las pilas.

- *Calefón Hydropower*. El Hydropower tiene una microturbina que genera la energía eléctrica para el encendido del calefón. Esta microturbina se activa por el flujo del agua al abrir la llave. (© Bosch Termotecnología)

2.6 Microgeneración hidráulica

El estudio de la generación hidráulica ha privilegiado la macrogeneración, siendo la mayor cantidad de libros e investigaciones dedicadas a grandes potencias. La microgeneración se define para potencias entre 10 y 500 [kW]. (Ferrada Sepúlveda, 2012 pág. 4)

Microgeneración es la producción de calor o energía a una escala muy pequeña, en comparación con las salidas de una típica central de energía fósil. Hay una serie de diferentes tecnologías de microgeneración y la mayoría de ellos son verdes, es decir, que utilizan la energía renovable y no los combustibles fósiles. (Microgeneration, 2017)

El agua móvil hace girar la rueda o la turbina, que gira un eje. El movimiento del eje se puede utilizar para procesos mecánicos, como el bombeo de agua, o puede ser utilizado para alimentar un alternador o generador para generar electricidad. Un sistema micro hidráulico puede ser conectado a un sistema de distribución eléctrico (conectado a la red), o puede estar solo (fuera de la red). (Energy Saver, 2017)

Según Edgar Catacora y Cesar Valero; Los rangos de trabajo para microgeneración hidráulica, están delimitados por el caudal (Q) y la altura (H), como se indican en la tabla a continuación.

Tabla 2-2. Rangos de trabajo de las microturbinas

Tipo de turbina	Q (L/s)	H (metros)	P (Kw)
Pelton	5 a 35	15 a 40	0,5 a 9,5
Michell-Banki	10 a 80	5 a 16	0,8 a 8
Hélice	20 a 160	1 a 4	0,170 a 1,5

Realizado por: (Catacora, y otros, 2012)

Fuente: (Catacora, y otros, 2012 pág. 6)

Las principales ventajas de la microgeneración hidráulica

- Es mucho más concentrada que la energía solar o eólica.
- La generación de energía es continua.
- No requiere de un combustible, sólo mantenciones temporales.
- Tiene una larga vida útil.
- Tiene un bajo impacto ambiental. (Ferrada Sepúlveda, 2012 pág. 6)

2.7 Turbina Hidráulica

La turbina hidráulica es una turbomáquina motora, y por tanto esencialmente es una bomba rotodinámica que trabaja a la inversa. (Mataix, 1986 pág. 460)

Es una turbomáquina hidráulica, en la cual el trabajo mecánico proviene de la variación de la cantidad de movimiento del agua al fluir a través de un sistema de álabes rotativos. En este sistema, denominado rodete, puede ocurrir una simple desviación del flujo de agua o, en otros casos una desviación y una aceleración de este flujo.

En el aprovechamiento de la energía hidráulica, la turbina es el órgano fundamental debido a que es el que transforma la energía del agua en energía mecánica, el rotor de la turbina es el elemento básico, ya que en él se produce la transferencia energética.

Los parámetros que definen el tipo, tamaño, y otras características particulares de una turbina hidráulica son: la altura de carga disponible, el caudal o flujo de agua a través del rodete de la turbina, la velocidad de rotación y potencia útil.

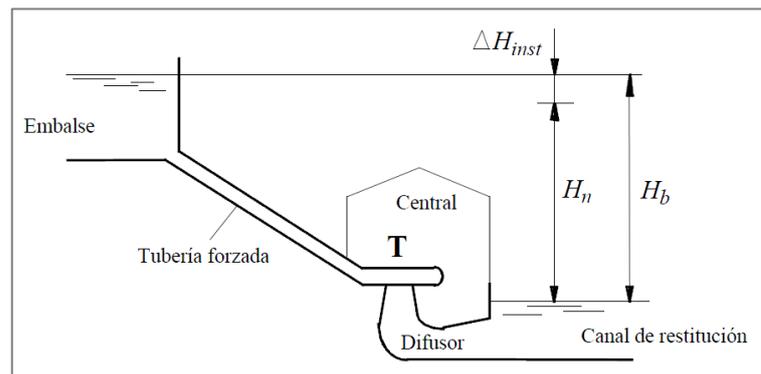


Figura 9-2. Esquema básico de una estación de turbinado

Fuente: (Zamora, y otros, 2016 pág. 44)

De la figura anterior se describe fácilmente el cálculo de la altura neta en la ecuación:

$$H_n = H_b - \Delta H_{inst} \quad (1)$$

La altura por pérdidas en la instalación se calcula con fundamentos de mecánica de fluidos en tuberías, que se detallarán en el siguiente capítulo.

2.7.1 Tipos de turbinas hidráulicas

Las turbinas hidráulicas según el grado de reacción pueden clasificarse en turbinas de acción y turbinas de reacción:

2.7.1.1 Turbinas de acción

En este tipo de turbinas la vena líquida se encuentra, entre álabe y álabe. Se consigue que toda la energía de presión se transforme en energía cinética. Se caracterizan por tener un grado de reacción nulo y una admisión parcial. La regulación de flujo es posible sin pérdida.

- Turbinas Pelton de 1 o más inyectores
- Turbinas Turgo
- Turbinas Michell-Banki

Turbinas Pelton

La turbina de acción tangencial, llamada también de impulso, está provista de una o más toberas cuya función es la de regular y orientar uno o varios chorros de agua hacia las cucharas en la periferia de un disco, transmitiendo de esta forma potencia al eje de la turbina. (OLADE, 1988 pág. 5)

La principal ventaja de esta turbina radica en su buena eficiencia cuando opera a carga parcial reducida y su eficiencia está comprendida entre 80% y 92%. En la figura descrita a continuación, se observa que el fluido suministrado por un inyector, impacta tangencialmente los álabes en forma de doble cuchara, provocando rotación en un eje horizontal.

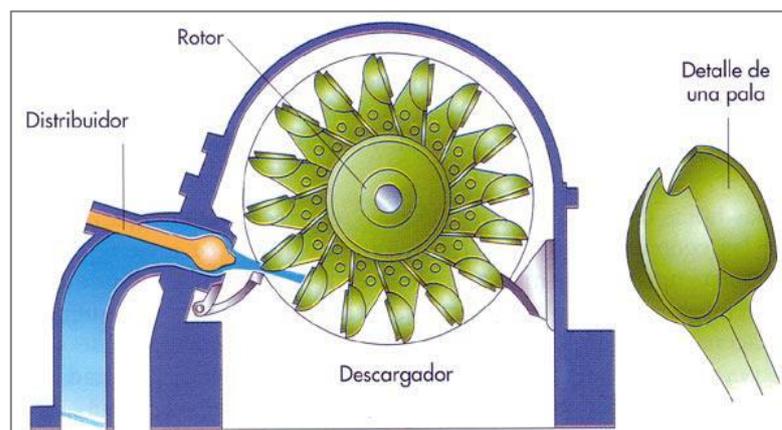


Figura 10-2. Turbina Pelton

Fuente: (http://members.tripod.com/mqhd_ita.mx/u3.htm)

Las Turbinas Pelton pueden instalarse con el eje en posición horizontal o vertical. Esto depende principalmente del número de toberas y del diámetro del rodete, así como de la complejidad del montaje y desmontaje del rodete. (OLADE, 1988 pág. 7)

Turbinas Michell-Banki

La turbina Michell-Banki es una turbina de acción, de flujo transversal, de admisión parcial y de doble efecto, que posee como elementos principales un inyector o tobera que regula y orienta el flujo de agua que ingresa a la turbina y un rodete que genera potencia al eje de la turbina al recibir doble impulso del flujo de agua que circula por la misma. (Manual OLADE pág. 9)

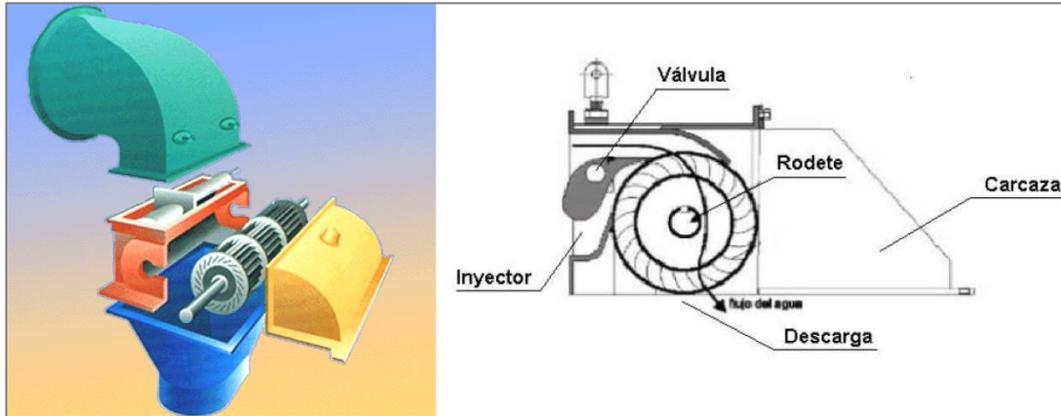


Figura 11-2. Turbina Michell-Banki

Fuente: (<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1343/1/15T00434.pdf>)

Este tipo de turbinas, son las que presentan mejores características para su utilización en pequeñas centrales de generación eléctrica, debido a la simplicidad de diseño y fabricación que poseen, además de su buena eficiencia cuando operan a cargas parciales.

2.7.1.2 Turbinas de reacción

Las turbinas de reacción, por otro lado, son las más adecuadas para una mayor tasa de flujo y situaciones de menor altura, el líquido llena totalmente los espacios entre los álabes, estos giran con la reacción del agua a su salida, así la parte de energía de presión es convertida a energía mecánica en el propio rodete. Su grado de reacción es no nulo y tienen una admisión total. No es posible regular el flujo sin pérdida, a continuación, se listan algunos tipos. (Mataix, 1986)

- Bomba rotodinámica operando como turbina
- Turbinas Francis, en sus variaciones: lenta, normal y rápida.
- Turbinas Kaplan y de hélice.
- Turbinas axiales, en sus variaciones: tubular, bulbo y generador periférico. (Mataix, 1986)

2.7.2 Criterios selección de turbinas hidráulicas

2.7.2.1 Mediante velocidades específicas

Primero el número específico de revoluciones de caudal o número de Brauer N_q

$$N_q = N \frac{Q^{1/2}}{H_n^{3/4}} \quad (2)$$

Segundo el número específico de revoluciones de potencia o número de Cramer N_s

$$N_s = N \frac{P^{1/2}}{H_n^{5/4}} \quad (3)$$

Donde:

P, es la potencia al freno de la turbina en C.V.

Q, es el caudal máximo que fluye por la turbina en m³/s

H_n, es el salto neto de diseño de la turbina en m

N, es la velocidad de giro de la turbina en RPM

En la Tabla 3-2, se puede observar el rango de aplicación de las turbinas de acción y reacción. Se debe acotar que estos rangos pueden diferir en base a experiencias particulares.

Tabla 3-2. Rango de aplicación de turbinas hidráulicas

TIPO DE TURBINA	N_q	N_s
Turbina Pelton de 1 tobera	Hasta 9	Hasta 30
Turbina Pelton de 2 toberas	4-13	14-42
Turbina Pelton de 3 toberas o más	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
Turbinas axiales	105-300	350-1000

Realizado por: (Manual OLADE)

Fuente: (Manual OLADE pág. 9)

2.7.2.2 Mediante gráficos de altura y caudal

En el diagrama Salto vs Caudal que se presenta en el esquema a continuación, permite seleccionar tipos de turbinas, de acción o reacción, según la potencia nominal que se desea generar.

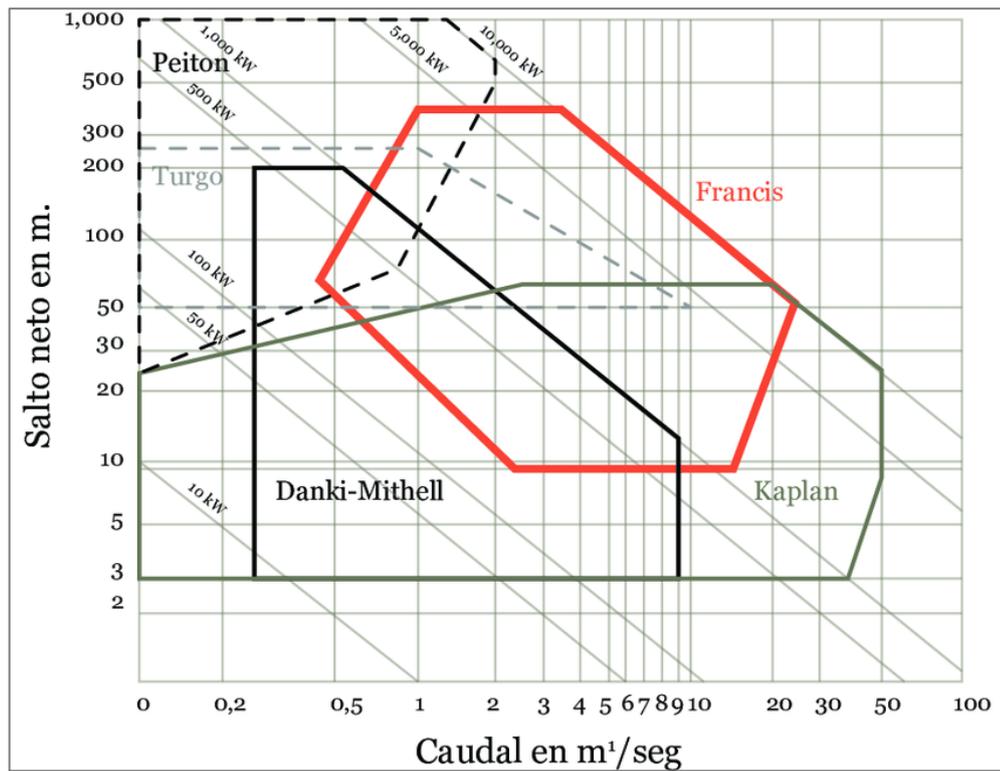


Figura 12-2. Relación del tipo de turbinas en función del salto y caudal

Fuente: (<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAkgaoad/informe-investigacion-michell-banki-modificado>)

CAPÍTULO III

3. DISEÑO METODOLÓGICO DE LA ESTRUCTURA DEL MICROHIDROGENERADOR

En el presente capítulo, se establecen una serie de requerimientos que se debe tomar en cuenta para realizar el diseño del dispositivo para el encendido de los calefones a gas ionizados con pilas que se propone, por lo tanto, en este capítulo se detallarán los mismos.

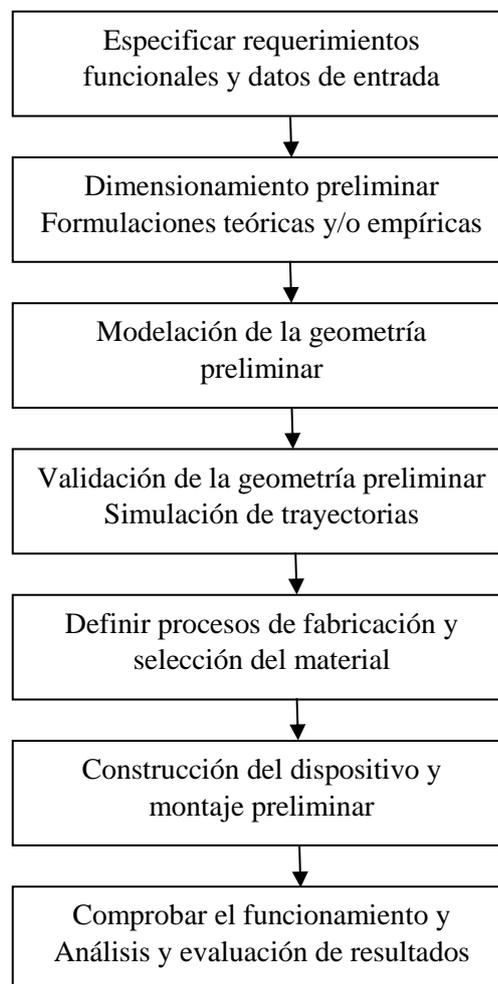


Figura 1-3. Esquema metodológico

Realizado por: Autor

3.1 Parámetros que figuran en la red instalada

El dispositivo que se plantea, va a ser instalado en la tubería de agua fría que alimenta al calefón, justo antes del ingreso al mismo, esta red está alimentada por el flujo que suministra un tanque elevado 3m como se muestra en la Figura 2-3.



Figura 2-3. Sistema de alimentación de agua al calefón

Realizado por: Autor

Este tipo de instalaciones son muy comunes en la mayoría de domicilios del país, depende del tamaño de la residencia y la demanda de agua sanitaria para adecuar ciertos complementos más específicos. En este estudio se tomará en cuenta un caso general, en que las condiciones de la instalación de la red de suministro sea la más parecida a la de nuestros hogares.

El equipo que se propone implementar, debe ser capaz de suministrar la energía necesaria para ayudar a la ignición electrónica del calefón en su encendido. Según la norma ecuatoriana NTE INEN 2 124:98 la altura mínima del local interior donde se va a realizar la instalación de un calentador a gas debe ser de 2,2m. La altura desde el piso hasta el piloto del calentador no debe ser menor de 1,3m. La altura del cielo raso al borde superior del calentador de agua a gas debe

ser de 300mm, la altura del borde inferior del calentador a la válvula de paso de corte de gas (GLP) debe ser de 200mm. A continuación, se indican las características técnicas del calefón que se utilizará para la implementación del prototipo.

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



Realizado por: Autor

3.2 Diseño y cálculos hidráulicos

Los cálculos hidráulicos de una turbina se realizan para determinar las dimensiones de sus elementos principales, en base al diseño que caracteriza a cada tipo de turbina.

Este proyecto estará enfocado a las turbinas de acción, las turbinas Pelton están diseñadas para explotar grandes saltos hidráulicos de bajo caudal; las turbinas Michell-Banki son de flujo transversal y de admisión parcial, que se utiliza generalmente en aquellos proyectos de pequeñas centrales hidroeléctricas donde se aprovecha un salto y caudal medio. (Manual OLADE pág. 6)

Sus ventajas fundamentalmente están en un sencillo diseño y fácil construcción Lo que la hace especialmente atractiva en el balance económico de un aprovechamiento en pequeña escala y también se alcanza un aceptable nivel de rendimiento con pequeñas turbinas.

Para a selección y dimensionamiento del tipo de turbina se requiere determinar el caudal y los datos del salto neto aprovechable de la red instalada.

3.2.1 Determinación de caudal

Para encontrar el valor de flujo de agua fría que está circulando en la entrada del calefón se procede a seleccionar un caudalímetro que facilite a medición de esta variable. A continuación, se detallan los parámetros que se deben considerar para la selección de este instrumento.

Este sensor de flujo de agua tiene solo tres cables y se puede conectar fácilmente con microcontroladores, placas Arduino y Raspberry Pi. Requiere + 5V Vcc para su funcionamiento y da salida de pulso, el sensor necesita estar firmemente ajustado entre la tubería de agua.

El esquema de la conexión se muestra a continuación, la línea de código que se va a utilizar en la placa Arduino para este medidor de flujo se adjunta en los anexos. Este código se carga en el programa de Arduino antes de efectuar las mediciones.

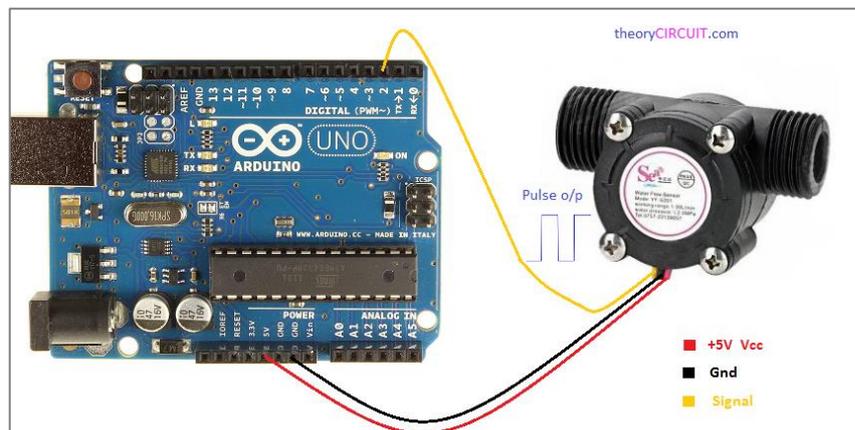


Figura 4-3. Conexión Sensor de flujo con Arduino

Fuente: (<http://www.theorycircuit.com/water-flow-sensor-yf-s201-arduino-interface/>)

Hay que tomar en cuenta que este no es un sensor de precisión, y la frecuencia del pulso varía un poco dependiendo de la velocidad de flujo, sin embargo, es ideal para tareas básicas de medición.

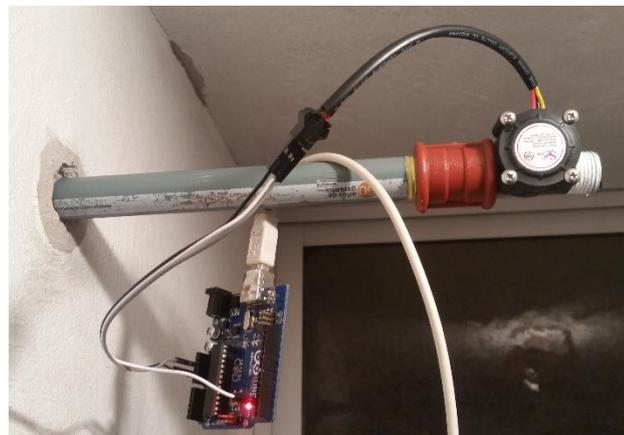


Figura 5-3. Sensor de flujo instalado en la ducha

Realizado por: Autor

Con la instalación adecuada del sensor de flujo en la ducha (Figura 5-3) y ejecutado el programa en el interfaz del Software Arduino, en la Figura 6-3 se presenta una lista de valores medidos en tiempo real, de izquierda a derecha valores de frecuencia y caudal en litros por minuto. Se mide

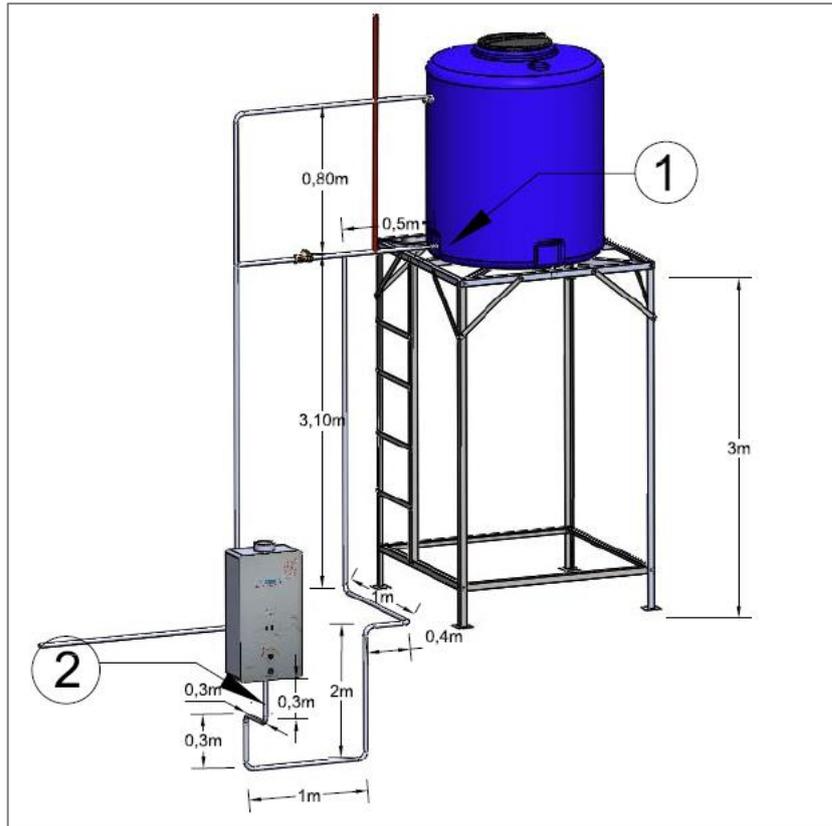


Figura 7-3. Dimensiones de la red de alimentación de agua al calefón

Realizado por: Autor

Al conocer el valor del caudal mínimo con el que se enciende el calefón se puede obtener el valor de la velocidad despejando de la ecuación (5); el diámetro interno de la tubería es dato, con un valor de una pulgada obtenido de la instalación hidráulica.

$$Q = v A \quad (4)$$

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 \quad (5)$$

Donde:

Q, caudal, en m^3/s

v, velocidad, en m/s

A, área sección transversal de la tubería, en m^2

d, diámetro interno de la tubería, m

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{(6,011 \times 10^{-5} m^3/s)}{\frac{\pi}{4} (0,0254m)^2} = 0,1186m/s$$

La altura por pérdidas en la instalación se calcula con fundamentos de mecánica de fluidos en el sistema de tuberías.

$$\Delta H_{inst} = h_f + h_{acc} \quad (6)$$

Para calcular las pérdidas de cabeza menores debido a la instalación de accesorios, el coeficiente de resistencia total Km, es un valor obtenido experimentalmente por los fabricantes de accesorios.

$$h_{acc} = km \frac{v^2}{2g} \quad (7)$$

Donde:

hacc, pérdida de energía debido a accesorios, en m

km, coeficiente de pérdidas menores del accesorio

v, velocidad media del flujo en la tubería, en m/s

Tabla 3-3. Coeficientes para pérdidas en accesorios

Accesorios	Cantidad	Km	Km total
Codo de 90 normal	6	0,9	5,4
Válvula bola abierta	1	10	10
T sentido recto	1	0,3	0,3
Unión	1	0,3	0,3
		Sumatoria	16

Realizado por: Autor

Fuente: (Saldarriaga, 2001 pág. 114)

Con el valor de la velocidad media en el punto 2, y con el coeficiente de pérdidas por accesorios se puede determinar:

$$h_{acc} = 16 \frac{(0,1186m/s)^2}{2(9.8m/s^2)} = 0,01149 m$$

La pérdida de cabeza debido a la fricción es la energía de presión que puede perderse cuando se trata de conductos cerrados, por razón del movimiento del fluido. Para ello se utiliza la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_f = f \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} \quad (8)$$

Donde:

hf, pérdida de energía debido a la fricción, en m

f, factor de fricción de Darcy

L, longitud del tramo de la tubería, en m

d, diámetro interno de la tubería, en m

- Factor de fricción de Darcy y Número de Reynolds

El factor de fricción para las pérdidas en tuberías, un parámetro adimensional que tiene relación con respecto al material de la tubería que depende del número de Reynolds y de la rugosidad relativa k/d .

- Si $Re \leq 2000$, el régimen es laminar, por lo que $f = \frac{64}{Re}$
- Si $2000 \leq Re \leq 4000$, rango crítico, no se puede predecir f
- Si $Re \geq 4000$, régimen turbulento $f = F\left(Re, \frac{k}{d}\right)$

Para lo cual f se define por la ecuación no explícita de Colebrook y White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{k}{3,7d} + \frac{3,51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (9)$$

$$Re = \frac{v d}{\nu} \quad (10)$$

Donde:

f , factor de fricción de Darcy

k , rugosidad absoluta, en m (para tuberías)

Re , número de Reynolds

ν , viscosidad cinemática, en m^2/s

Sustituyendo los valores conocidos de velocidad, diámetro interno de la tubería, y para una viscosidad del agua a 20 grados centígrados, de $1,02E-06 m^2/s$ se tiene:

$$Re = \frac{(0,1186) (0,0254m)}{1,02E - 06m^2/s} = 2953,37$$

Como el número Reynolds obtenido se encuentra en el rango en el que no se puede predecir el factor de fricción f , se van a despreciar las pérdidas por longitud de tubería.

Calculando el coeficiente de pérdidas totales por longitud de tubería y por los accesorios se tiene:

$$\Delta H_{inst} = h_f + h_{acc} = (0m) + (0,01149m) = 0,01149m$$

De la ecuación (1) se tiene que:

$$H_n = H_b - \Delta H_{inst}$$

$$H_n = H_b - \Delta H_{inst} = (4,80m) - (0,01149m) = 4,7885m$$

Para obtener presiones se hace el balance entre los puntos 1 y 2 descritos en la Figura 7-3, en donde 1 se encuentra en la base de descarga de agua del tanque elevado y 2 se localiza en el tramo final de la tubería de 1 pulgada, antes de ingresar al calefón.

$$\frac{P_2}{\delta g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 = \frac{P_1}{\delta g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 + \Delta H_{inst} \quad (11)$$

$$P_1 = \delta g h_{tanque} \quad (12)$$

Donde:

P_1 , Presión, en Pascales

P_2 Presión, en Pascales

h_{tanque} , altura del tanque, en m.

δ , densidad el agua

v_1 , velocidad a la salida del tanque, en m

v_2 , velocidad en la tubería de 1 pulgada

z_1 y z_2 alturas, en m

Sustituyendo valores para un caudal mínimo de 3,607LPM de y un caudal máximo de 6,092LPM, asumiendo la velocidad a la salida del tanque que tiende a cero y el nivel de referencia bajo el punto dos de la Figura 7-3, de la ecuación (12) la presión en la base del tanque a condiciones normales es 7840Pa.

La presión mínima antes de entrar al calefón es:

$$\frac{P_2}{\left(1000 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2}\right)} + \frac{\left(0,1186 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.8 \frac{m}{s^2}\right)} = \frac{7840 Pa}{\left(1000 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2}\right)} + 4,80m + 0,01149m$$

$$P_2 = 54986 Pa$$

Para la presión máxima antes de entrar al calefón se recalcula la velocidad y las pérdidas, para este caso s el número de Reynolds es mayor a 4000 por lo que se requiere el cálculo del factor de fricción con la ecuación (9). Según Juan Saldarriaga, la rugosidad absoluta para materiales utilizados en la fabricación de tuberías (PVC) es de 0.0015 mm los valores de este recálculo se indican en la siguiente tabla.

Tabla 4-3. Valores de recalcu de pérdidas con presión máxima

Variable	Valor	Unidades
Hb	4,8	(m)
Q	0,000101533	(m ³ /s)
L _{tub}	8,3	(m)
D _{tub}	0,0254	(m)
K _{tub}	0,0000015	(m)
Viscosidad cinemática	1,02E-06	(m ² /s)
Gravedad	9,8	(m/s ²)
Área	0,000506709	(m ²)
Velocidad	0,200378596	(m/s)
Reynolds	4,99E+03	(-)
Rugosidad relativa	0,00005906	(-)
Factor de Fricción	0,041344	(-)
h _{long}	0,027676009	(m)
h _{acc}	0,032776802	(m)
H _{pérdidas}	0,06045281	(m)
H _n	4,73954719	(m)

Realizado por: Autor

$$\frac{P_2}{\left(1000 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2}\right)} + \frac{\left(0,2003 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.8 \frac{m}{s^2}\right)} = \frac{7840 Pa}{\left(1000 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2}\right)} + 4,80m + 0,06045m$$

$$P_2 = 55452 Pa$$

Por la reducción en la tubería de 1 pulgada a ½ pulgada el en tramo final en el punto 2, se requiere calcular la nueva velocidad que va ingresar al dispositivo, con la ecuación de continuidad se tiene:

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 \quad (13)$$

$$v_{1in} A_{1in} = v_{1/2in} A_{1/2in}$$

$$v_{1/2in} = \frac{v_{1in} A_{1in}}{A_{1/2in}} = \frac{v_{1in} d_{1in}^2}{d_{1/2in}^2}$$

$$v_{1/2in} = \frac{(0,2003 m/s)(0,0254 m)^2}{(0,0127 m)^2}$$

$$v_{1/2in} = 0,8015 m/s$$

3.2.3 Selección y velocidad de giro de la turbina

Para seleccionar el tipo de turbina adecuada para esta aplicación, se va a seguir los criterios de selección mencionados en el capítulo anterior, mediante velocidades específicas, por medio de la ecuación 3 ya descrita anteriormente, en la que los valores de caudal y altura neta ya son conocidos.

$$N_q = N \frac{Q^{1/2}}{H_n^{3/4}}$$

Para esta selección también se requiere definir el número de revoluciones N, con que va a girar la turbina, el cual está relacionado con el diámetro del rodete, en este caso para turbinas de tipo Pelton, el número de revoluciones se determina mediante la fórmula:

$$N = \frac{84,84 K_u' H^{1/2}}{D_p} \quad (14)$$

En donde:

N, es el número óptimo de revoluciones de la turbina, en RPM

H, es el salto neto aprovechable de la turbina, en m

D_p, es el diámetro de paso del rodete, en m

K_{u'}, es un coeficiente de velocidad de rotación

Este último coeficiente que se puede estimar utilizando la fórmula:

$$K_u' = 0,49 - 0.0072 N_q / i^{1/2} \quad (15)$$

En donde i representa el número de toberas de la turbina, en este caso va a tomar el valor de 1.

Así mismo con el fin de disminuir las variables desconocidas, se tomará un valor arbitrario del diámetro del rodete de 29mm como primer paso; con las ecuaciones (3), (14) y (15), se forma un sistema de tres ecuaciones con tres incógnitas, N_q, N, y K_{u'}, debido a que para la generación se va a utilizar un motor DC, no se puede estimar con certeza la velocidad de sincronismo de un generador propiamente dicho. Es por eso que se opta por encontrar estos valores necesarios para la selección de la turbina, en la Tabla 5-3. Se adjuntan los datos conocidos y resolviendo el sistema, se obtienen los siguientes valores:

Tabla 5-3. Datos para la selección del tipo de turbina

Datos de entrada		Valor	Unidad
Caudal mínimo	Q	6,0116E-05	(m ³ /s)
Altura neta	H _n	4,789	(m)
Diámetro exterior del rodete	D _p	0,029	(m)
Numero de inyectores	I	1	(-)
Numero especifico de revoluciones	N _q	5,506	(-)
Velocidad de giro de la turbina	N	2299	(rpm)
coeficiente de velocidad de rotación	K _{u'}	0,3604	(-)

Realizado por: Autor

Como se puede observar, el valor de la velocidad específica N_q es de 5,506 y según la tabla, Rango de aplicación de turbinas hidráulicas, citada al final del capítulo anterior, este valor

calculado está dentro del rango en el que para turbinas Pelton, de un inyector, el valor de N_q puede ser hasta 9. Hay que destacar que se utilizó las ecuaciones para las turbinas tipo Pelton, y con esto se reafirma que la selección es adecuada.

3.2.4 Dimensionamiento preliminar de la geometría del rodete

Como se ha mencionado anteriormente, el rodete de las turbinas Pelton posee los álabes en forma de cucharas, por lo que se desea simplificar el diseño, debido a la complejidad que representa este tipo de elementos a la hora de utilizar procesos de manufactura para su producción, y tomando en cuenta que, para la generación hidráulica a pequeña escala, el rodete no debe ser robusto, pesado ni de difícil construcción.

Es por eso que se ha considerado realizar una adaptación en la turbina de este microgenerador, combinando el rodete de la turbina Pelton y de la turbina Michell-Banki, esta segunda turbina posee simplicidad del diseño de sus álabes, ya que el diámetro de la turbina Michell no depende del caudal, consiguiendo un rodete parecido a la rueda hidráulica (Figura 8.3) muy utilizada en la antigüedad para transformar la energía del agua, cinética o potencial, en energía mecánica de rotación.

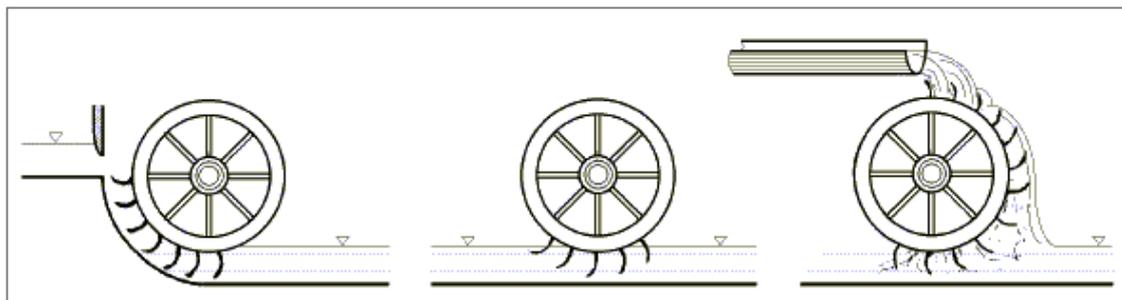


Figura 8-3. Tipos de ruedas hidráulicas

Fuente: (<http://www.bdigital.unal.edu.co/29692/1/28318-101120-1-PB.pdf>)

Para las turbinas Michell Banki, la velocidad del agua a la salida del inyector es igual a la velocidad de ingreso del agua al rodete, al igual que en las turbinas de tipo Pelton. Este chorro de agua a su vez se orienta hacia el rodete con un ángulo promedio denominado α_1 , el cual posee valores que varían entre los 14 y los 17 grados. (Manual OLADE pág. 17).

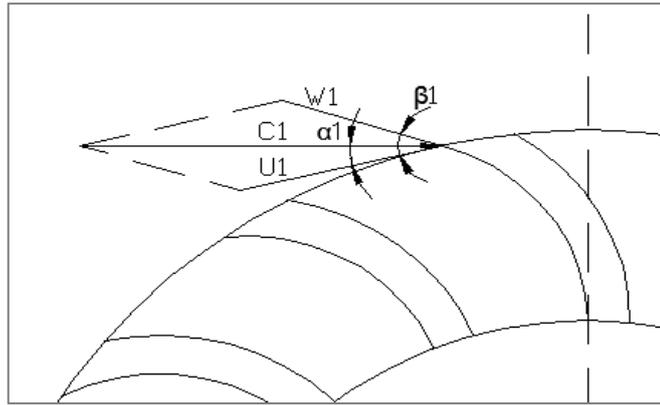


Figura 9-3. Perfil de velocidades rodete Michell Banki

Fuente: (Manual OLADE)

El ángulo β_1 influye en la construcción del rotor, lo que conlleva a utilizar valores que faciliten dicha construcción (Manual OLADE pág. 18). Este valor está en función del ángulo α_1 como se muestra en la ecuación, y a su vez describe la Tabla 3-3.

$$\beta_1 = \arcsen \frac{\text{sen } \alpha_1}{\sqrt{1 - \frac{3}{4} \cos^2 \alpha_1}} \quad (16)$$

Tabla 6-3. Variación ángulo β_1 para construcción del rotor Michell Banki

α_1	β_1
16	29,83
16,01	29,99
16,102	30
16,2	30,15
16,4	30,48
16,8	31,12
17	31,44

Realizado por: Autor

El álabe de una turbina Banki tiene la forma de sector circular. La geometría del rodete se determina en base a los ángulos obtenidos de los diagramas determinados en la tabla anterior, así tenemos que la relación del diámetro interno D_i , con respecto al diámetro externo D_e (Manual OLADE pág. 18)., se expresa por:

$$\frac{D_i}{D_e} = \sqrt{\frac{(2 K_u \cos^2 \alpha_1 - 1) + \sqrt{1 - 4 \cos^2 \alpha_1 (1 - K_u) K_u}}{2 K_u^2 \cos^2 \alpha_1}} \quad (17)$$

Con el diámetro exterior conocido (29 mm), que se ha determinado para la selección del tipo de turbina y con el coeficiente de velocidad tangencial Ku aproximado de 0.5, recomendado para turbinas de acción (Manual OLADE pág. 18), se puede obtener el diámetro interior del rodete.

$$\frac{D_i}{0.029m} = \sqrt{\frac{(2 * 0.5 \cos^2(16.102^\circ) - 1) + \sqrt{1 - 4 \cos^2(16.102^\circ) (1 - 0.5) 0.5}}{2 (0.5)^2 \cos^2(16.102^\circ)}}$$

$$\frac{D_i}{0.029m} = 0.6590$$

$$D_i = 0.01911m$$

El radio de curvatura de los álabes del rodete se expresa también en función del diámetro del rodete y del ángulo del álabe β_1 , así tenemos:

$$r = \frac{D_e}{4 \cos^2 \beta_1} \left| 1 - \left| \frac{D_i}{D_e} \right|^2 \right| \quad (18)$$

Sustituyendo los valores en la ecuación se tiene:

$$r = \frac{0.029}{4 \cos^2 30} \left| 1 - \left| \frac{0.019}{0.029} \right|^2 \right|$$

$$r = 0,004778m$$

El ángulo de la curvatura de los álabes del rodete se obtiene con la fórmula:

$$\varphi = 2 \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left| \frac{\cos^2 \beta_1}{\left| \frac{D_i}{D_e} \right| + \operatorname{sen}^2 \beta_1} \right| \quad (19)$$

$$\varphi = 2 \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left| \frac{\cos^2(30)}{\left| \frac{0.019}{0.029} \right| + \operatorname{sen}^2(30)} \right|$$

$$\varphi = 73.717^\circ$$

Diámetro máximo del eje que atraviesa el interior del rodete en función del diámetro exterior:

$$dmáx = 0.325 D_e \quad (20)$$

$$dmáx = 0.325 \times 29mm$$

$$dmáx = 9.425mm$$

Con las dimensiones calculadas se puede graficar el perfil de un álabe para el rodete, como se describe en la Figura 10-3, elaborada por el autor, siguiendo recomendaciones del Manual OLADE para turbinas tipo Michell Banki.

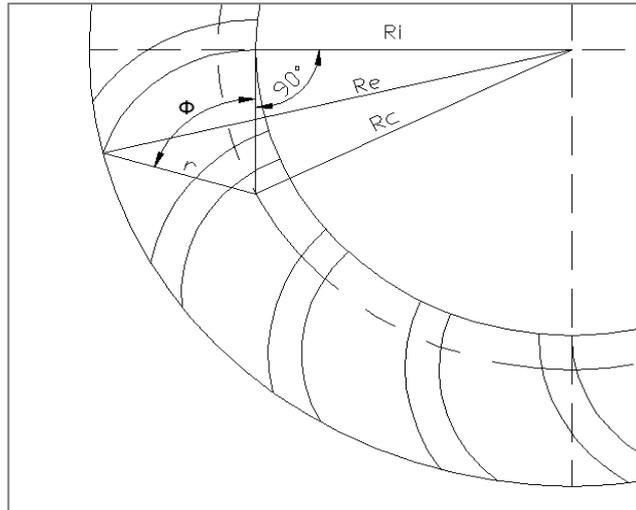


Figura 10-3. Perfil del álabe en el rodete Michell Banki

Fuente: (Manual OLADE)

Para el número de álabes de una turbina Pelton:

$$Z = \frac{\pi D_p}{(1,4 \sim 1,6) d_c} \quad (21)$$

Donde:

D_p , diámetro Pelton, en metros

d_c , diámetro de chorro, en metros

Para incrementar la cantidad de energía de impulso que se convertirá en rotación, se realizará un orificio al ingreso de la carcasa de la microturbina que simula a un inyector de las turbinas tipo Pelton, incrementando también la velocidad del agua antes de que el fluido entre en contacto con los álabes del rodete, este diámetro de chorro será de 4mm, y con un valor intermedio considerado 1.5 del rango, 1.4 a 1.6 recomendado, se tiene que el número de álabes es:

$$Z = \frac{\pi (0.029m)}{1,5 (0.004m)}$$

$$Z = 15,18$$

Se puede redondear a 16 el número de álabes que se van a implementar en el rodete de la microturbina a continuación se describen ciertas consideraciones para el modelado de este componente.

3.3 Modelado preliminar de la geometría del dispositivo

Es común el uso de sistemas de diseño mecánico 3D en la industria, establecidos con potentes capacidades de modelado y tecnología adaptativa. El software de ingeniería con entornos de diseño asistido por ordenador (CAD), reemplaza los dibujos a mano con procesos automatizados,

ayudando a diseñadores e ingenieros a visualizar, analizar y comunicar la finalidad del diseño antes de construir un prototipo físico. (Romero Carrillo, 2010)

Este tipo de software incluye operaciones para modelado 3D, que permiten al usuario obtener un sin número de ventajas que se describen a continuación:

- Aumenta la eficiencia y productividad, ahorrando costos de recursos.
- Los márgenes de error son mínimos, con dibujos más exactos y precisos.
- Optimizar el diseño, ya sea en su estructura, materiales, forma, tamaño, sin la necesidad de crear el prototipo.
- Se puede detectar errores en etapas tempranas de los procesos.
- Validación antes de llevarlo a fabricación.
- Ahorra tiempo en el proceso de validación gracias a contar con herramientas integradas.
- Se puede representar una imagen real sin la necesidad de que deba ser una fotografía del prototipo.

Debido a que el elemento conductor estará trabajando dentro del agua, el generador que es el elemento conducido, estará fuera de contacto del fluido para no dañar este mecanismo y que los componentes que formarán parte del montaje del hidrogenerador no son robustos, teniendo dimensiones que dificultan seleccionar rodamientos para los ejes con diámetros demasiado pequeños, se ha tomado en cuenta el principio de funcionamiento de una bomba centrífuga de acople magnético.

Un magneto conductor (externo) montado en el eje del motor y un magneto conducido (interno) dentro de la bomba. El magneto interno, totalmente encapsulado, está conectado al impulsor de la bomba. Cuando el magneto externo rota, el magneto interno es acoplado en forma magnética y hace girar el impulsor a la misma velocidad que el motor. Este simple diseño permite manejar en forma segura productos químicos corrosivos o contaminantes ya que no existen costosos sellos mecánicos dinámicos o empaques que puedan perder o que deban cambiarse. Los magnetos están separados por una cámara de contención o carcasa trasera que está herméticamente sellada por una junta o un O'ring estático. (IWAKI, 2017)

En la Figura 11-3, se muestra esquemáticamente una bomba de acople magnético en la que utilizan dos juegos de imanes permanentes. El magneto exterior está montado al eje de un motor eléctrico (que no se indica en el esquema), el cual suministra energía para impulsar al rodete de la bomba y aumentar la presión del fluido a la salida. En el caso en que la potencia a transmitir sea mayor que la capacidad de los imanes, estos se desacoplan (no se produce resbalamiento), el imán conductor unido al motor continúa girando, pero el imán conducido queda en reposo.

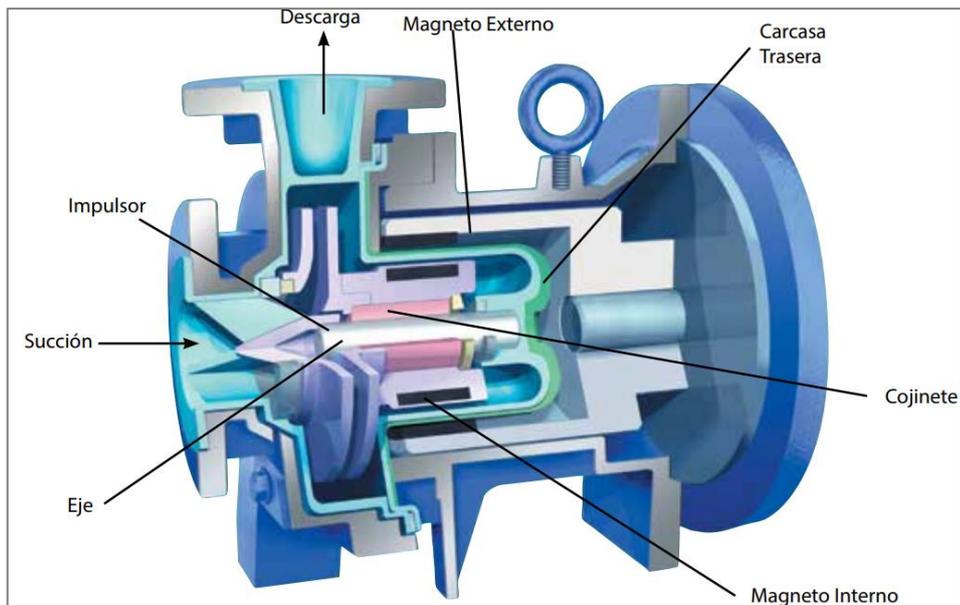


Figura 11-3. Partes de una bomba centrífuga de acople magnético

Fuente: (IWAKI, 2017)

Como conclusión, el acople magnético puede considerarse como el tipo más eficaz de acople para transmitir una cierta potencia a una velocidad de rotación y despreocuparse de sus características constructivas o de diseño, manteniendo la hermeticidad que se requiere para que no existan fugas de agua. Para el caso del proyecto propuesto se plantea utilizar este principio de forma inversa, es decir el imán conductor estará dentro del fluido, y el conducido fuera de contacto con el líquido de trabajo, transmitiendo rotación al eje de un generador (motor). Esto hace que la carcasa de la microturbina solo tenga orificios para el flujo de agua, no siendo necesario contar con un orificio atravesado por el eje del generador a través de esta carcasa, al que luego hay que sellar para controlar las fugas del líquido.

3.3.1 Modelado de la microturbina

Las figuras que se detallan a continuación, están modeladas en el software SolidWorks, para el caso de la microturbina representada en la Figura 12-3, con las dimensiones principales de los álabes del rodete, se deriva la configuración que va a tener este elemento, con el que se pretende hacer rotar a un eje acoplado a un generador. Se representa en dos vistas diferentes para su mejor interpretación, en la izquierda se observa los álabes y un cilindro hueco con un orificio pasante que servirá para montar sobre el eje; en la figura de la derecha internamente hay un espacio que servirá de alojamiento para los elementos que intervendrán en el acople magnético.

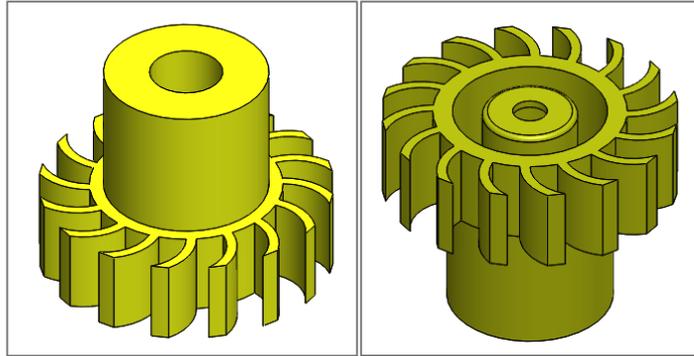


Figura 12-3. Modelado microturbina del hidrogenerador

Realizado por: Autor

Los acoples magnéticos están compuestos por dos partes, ambas con material magnéticamente opuesto. Permiten transmitir torque sin contacto entre conductor y conducido a través de cualquier otro material no ferroso. Este tipo de acople también ayuda a compensar desalineaciones, debido que no transmite ningún tipo de vibración al sistema. El mantenimiento que requiere se podría decir que es bajo o nulo, pues no existe un desgaste considerable entre los elementos rotantes.

3.3.2 *Modelado del eje y bujes*

La microturbina se va a montar sobre un eje fijo, el mismo que estará sujeto sobre la carcasa. El eje tiene que ser fabricado de un acero no ferroso, este material no afecta el paso de las líneas de campo magnético, por lo que no interfiere en el funcionamiento rotacional del elemento móvil (microturbina), ni hace interferencia con el acople magnético. En la figura que se indica a continuación se representa al eje, las dimensiones se presentan en los anexos.



Figura 13-3. Modelado de fijo

Realizado por: Autor

Así mismo, se utilizarán dos bujes no magnéticos, para evitar fricción y/o desgaste entre la microturbina y el eje fijo. El diámetro interno y externo de estos acoples hacen un juego con respecto al eje y a la microturbina, por lo que la función de estos elementos es emular al funcionamiento de los rodamientos. Por consiguiente, los diámetros interiores de estos acoples son más grandes que el diámetro del eje, y los diámetros exteriores son más pequeños que el diámetro interno de la microturbina.

Estos elementos se muestran en la Figura 14-3, en la que se requieren tres piezas (no magnéticas), dos de un acero no ferroso y uno de un polímero, este último se instala en la mitad de los bujes de metal, con el fin de minimizar el desgaste por la fricción entre los bujes del mismo material.

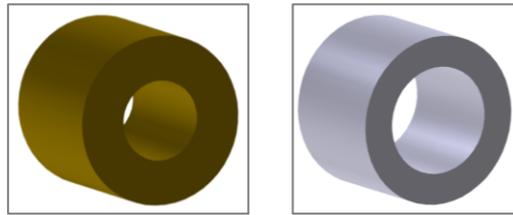


Figura 14-3. Modelado de bujes del eje-

Realizado por: Autor

3.3.3 *Modelado del porta-imán para acople magnético*

El componente que se indica en la Figura 15-3, cumple una función específica muy importante, sobre este se montan los imanes en las ranuras rectangulares que servirán para el acople magnético, en la parte superior posee una cavidad en la que se va alojar parte de la carcasa, que a su vez va a contener a la microturbina con los imanes dispuestos en su interior.

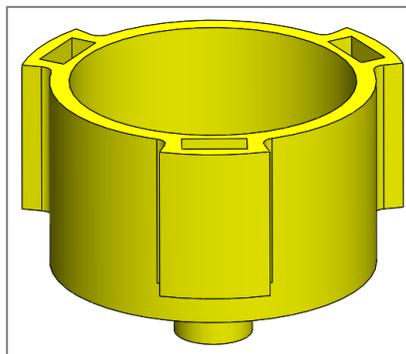


Figura 15-3. Modelado porta imán

Realizado por: Autor

En la parte inferior de este modelo, figura un cilindro concéntrico pequeño que tiene una perforación pasante para poder acoplar al eje del generador. Cabe mencionar que este componente solo está en contacto directo con el eje de este generador y de forma indirecta con la microturbina por medio del acople magnético. Para su adecuado funcionamiento no debe haber ningún tipo de contacto con la carcasa, ya que puede producir fricción y por ende desgaste, de este o de la carcasa. La principal ventaja de este tipo de acople por medio de este elemento es que se minimizan los efectos adversos por desalineaciones entre los ejes.

3.3.4 Modelado de la carcasa

El diseño de la carcasa se debe contemplar como la estructura que contiene al fluido y también se tiene que considerar la trayectoria del agua a través rodete que es la encargada de generar la rotación de los elementos internos de modo que no se afecte el paso del líquido a través de la tubería de suministro de agua.

La carcasa que contiene a la microturbina estará constituida por dos partes a las que se llamará carcasa superior de la turbina y carcasa inferior de la turbina. Así mismo la carcasa estará constituida por otro cuerpo que servirá de protección al generador.

3.3.4.1 Carcasa superior de la microturbina

En la Figura 16-3, se presenta la modelación de la geometría de la carcasa superior vista desde dos perspectivas diferentes al igual que en el caso de la microturbina para una mejor visualización. En la figura de la izquierda se observa un cilindro recto con orientación vertical en la parte central del cuerpo que es hueco, por dentro de este cilindro se fija el eje de la microturbina. En la figura de la derecha se visualiza el interior de la misma parte superior de esta carcasa, con las cavidades que servirán para alojar a la microturbina, con sus elementos constitutivos para el montaje apropiado.

También se puede visualizar que existen 4 sectores circulares a los contornos, extruidos a una misma altura, con 4 perforaciones que servirán posteriormente para la sujeción con los demás componentes (carcaza inferior microturbina y con la carcasa del generador) por medio de pernos y tuercas.

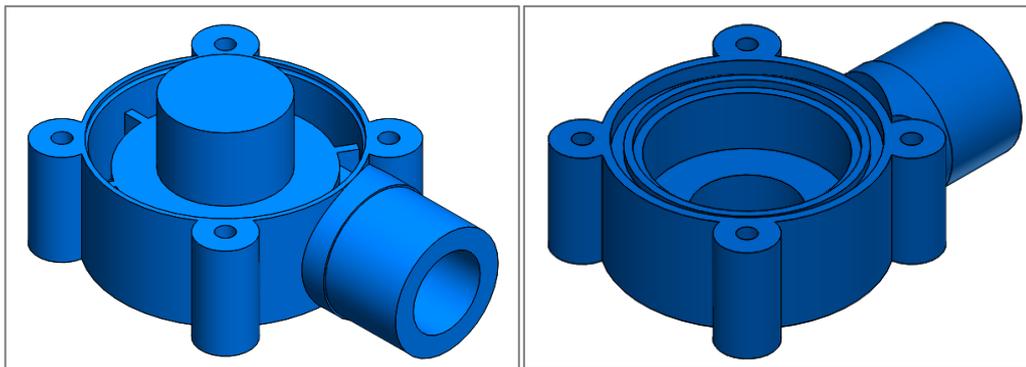


Figura 16-3. Modelado carcasa superior de la turbina vista de ángulos diferentes

Realizado por: Autor

Es importante destacar que, por la geometría de los álabes del rodete, el fluido debe circular en un solo sentido a través del dispositivo, en ambas figuras se distingue un cilindro horizontal con una perforación pasante similar a una tubería de PVC 21,34x3.73mm (1/2) cédula 80 de Plastigama, la cual señala que esta parte va acoplada a la tubería de la red que suministra agua al

calefón. Para conseguir que el sistema funcione con el principio de la turbina Pelton, que posee inyectores orientados hacia el rodete, se hace un orificio circular a través de la pared de la carcasa por donde ingresa el fluido para incrementar la velocidad al disminuir la sección transversal, el diámetro de este agujero interno es de 4mm, definido en la sección anterior referente al dimensionamiento preliminar de la geometría del rodete.

3.3.4.2 Carcasa inferior de la microturbina

La otra parte de la carcasa de la microturbina se indica en la Figura 17-3, y está diseñada de modo que se acople a la carcasa superior de la turbina, creando una pequeña cámara que alberga en su interior a todos los elementos encargados de generar rotación en la microturbina, para que esta a su vez transmita la energía cinética del fluido por medio del acople magnético al eje del generador dispuesto en el exterior de estas dos carcasas y que no está en contacto del fluido.

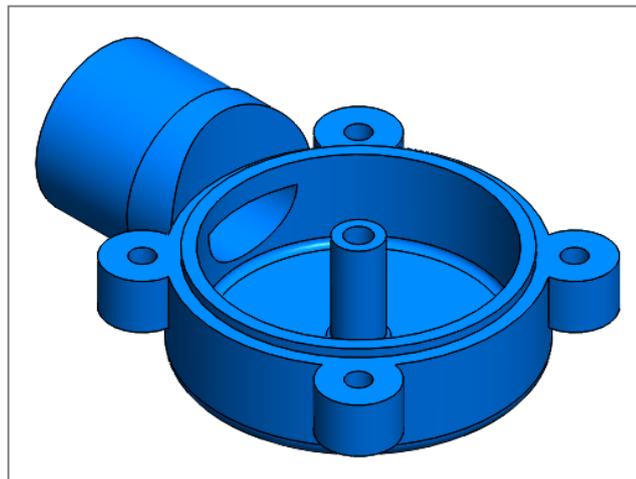


Figura 17-3. Modelado carcasa inferior de la turbina

Realizado por: Autor

Al igual que en la carcasa superior de la microturbina, se puede observar un cilindro horizontal recto que es hueco, con dimensiones similares a la de una tubería de PVC de $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro, con una perforación en forma de sector circular por donde saldrá el fluido hacia el calefón. Esta perforación posee tal geometría para que la cámara creada por las dos carcasas se llene con el fluido y no haya vacío y se incremente la acción del fluido sobre los álabes del rodete.

Para realizar la conexión tanto al ingreso como a la salida del hidrogenerador con la red que va a suministrar un flujo de agua al calefón, es necesario que las carcasas de la microturbina tengan un roscado normalizado. Para las tuberías de suministro de agua fría para la mayoría de calefones que se utiliza es de $\frac{1}{2}$ pulgada, este tipo de instalaciones se manejan comúnmente roscas cónicas NPT (acrónimo del inglés National Pipe Thread).

La rosca cónica nacional norteamericana, también conocida como ASME B1 .20.1, es una norma técnica estadounidense que se aplica para la estandarización del roscado de los elementos de conexión empleados en los sistemas e instalaciones hidráulicas. Además del acero y del latón, se puede aplicar en materiales plásticos y metálicos como PVC, nylon, bronce o hierro fundido. Pueden haber de tipo macho NPT (M), y de tipo hembra NPT (F). (SWAK—TM Swagelok Company, 2014 pág. 21)

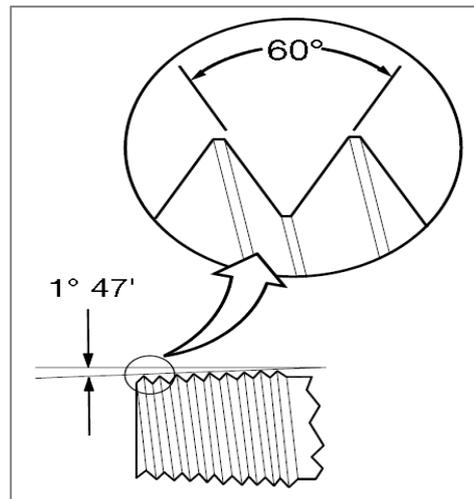


Figura 18-3. Perfil de rosca cónica NPT

Fuente: (SWAK—TM Swagelok Company, 2014 pág. 21)

Características:

- Rosca cónica ($1^{\circ}47'$ lo que es igual $1,7916^{\circ}$)
- El truncado de las raíces y crestas es plano.
- Ángulo de los hilos 60° .
- Paso de rosca medido en hilos por pulgada. (SWAK—TM Swagelok Company, 2014 pág. 21)

Conocidos las principales características de las roscas cónicas, con las tablas adjuntas en los anexos se pueden obtener los datos para definir el perfil del diente en función del diámetro de la tubería de $\frac{1}{2}$ pulgada. El paso de rosca hace referencia al número de hilos por pulgada en lugar de a la distancia entre hilos, de este valor se puede obtener fácilmente el paso en mm como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 7-3. Tamaño de conexión NPT para diámetro de $\frac{1}{2}$ "

Tamaño NPT nominal	Diámetro externo pulgadas(mm)	Roscas por pulgada	Paso de la rosca por pulgadas (mm)
$\frac{1}{2}$ "	0,840 pulgadas (21,34 mm)	14	0,07143 pulgadas (1,81432 mm)

Fuente: (SWAK—TM Swagelok Company, 2014)

Para generar la rosca en el software SolidWorks inicialmente se tiene que crear una trayectoria en forma de hélice o espiral (operaciones/curvas/hélice) como se indica en la Figura 19-3, introduciendo los datos conocidos de la tabla anterior y el ángulo de conicidad de $1,7916^\circ$. El número de vueltas dependerá de la profundidad que se desee hacer el roscado.

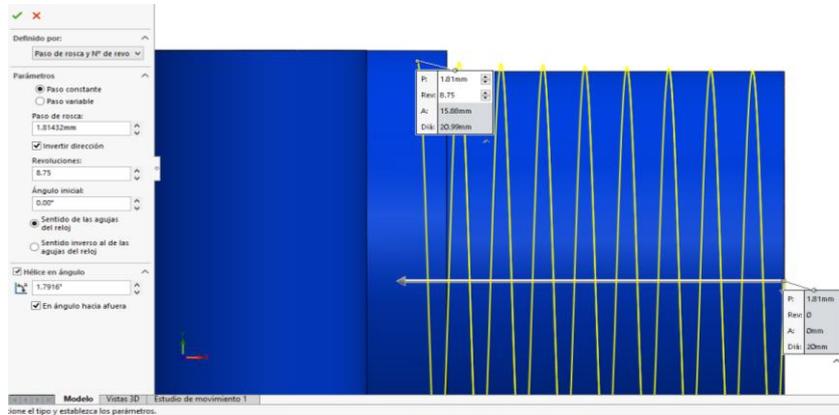


Figura 19-3. Trayectoria hélice para la rosca

Realizado por: Autor

Una vez trazada la trayectoria, se requiere crear un plano cerrado de croquis que contenga el perfil del diente. Este plano debe ser perpendicular a la trayectoria, y se debe situar sobre el inicio de la trayectoria en forma de hélice que va a seguir.

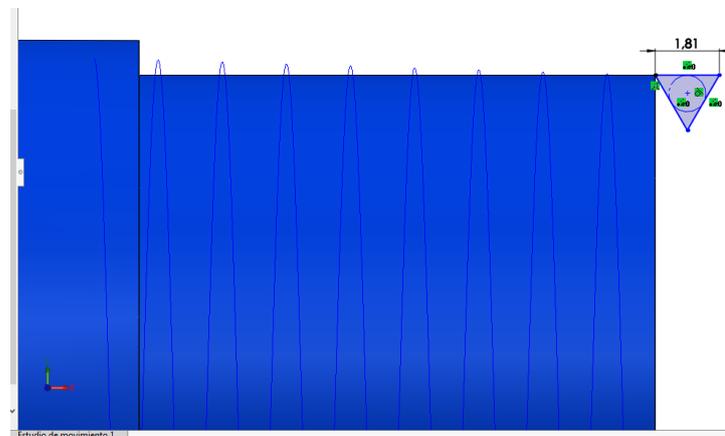


Figura 20-3. Perfil de diente para la rosca

Realizado por: Autor

Una vez realizados estos dos parámetros iniciales, se procede a seleccionar en el menú de operaciones, *corte barrido* que corta un modelo sólido al barrer un perfil cerrado a lo largo de una trayectoria abierta o cerrada, aparece el menú de esta operación y se selecciona de la trayectoria y el perfil y aceptar. Al seguir estos pasos se obtiene la rosca que se muestra en la figura presentada a continuación.

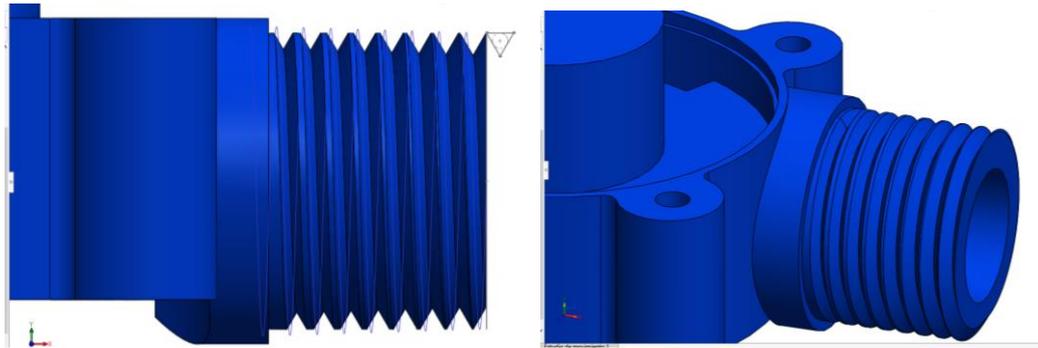


Figura 21-3. Modelado carcasa superior microturbina roscada

Realizado por: Autor

Este mismo procedimiento se sigue para realizar la rosca en la carcasa inferior de la microturbina, tomando en cuenta que para en ambos casos la dirección de la rosca es en el sentido de las agujas de reloj, para no tener inconvenientes la hora de la instalación del dispositivo con los acoples y uniones, esto se define al configurar los parámetros en la trayectoria en forma de hélice.

3.3.4.3 Carcasa del generador (motor DC)

El nivel de protección que proveen las envolturas de equipos y materiales eléctricos es un tema de gran importancia en las instalaciones a grande y pequeña escala. Dentro de la enorme cantidad de fenómenos externos que pueden tener influencia sobre este dispositivo en conjunto, se tienen vibraciones, impactos, el ingreso de agua y el ingreso de partículas sólidas. Una elección incorrecta del grado de protección puede hacer que una instalación falle, sacándola de servicio.

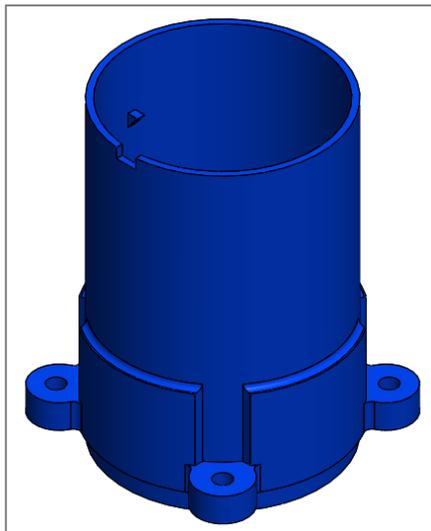


Figura 22-3. Carcasa del generador

Realizado por: Autor

La carcasa ilustrada en la Figura 22-3, consiste básicamente en un cilindro circular recto que es hueco, con una proporción de espesor sobre el contorno externo para reforzar la carcasa. Así mismo posee 4 soportes en forma de sector circular sobre el diámetro exterior de la base, todos con perforaciones para los tornillos, como se han modelado en los demás componentes de la carcasa para facilitar su posterior montaje.

El principal objetivo de este cuerpo, es la de proteger al motor y demás componentes de polvo y lluvia, internamente está constituido por una sección transversal como base, dispuesto aproximadamente a 1/3 de su altura total, esta configuración divide a la carcasa en dos zonas:

Sobre la superficie de esta base se va a montar todos los elementos necesarios para la microgeneración eléctrica, para esto se realiza una perforación para que el motor pueda traspasar su eje hasta la cámara inferior, este motor se fija la cara superior de esta división para evitar vibraciones. También se observa un tope pequeño en la superficie interna en la parte superior de la carcasa, que servirá para montar sobre el motor los componentes electrónicos que ayuden a la regulación de voltaje.

En la parte inferior se va a instalar el porta-imán que va a interactuar en el acople magnético con la microturbina, este cuerpo llamado porta-imán, va directamente conectado al eje del motor, por lo que no estará en contacto con ningún otro elemento, ni tampoco con la carcasa.

3.3.5 Modelado de la tapa de la carcasa

Para completar el cierre que debe tener la carcasa en su totalidad se ha diseñado esta tapa, que cubre al motor para evitar el ingreso de agua y polvo como se mencionó anteriormente. Este va montado sobre la superficie superior de la carcasa del motor, contiene una ranura para la salida de los cables que van instalados a la caja de pilas del calefón.

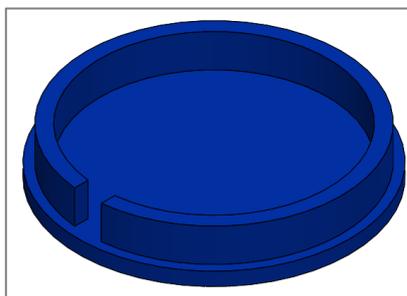


Figura 23-3. Modelado tapa de la carcasa del generador

Realizado por: Autor

3.3.6 *Ensamble del hidrogenerador*

Una vez modelado los componentes que constituyen al hidrogenerador, se realiza un ensamble para obtener una representación preliminar del equipo antes de proceder a validar la funcionalidad de las ideas planteadas.

Esta es una herramienta muy eficaz que permite visualizar la configuración de una forma precisa del dispositivo en tres dimensiones, sin la necesidad de tener armado el prototipo, ayuda detectar fallos estructurales y de diseño en etapas tempranas de proceso. En la Figura 24-3, se observa un ensamble con el roscado necesario en la carcasa para poder realizar su instalación y con ciertos elementos complementarios de la librería de SolidWorks como el caso de los pernos, tuercas y arandelas para la unión de la carcasa.

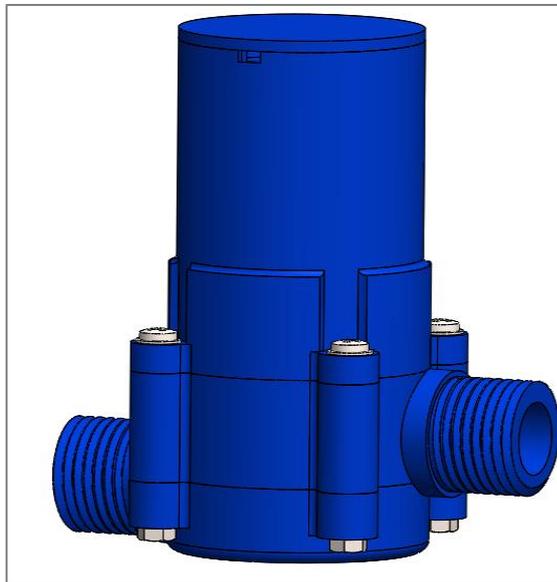


Figura 24-3. Modelado ensamble hidrogenerador

Realizado por: Autor

En la figura que se presenta a continuación, se hace un corte de sección por la mitad del ensamble que permite observar cómo están instalados internamente los componentes modelados en el software y la relación de posición que existe entre ellos. El sistema planteado cumple con la hermeticidad solicitada para que no existan fugas hacia el exterior del sistema ni hacia los demás componentes internos. También se observa en la parte superior (gris), un cilindro con un eje pasante acoplado al porta-imán que representa al motor que se va a seleccionar posteriormente para el proceso de microgeneración,

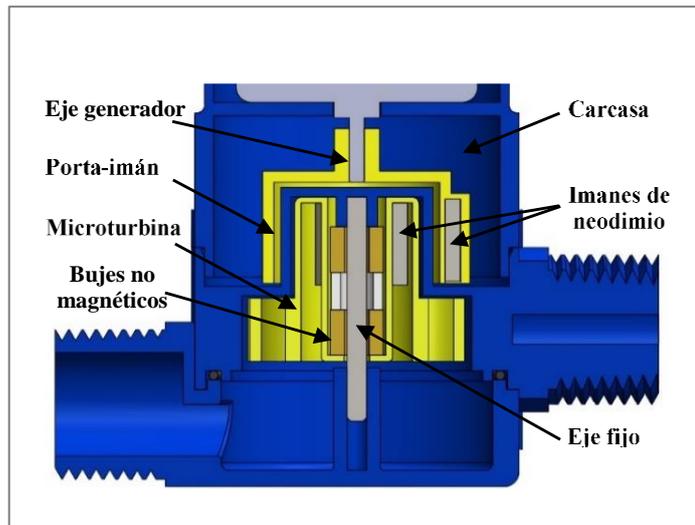


Figura 25-3. Corte de sección transversal del ensamblaje

Realizado por: Autor

La Figura 26-3, muestra un explotado del ensamblaje, en la parte inferior izquierda se observa un elemento en forma de anillo entre la carcasa superior e inferior de la microturbina, conocido como junta tórica (o-ring.) que sirve para minimizar las fugas de agua. En la derecha se observan los elementos de unión (perno M3x0.5x35 y tuercas M3x0.5) que servirán para el montaje, así como los imanes de neodimio para el acople magnético y en la parte superior un motor DC que sirve de referencia como generador de este sistema.

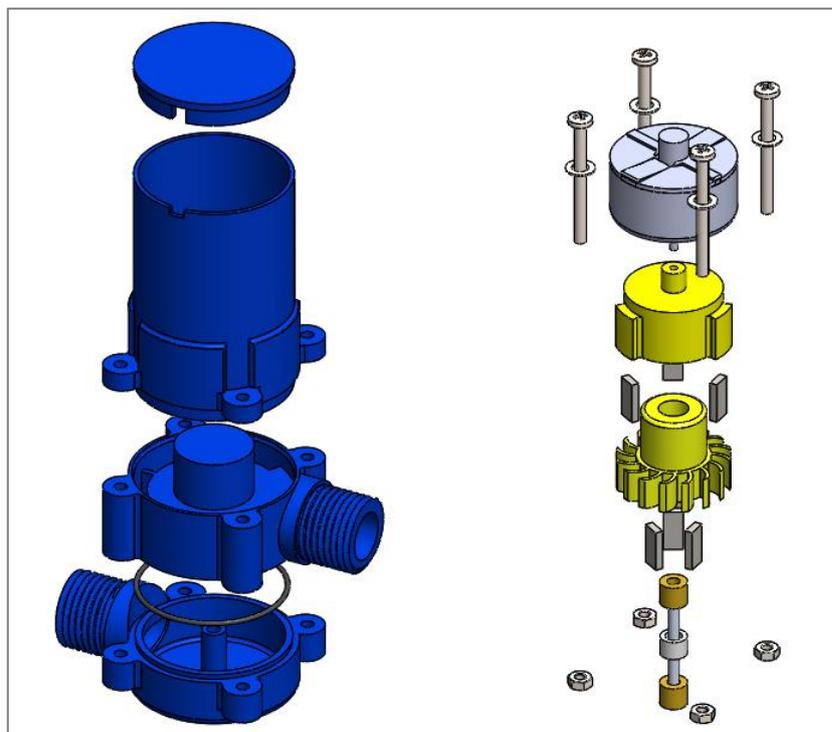


Figura 26-3. Vista explotada del ensamblaje

Realizado por: Autor

3.4 Validación de la geometría preliminar por MEF

Para validar el diseño de los componentes modelados en 3D del dispositivo propuesto, se plantea realizar el análisis por elementos finitos (FEA, siglas en inglés de Finite Element Analysis), que es una técnica de simulación por computador usada en ingeniería que utiliza una herramienta llamada método de los elementos finitos (MEF). Existen muchos paquetes de software, tanto libres como no libres.

El método del elemento finito es una técnica numérica para resolver problemas que se pueden describir por ecuaciones diferenciales parciales o que pueden ser formulados por medio de una minimización de un funcional (cálculo variacional). La geometría de la pieza, sometida a cargas y restricciones, se subdivide en partes más pequeñas, conocidas como elementos, que representan el dominio continuo del problema. La división de la geometría en pequeños elementos resuelve un problema complejo, al subdividirlo en problemas más simples, lo que permite a la computadora hacer las tareas con eficiencia. (Giuseppe , 2016)

El método puede ser aplicado en la resolución y diagnóstico de problemas de análisis estructural para la obtención de desplazamientos, deformaciones y tensiones, también permite representar diferentes escenarios y evaluar el rendimiento de productos con aplicación de criterios de resistencia, rigidez o fatiga. También las variaciones del método de los elementos finitos permiten hacer análisis térmico, acústico, dinámico, electromagnético y de flujos de los casos más simples de comportamiento lineal al no lineal, como cuando se tienen grandes desplazamientos o contacto entre las partes de un conjunto. (Giuseppe , 2016)

Es necesario precisar varias condiciones para emplear este método, como definir los materiales de la mayoría de componentes acorde con el proceso de fabricación que se utilizará para el mecanismo, así como condiciones de entrada y salida a las que estará sujeto el dispositivo en función de variables físicas y mecánicas del sistema, condiciones de frontera, etc.

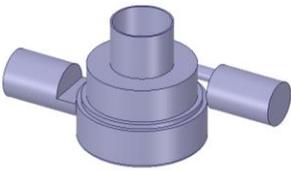
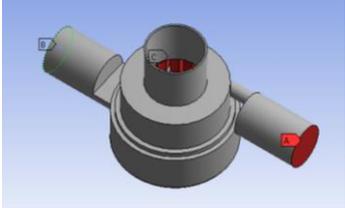
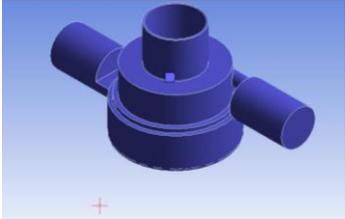
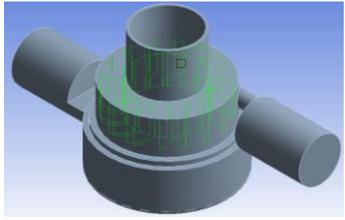
3.4.1 *Simulación de trayectorias del fluido en ANSYS CFD*

La dinámica de fluidos computacional (CFD) es una herramienta con una increíble flexibilidad, precisión y amplitud de aplicación. En esta sección se describen los parámetros a seguir para simular la trayectoria del fluido para observar el comportamiento del líquido dentro del dispositivo por medio de con el análisis Fluid Flow (Fluent) en el software ANSYS CFD, así mismo se desea obtener magnitudes de fuerza para el posterior análisis en los demás componentes.

En primer término, hay que definir el volumen de control que va a delimitar el flujo del fluido, esto se obtiene al preparar el ensamble modelado de la carcasa que cubre al fluido, y ejecutando

la operación de extracción de volumen en la herramienta SpaceClaim de ANSYS, plataforma que permite editar y preparar los elementos modelados en SolidWorks, (guardados en formato .STEP). En la tabla que se muestra a continuación se muestra el proceso para obtener el mallado del volumen de control.

Tabla 8-3. Definición de parámetros para mallar el volumen de control

Geometry	Volume/Volume	Material: Fluid			
Named selections	Entrada A	Inlet			
	Salida B	Outlet			
	Superficie C	Álabes			
Mesh control	Body sizing	Selección geometría: 1 Body			
		Element size: 0,75mm			
	Face sizing	Selección de la geometría: álabes			
		Element size: 0,1mm			
Mesh (Mallado)	Sizing		Statistics		
	Relevance center	Fine	Mesh metric		Skewness
	Smoothing	High	Min	7,4297e-011	
	Transition	Slow	Max	0,88128	
	Span angle center	Fine	Average	0,22995	

Realizado por: Autor

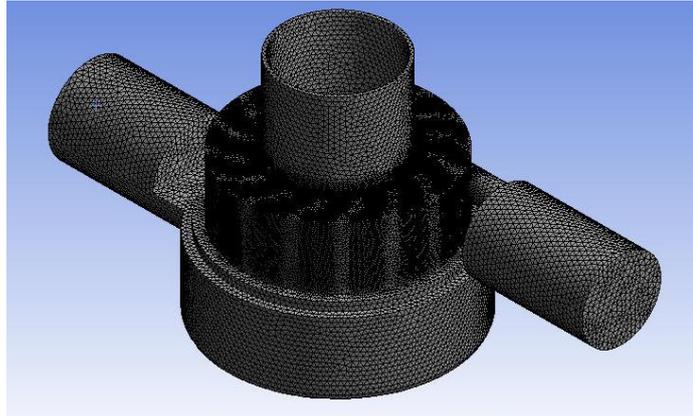


Figura 27-3. Mallado del volumen de control de la carcasa

Realizado por: Autor

En las estadísticas de la tabla anterior se muestra un valor promedio del tamaño de los elementos finitos conocido como Average de 0,22995, según el Mesh metric de tipo Skewness, este valor es menor a 25%, según recomendaciones para mallar un fluido, resultado final es aceptable. Como información, la calidad del mallado se puede seguir mejorando y con ello los resultados finales, pero implica más gasto computacional y más tiempo para realizar los análisis requeridos.

Con la obtención de la malla del volumen de control, se procede a realizar las demás configuraciones que requiere el proyecto para simular la trayectoria del fluido. En la Figura 28-3 se indican estos parámetros, en los que se van a modificar los más relevantes.

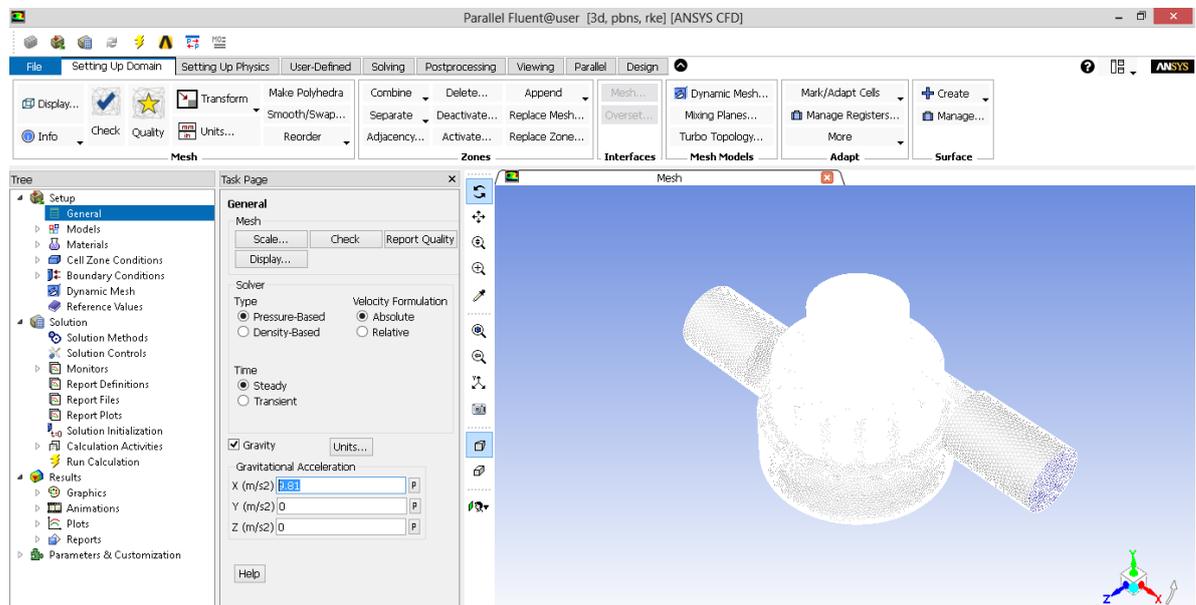


Figura 28-3. Parámetros de configuración para simulación en ANSYS Fluent

Realizado por: Autor

Se debe definir valores variables físicas la entrada (inlet) y a la salida (outlet), para este caso la velocidad y la presión máximas respectivamente calculadas en la sección 3.2.2, para condiciones

más críticas, esto se presenta en la Tabla 9-3. Se debe destacar que para este análisis se van a despreciar las caídas de presión en el dispositivo.

Tabla 9-3. Selección de parámetros para simulación

General	Mesh	Check	
	Type	Pressure-Based	
	Time	Steady	
	Gravity (m/s)	9,81	
Models	Viscous-Realizable k-e, Standard wall	K-epsilon (2 eqn)	
Materials	Type	Water-liquid	
Cell zone conditions	Volume_volume	Material name/Water-liquid	
Boundary conditions	Inlet	Velocity magnitude	0,8015 (m/s)
	Outlet	Gauge Pressure	55452 (Pa)
Solution methods	Scheme	Simple	
	Pressure	Second order	
	Turbulent kinetic energy	Second order upwind	

Realizado por: Autor

Con los parámetros insertados en el menú de Setup, hay que inicializar las soluciones en la opción Solution/Solution initialization/Initialization, como requisito antes de ejecutar la resolución del problema planteado, con esta opción verificada ya se puede establecer los cálculos que requiere el software en la opción Solution/Run Calculation, los resultados de las trayectorias del fluido internamente por el dispositivo se muestran en la Figuras 29-3.

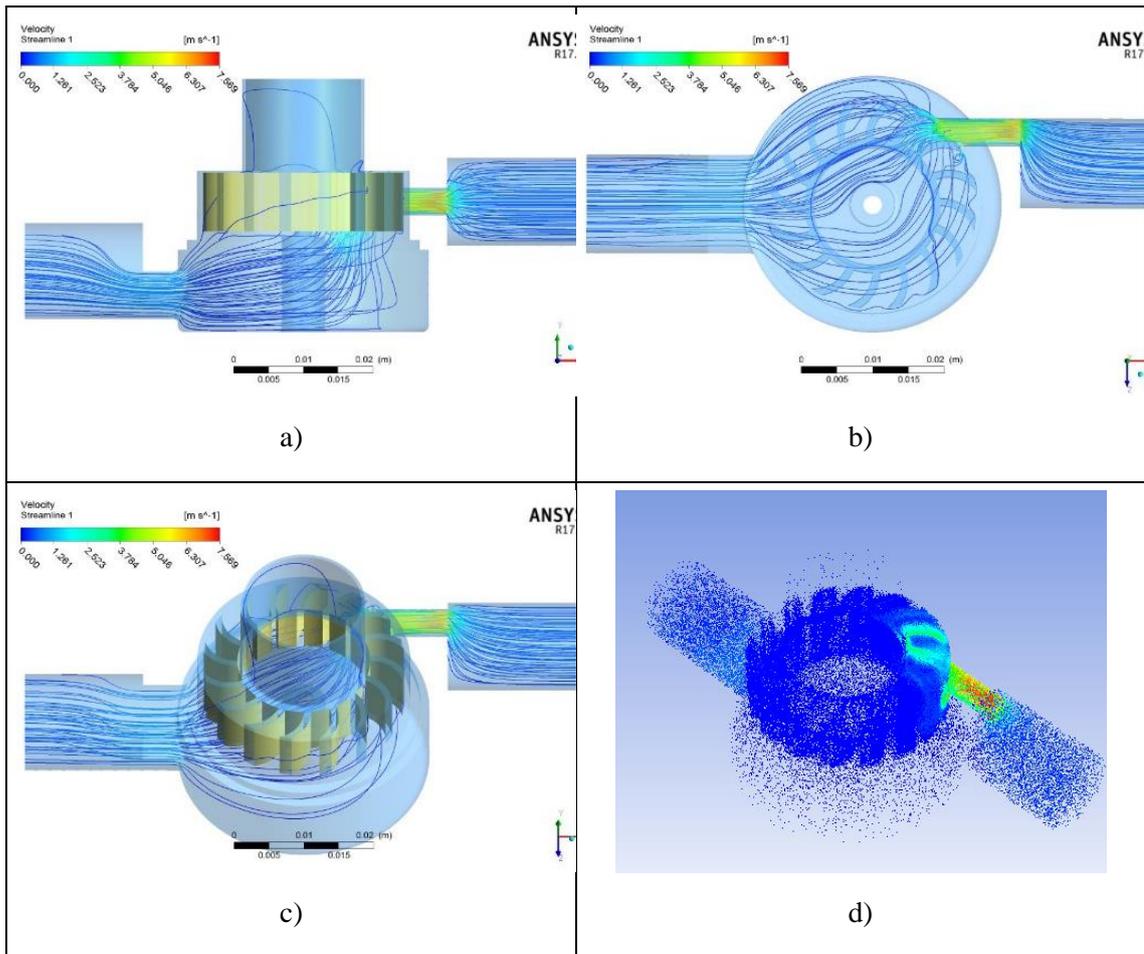


Figura 29-3. Simulación: a) Frontal, b) Superior, c) Inclinada, d) Con vectores

Realizado por: Autor

También se muestra a continuación un reporte de fuerzas generado por el software, se exponen valores de fuerzas generados sobre el rodete debido a la presión y a la viscosidad obtenidas de la simulación, estos valores totales se utilizan en el análisis de la microturbina.

```

Calculation complete.

Forces
Zone      Forces (n)
Pressure  Viscous      Total
aspas     (-1.3059039 -1.9802181e-05 2.9754677)  (-0.0023874035 -0.0046075797 0.0011103003)  (-1.3082913 -0.0046273819 2.976578)
-----
Net       (-1.3059039 -1.9802181e-05 2.9754677)  (-0.0023874035 -0.0046075797 0.0011103003)  (-1.3082913 -0.0046273819 2.976578)

Forces - Direction Vector (1 1 1)
Zone      Forces (n)      Viscous      Total      Coefficients
Pressure  Pressure        Viscous      Total      Pressure      Viscous      Total
aspas     0.96391166     -0.0033975232 0.96051414 1.5737333  -0.0055469767 1.5681863
-----
Net       0.96391166     -0.0033975232 0.96051414 1.5737333  -0.0055469767 1.5681863
  
```

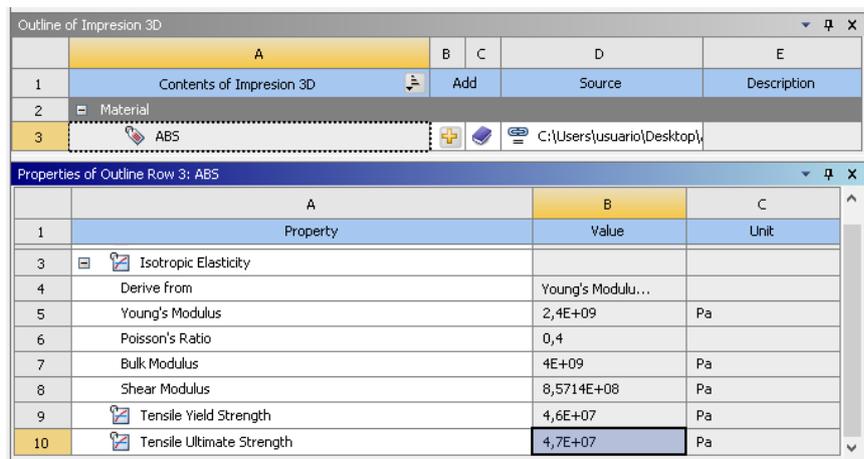
Figura 30-3. Resultados de fuerzas sobre los álabes

Realizado por: Autor

3.4.1.1 Análisis por MEF para la microturbina

Para justificar la configuración del modelado de este componente y validar las dimensiones, es necesario calcular un factor de seguridad que de la certeza de que el diseño es aceptable antes de su construcción, por lo que es necesario cumplir con ciertos requerimientos como definir el material a utilizar, realizar un mallado, posteriormente asignar restricciones y someter a cargas.

La base de datos en cuanto se refiere a materiales es limitada en ANSYS por lo que se procede a introducir datos manualmente (sección Engineering Data) para definir el material ABS que se va a utilizar en este análisis.



	A	B	C	D	E
1	Contents of Impresion 3D	Add		Source	Description
2	Material				
3	ABS			C:\Users\usuario\Desktop\	

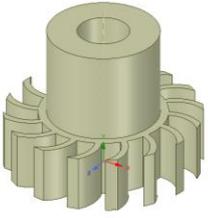
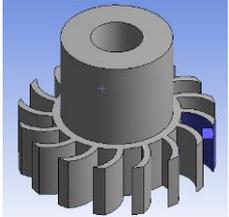
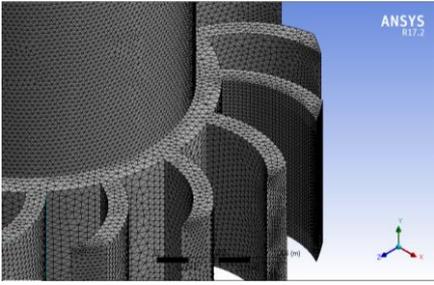
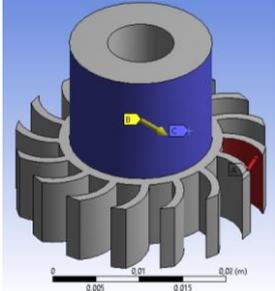
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
3	Isotropic Elasticity		
4	Derive from	Young's Modulu...	
5	Young's Modulus	2,4E+09	Pa
6	Poisson's Ratio	0,4	
7	Bulk Modulus	4E+09	Pa
8	Shear Modulus	8,5714E+08	Pa
9	Tensile Yield Strength	4,6E+07	Pa
10	Tensile Ultimate Strength	4,7E+07	Pa

Figura 31-3. Datos para definir el material ABS en ANSYS

Realizado por: Autor

En la tabla que se presenta a continuación se especifican los requerimientos necesarios para continuar con el análisis estático estructural de la microturbina. Inicialmente se hace el mallado de la geometría obtenida ya en el modelado 3D en SolidWorks y posteriormente se asignan las restricciones y las cargas obtenidas de la simulación en Fluid Flow (Fluent).

Tabla 10-3. Parámetros para el análisis MEF de la microturbina

Geometry	Volume/Volume	Material: ABS		
Mesh control	Face meshing	Selección geometría: 2 faces		
	Face sizing	Selección de la geometría: 2 faces		
		Element size: 0,0002m		
Mesh (Mallado)	Sizing		Statistics	
	Relevance center	Fine	Mesh metric	Element quality
	Smoothing	High	Min	0,29971
	Transition	Slow	Max	1,
	Span angle center	Fine	Average	0,83911
				
Cargas y restricciones	Force A	x component: -1,3082N (ramped) y component: -0,00462N (ramped) z component: 2,9765 N (ramped)		
	Standard Earth Gravity B	x component: 9,8066 m/s ² (ramped)		
	Cylindrical Support C	Radial: Fixed Axial: Fixed Tangential: Fixed		

Realizado por: Autor

En la Figura 32-3 se exponen los resultados obtenidos en el análisis por MEF para la microturbina, en donde se indica que las deformaciones con respecto a las fuerzas aplicadas en este elemento son despreciables. Los espesores asignados en el diseño preliminar de los álabes son aceptables, esto se valida al obtener un coeficiente de seguridad mínimo de 4 con el material especificado inicialmente.

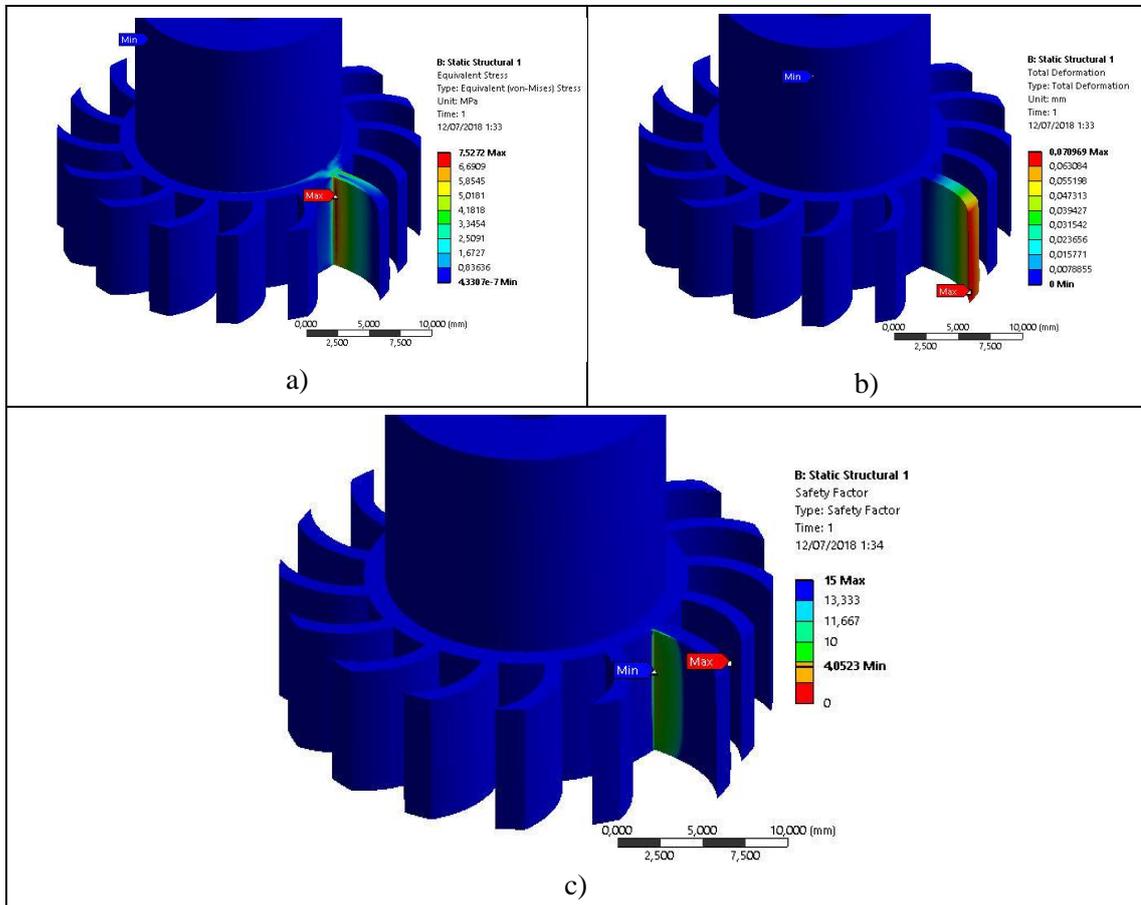


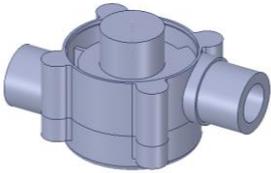
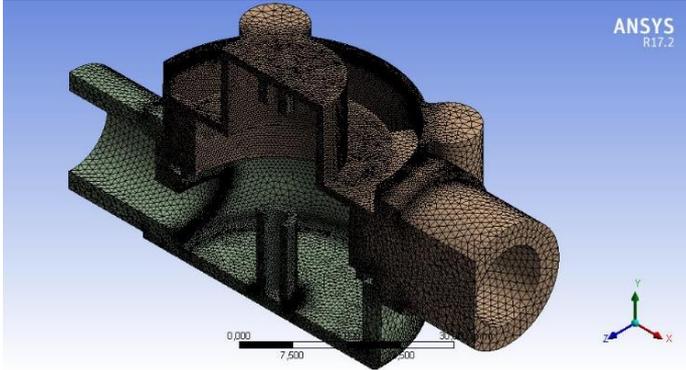
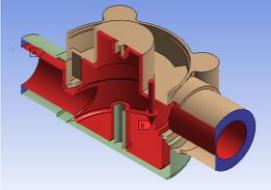
Figura 32-3. Microturbina: a) Esfuerzo Von-Mises, b) Deformación c) Factor de seguridad

Realizado por: Autor

3.4.1.2 Análisis por MEF para la carcasa

Al igual caso del análisis de la microturbina, para la carcasa se requiere realizar un mallado adecuado que permita obtener datos fiables, después se asignan los soportes y la presión de trabajo. Según el Código Técnico de la Edificación, en los puntos de consumo la presión mínima, es 100 kPa para grifos comunes y 150 kPa para fluxores y calentadores. La presión en cualquier punto de consumo no debe superar los 500 kPa (5,1 Kg/cm²). En la tabla 11-3 se listan con mejor detalle los parámetros establecidos para este análisis.

Tabla 11-3. Parámetros para el análisis MEF de la carcasa

Geometry	Carcasa inferior de la turbina	Material: ABS		
	Carcasa superior de la turbina	Material: ABS		
Mesh (Mallado)	Sizing		Statistics	
	Size function	Proximity and curvature	Mesh metric	Element quality
	Relevance center	Fine	Min	8,9043e-002
	Smoothing	High	Max	1,
	Transition	Slow	Average	0,83844
	Span angle center	Fine	Estándar deviation	9,1356e-002
				
Static structural	Fixed Support A	Geometry: 2 Faces		
	Pressure B	Named selection: Interior		
		Magnitude: 0,5 Mpa		

Realizado por: Autor

Una vez asignados todos los valores y condiciones de la tabla anterior, se ejecuta el programa con un análisis estructural estático para que recalculé los valores y se presenten los gráficos que se muestran en la Figura 33-3, en donde el factor de seguridad es mayor a 1, hay que tomar en cuenta que la presión que se está considerando, es la máxima que se puede estimar en instalaciones domésticas.

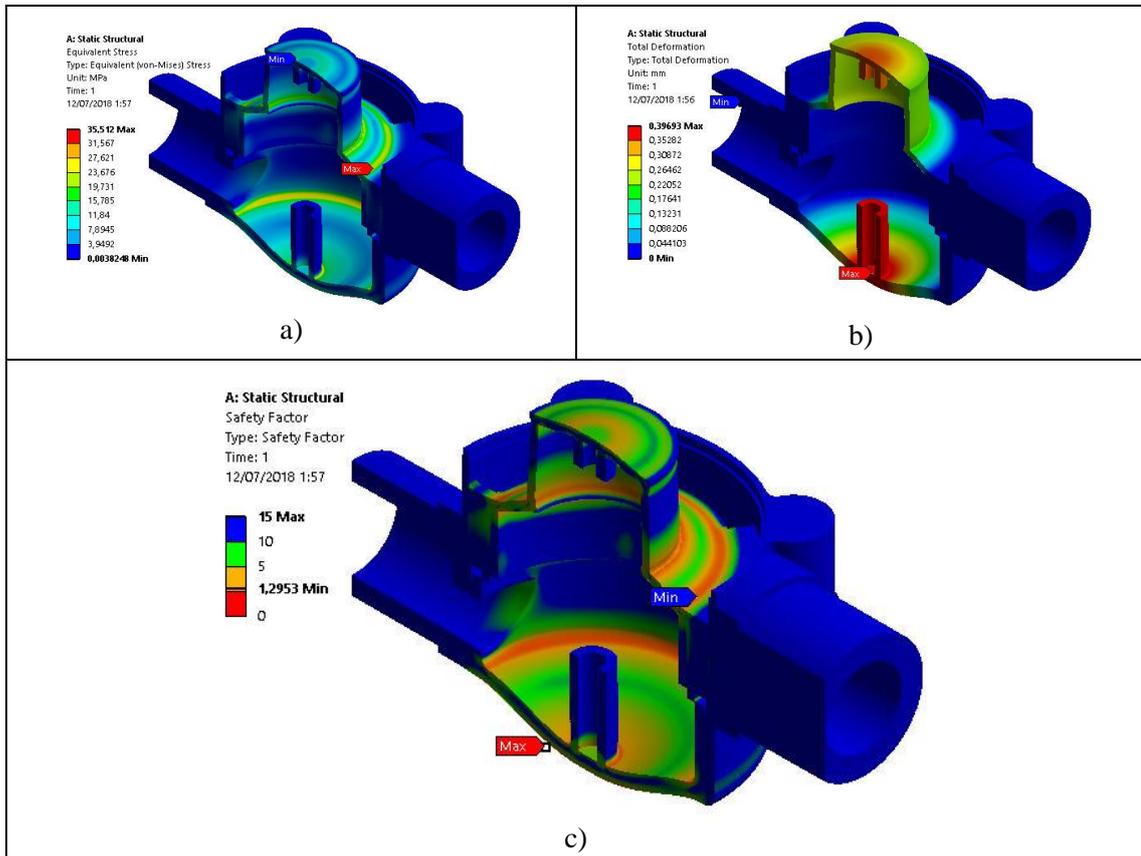


Figura 33-3. Carcasa: a) Esfuerzo Von-Mises, b) Deformación c) Factor de seguridad

Realizado por: Autor

3.4.2 Selección del proceso de fabricación

Los procesos de manufactura con polímeros tienen como finalidad obtener objetos y piezas de formas predeterminadas y estables, cuyo comportamiento sea adecuado a las aplicaciones a las que están destinados.

En un principio las *impresoras 3D* eran equipos realmente caros que solo estaban al alcance de unos pocos, actualmente tanto los equipos de impresión 3D como sus componentes han experimentado una reducción de precio significativa que los han colocado al alcance tanto de usuarios con un presupuesto amplio como para aquellas personas que desean entrar al mundo de la impresión 3D sin tener que gastar una fortuna. (Torres, y otros, 2012 pág. 22)

3.4.2.1 Modelado por Deposición Fundida (FDM).

En la técnica de prototipado rápido modelado por deposición fundida, más conocida como impresión 3D, parte del modelamiento de la pieza a construir en un software CAD, la conversión de dicho modelo a lenguaje de máquina y el gobierno de una planta para que un filamento plástico se desenvuelva de un rollo y alimente una boquilla de extrusión. La boquilla se calienta para fundir el plástico hasta alcanzar el estado de transición vítreo y mediante un mecanismo de dosificación se controla el flujo del material fundido. (Torres, y otros, 2012 pág. 27)

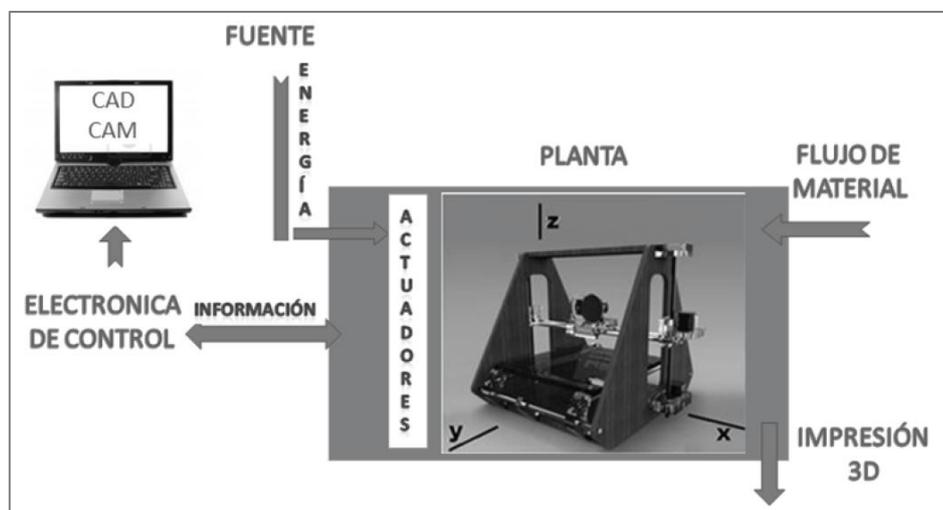


Figura 34-3. Diagrama de modelado por deposición fundida

Fuente: (Torres, y otros, 2012 pág. 27)

La boquilla monta sobre un sistema de posicionamiento tridimensional que ubica las coordenadas X, Y y Z determinadas por la discretización de la pieza y deposita un cordón o gota de plástico para formar cada capa del modelo. La Figura 35-3 muestra el diagrama del sistema. (Torres, y otros, 2012)

A partir del diseño CAD, el modelo es exportado a formato estándar de prototipado rápido o de estereolitografía con extensión .STL, este formato corresponde a la definición de la superficie que delimita exteriormente al modelo tridimensional mediante una representación triangularizada y en consecuencia adaptada a ella. (Torres, y otros, 2012)

Estos datos son utilizados por un algoritmo seccionador por capas que determina las secciones transversales de la pieza. El anterior proceso se realiza por la conversión del archivo .STL a código G, que determina las coordenadas de posición para la impresión en 3D, la velocidad de movimiento, distancia entre capas y la actividad del extrusor de material. Finalmente, un software maestro, que integra el código G, configura diversas variables como el tiempo de inicio para puesta a punto, la temperatura de la herramienta de extrusión de material, el avance y retroceso de cada eje, el inicio y las paradas de emergencia; (Torres, y otros, 2012)

Figura 35-3 muestra el diagrama de flujo de información del proceso descrito.

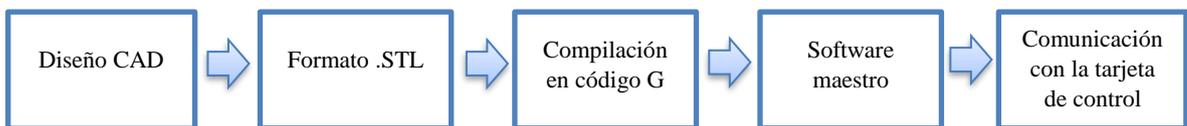


Figura 35-3. Diagrama de flujo de información del proceso FDM

Fuente: (Torres, y otros, 2012)

3.4.2.2 Materiales usados en impresión 3D bajo el proceso FDM

Dentro del mundo de la impresión 3D se están usando cada vez más materiales distintos y se encuentra en constante innovación. El material más comúnmente usado es el Acrilonitrilo Butadieno-Estireno (ABS), que convive con otros materiales sustitutivos como el Ácido Poliláctico (PLA) y aunque sus aplicaciones son muy parecidas, uno es más indicado que otro según el objetivo.

- Acrilonitrilo Butadieno-Estireno (ABS)

ABS es el nombre que se da a una familia de *termoplásticos*, que pertenece al grupo de polímeros que se pueden moldear al aplicarle calor. Las siglas se refieren a los tres monómeros utilizados para producir el ABS, el acrilonitrilo provee resistencia térmica y química, y dureza; el butadieno proporciona resistencia al impacto; y el estireno imparte brillo superficial, rigidez y facilidad de procesado. Los materiales de ABS tienen importantes propiedades en la ingeniería, dada su buena resistencia mecánica combinada con cierta facilidad para el procesado, en la Tabla 12-3, se presenta algunas propiedades genéricas de este material.

Tabla 12-3. Propiedades físicas y mecánicas del ABS

Densidad	1,03 a 1,38 g/cm ³
Módulo de elasticidad	1.7 a 2.8GPa
Elongación a la rotura	3% al 75%
Módulo de flexión	2.1 a 7.6 GPa
Resistencia a la flexión	69 a 97 MPa
Temperatura de transición vítrea	100°C
Capacidad calorífica específica	1080 a 1400 J/kg-K
Relación fuerza-peso	31 a 80 kN-m/kg
Resistencia a la tracción (UTS)	33 a 110 MPa

Realizado por: Autor

Fuente: (Torres, y otros, 2012)

- *Ácido Poliláctico PLA*

El PLA es un poliéster termoplástico alifático con propiedades semejantes a las del tereftalato de polietileno (PET) que se utiliza para hacer envases, pero que además es biodegradable. Proviene de recursos renovables como pueden ser los restos de maíz, las raíces de tapioca, trozos de madera o de caña de azúcar. Se degrada fácilmente en agua y óxido de carbono.

Tabla 13-3. Propiedades físicas y mecánicas del PLA

Densidad	1,25 g/cm ³
Módulo de elasticidad	3.5 GPa
Elongación a la rotura	6%
Módulo de flexión	4 GPa
Resistencia a la flexión	80 MPa
Temperatura de transición vítrea	60°C
Temperatura de deflexión del calor	65°C
Comienzo de fusión	160°C
Módulo de corte	2,4 GPa
Capacidad calorífica específica	1800 J/kg-K
Relación fuerza-peso	40 kN-m/kg
Resistencia a la tracción (UTS)	50 MPa

Realizado por: Autor

Fuente: (Torres, y otros, 2012)

Después de describir los dos materiales más comunes utilizados en la impresión 3D, se resume en la siguiente tabla algunas características del ABS y del PLA, que ayudan a diferenciar estos materiales.

Tabla 14-3. Diferencias entre los materiales ABS y PLA

ABS	PLA
Temperatura de extrusión: ~ 240° C	Temperatura de extrusión: ~ 200° C
Requiere cama caliente > 70 ° C	Poca temperatura de cama caliente
Peor adherencia, se necesita cinta de poliamida o laca.	Buena adherencia a una gran variedad de superficies
Resistente a temperaturas altas	Poco resistente a temperaturas altas
Propenso a las grietas, delaminación y deformación	Propenso a la ondulación de las equinas y salientes
Más flexible	Más frágil
Los humos son desagradables y nocivos en áreas cerradas	Humos no nocivos y olor más agradable
Plástico derivado del petróleo	Plástico de origen vegetal

Realizado por: Autor

Fuente: (Torres, y otros, 2012)

En conclusión, el material ABS es preferido en usos industriales, mientras que el PLA y el ABS son aptos para uso doméstico. Por ejemplo, una empresa que realice piezas mecánicas, deberá utilizar el *filamento ABS*, por su resistencia y rigidez. En cambio, un despacho de arquitectos que diseñe maquetas de sus proyectos, podrá utilizar el *filamento PLA*.

3.4.2.3 Materiales usados para el eje y los bujes

La principal consideración que se debe tomar en cuenta a la hora de seleccionar el material para estos componentes, es que van a trabajar dentro del agua por lo que se requieren propiedades anticorrosivas y también deben poseer características no magnéticas para que no haya ninguna interferencia con el acople magnético alterando su funcionamiento normal. Para ello se describirá brevemente a los aceros inoxidable y la aleación de cobre llamada latón.

- Aceros inoxidables

Los aceros inoxidables se eligen como materiales de ingeniería principalmente por su excelente resistencia a la corrosión en muchos ambientes. La resistencia de los aceros inoxidables a la

corrosión se debe a su alto contenido de cromo. Para fabricar un acero inoxidable, tiene que haber por lo menos 12 por ciento de cromo (Cr) en el acero. Según la teoría clásica, el cromo forma un óxido superficial que protege de la corrosión a la aleación de hierro-cromo subyacente. (Smith, y otros, 2006)

Hay varias familias de aceros inoxidables con diferentes propiedades físicas. Las propiedades magnéticas del acero inoxidable dependen mucho de los elementos añadidos en la aleación. Un acero inoxidable básico tiene una estructura *ferrítica* y es magnético, formado con la adición de cromo y puede ser endurecido mediante la adición de carbono, por lo que es *martensítico*. Sin embargo, los aceros inoxidables más comunes son *austeníticos* estos tienen un contenido de cromo más alto y también se les añade níquel, que modifica la estructura física del acero y hace que sea teóricamente no magnético. (Smith, y otros, 2006)

Tabla 15-3. Propiedades generales de los aceros inoxidables

Tipo	Resistencia a la corrosión	Dureza	Magnéticos	Endurecible por temple	Soldabilidad
Martensíticos	Baja	Alta	Si	Si	Pobre
Ferríticos	Buena	Media baja	SI	No	Limitada
Austeníticos	Excelente	Alta*	No**	No	Excelente

Realizado por: Autor

Fuente: (Greenwood Magnetics, 2018)

*: Adquieren mayor dureza al ser trabajados en frío.

** : Adquieren cierto magnetismo al ser trabajados en frío.

La aleación 304 es un acero inoxidable austenítico de uso general con una estructura cúbica de caras centradas. Es esencialmente no magnético en estado recocido (sensible a los campos magnéticos tan sólo ligeramente) y sólo puede endurecerse en frío. Contiene cromo (min. 18%) y níquel (min. 8%) y cantidades menores de otros elementos. Su aplicación esta direccionada para la fabricación de equipos médicos y para procesamiento de alimentos. (Greenwood Magnetics, 2018)

Tabla 16-3. Propiedades mecánicas del acero inoxidable austenítico AISI 304

Densidad	7,93 g/cm ³
Punto de Fusión	1400-1455°C
Alargamiento	<60 (%)
Dureza Brinell	160-190
Módulo de Elasticidad	190-210 Gpa
Límite elástico	290MPa
Resistencia a la Tracción	580 MPa

Fuente: (Smith, y otros, 2006 pág. 426)

El acero inoxidable 316 es acero aleado con molibdeno. El hecho de que también es insignificamente sensible a los campos magnéticos significa que puede ser utilizado en aplicaciones donde se requiere un metal no magnético. También contiene otros elementos en concentraciones variables. (Greenwood Magnetics, 2018)

- *Latones*

El latón es una aleación de cobre y zinc, en proporciones que pueden variar según las necesidades de cara a crear una variedad de tipos de latón con propiedades diversas. Según la norma DIN 1718, se denomina latón a toda aleación de cobre y zinc con una proporción del más del 50% de cobre en peso. Se le considera un latón estándar, compuesto de 37 por ciento de Zinc, y se trabaja en frío.

Además, en la aleación pueden intervenir otros elementos como estaño, silicio, aluminio, hierro o manganeso. Así mismo, sirve para aplicaciones donde se requiere baja fricción, tales como cerraduras, engranajes, cojinetes, municiones, válvulas, fontanería y aplicaciones eléctricas. La mayoría de latones resisten bien a la corrosión.

CAPÍTULO IV

4. CONSTRUCCIÓN, EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

En el presente capítulo se detallará el procedimiento que se va a utilizar para la fabricación de los componentes que conforman esta implementación, también se va a describir los pasos a seguir para realizar el ensamble y la instalación del dispositivo, para realizar ensayos y medir el voltaje que se está generando en función del caudal suministrado, y para culminar el capítulo se presentarán los datos obtenidos de las pruebas realizadas estableciendo gráficas con los parámetros medidos.

4.1 Construcción con Modelado por Deposición Fundida (FDM)

Con el diseño CAD modelado en el capítulo anterior y realizadas las respectivas validaciones de los componentes que se necesitan para la implementación del dispositivo, se procede a la fabricación de los mismos, para lo cual en la siguiente tabla se especifica las componentes que serán extruidos en la impresora en 3D y los elementos metálicos que serán mecanizados.

Tabla 1-4. Designación del proceso de construcción de las piezas microgenerador

Cantidad	Componente	Tipo de fabricación
1	Microturbina	Modelado por Deposición Fundida (FDM)
1	Porta-imán	Modelado por Deposición Fundida (FDM)
1	Carcasa inferior microturbina	Modelado por Deposición Fundida (FDM)
1	Carcasa superior microturbina	Modelado por Deposición Fundida (FDM)
1	Carcasa motor DC	Modelado por Deposición Fundida (FDM)
1	Tapa carcasa motor DC	Modelado por Deposición Fundida (FDM)
1	Buje plástico del eje	Modelado por Deposición Fundida (FDM)
2	Buje no magnético del eje	Mecanizado en acero no magnético
1	Eje fijo	Mecanizado en acero no magnético

Realizado por: Autor

Una vez definidos los elementos que se van a modelar con el sistema por deposición fundida, estos modelos deben ser exportados a un formato estándar de prototipado rápido con extensión (.STL). Este tipo de archivo es manipulado en un software maestro Simplify3D, que traduce los modelos CAD en el lenguaje que la impresora en 3D lee y ejecuta.

En la Figura 1-4, se observa la interfaz que tiene el software para preparar las piezas, en la que se establecen las condiciones y configuraciones principales de cada unidad antes de su impresión. También se visualiza unos soportes internos huecos en forma rectangular, que se van generando en simultáneo conforme la geometría del diseño lo requiera, para que ciertas secciones salientes de la estructura principal que quedan flotando tengan puntos de apoyo en su base con respecto al plano del suelo y se facilite su proceso de impresión 3D.

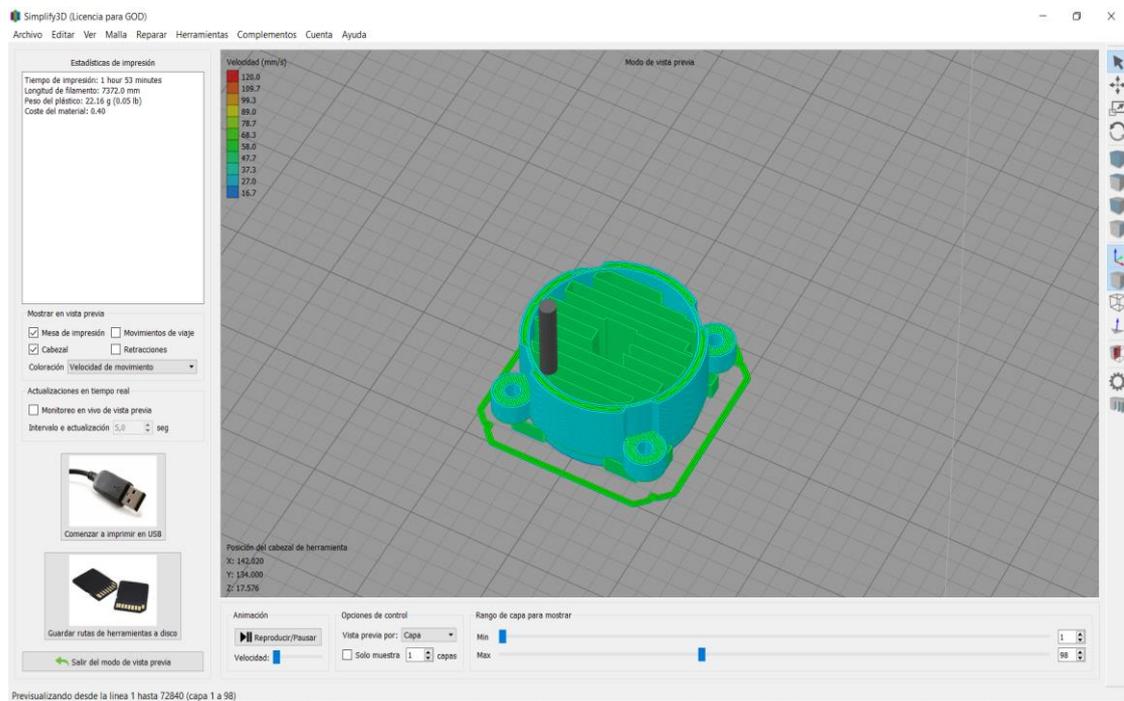


Figura 1-4. Preparación para impresión software Simplify3D

Realizado por: Autor

Parámetros como la posición de la pieza, el tipo de material, la velocidad de movimiento del mecanismo de la boquilla de extrusión, la temperatura, etc. son variables que influyen directamente en el tiempo de impresión, así como del acabado final de las piezas. Para este caso se utilizará dos tipos de impresoras con diferentes características.

4.1.1 *Impresora 3D Delta HE3D K280*

En la Figura 2-4 se puede observar este tipo de mecanismo, en la que la polea está diseñada con cuatro ruedas que es más precisa que la polea con tres ruedas y la extrusora es de metal, así mismo el tamaño de formación de producto es de 280 x 600 mm y admite la impresión en varios materiales. La cama calefactora es de aluminio de tamaño personalizado con calentamiento rápido, las características más específicas se adjuntan en los anexos.



Figura 2-4. Impresora 3D Delta HE3D K280

Fuente: (<https://es.gearbest.com/3d-printers>)

4.1.2 *Construcción de la microturbina, porta- imán y buje plástico*

Con este tipo de impresora se van a imprimir los siguientes elementos debido a la disponibilidad del equipo y a la precisión normal que se requiere:

- Microturbina
- Porta-imán
- Bujes plástico del eje

En la figura que se presenta a continuación, se observa la impresión del porta-imán con boquilla de 0.4mm de diámetro a una velocidad de impresión de 100 mm/s y temperatura de 240°C. La plataforma tiene una temperatura de 80°C. La posición de la pieza está dispuesta de manera que se generen la cantidad menos de soportes ya que en ocasiones puede resultar complicado extraer

estos soportes, pudiendo dejar restos y rugosidades en la superficie. Y el material utilizado es ABS.

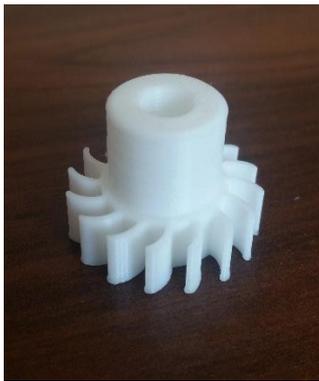


Figura 3-4. Impresión en proceso del porta-imán

Realizado por: Autor

En la siguiente tabla se muestra las fotografías de los componentes impresos en este equipo. A estos estos elementos se les ha quitado los soportes y demás residuos de material que se van generando en este proceso con una pulidora pequeña y lija número 1000.

Tabla 2-4. Elementos construidos en la impresora 3D Delta HE3D K280

Microturbina	Porta-imán	Buje plástico del eje
		

Realizado por: Autor

4.1.3 Impresora 3D CR-10S

La impresora CR10S está modificada y brinda mejor precisión del grabado de ± 0.1 mm. Posee un excelente volumen de trabajo, con tecnologías patentadas: Ruedas sólidas V de Delrin con cojinetes y rieles de ranura en V únicos que generan menos ruido y un mejor rendimiento. Otra

ventaja importante es que las placas de circuito de grado industrial pueden imprimir continuamente durante 200 horas sin errores. Las características más específicas se adjuntan en los anexos.

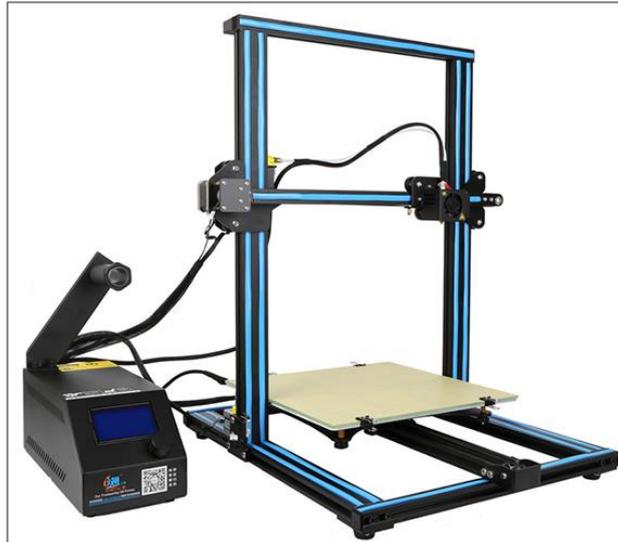


Figura 4-4. Impresora CR-10S

Fuente: (<https://all3dp.com/app/uploads/2017/12/cr-10s.jpg>)

4.1.4 Construcción de la carcasa del dispositivo

Con la de impresora descrita se va a imprimir los elementos que se especifican a continuación, posee una mejor precisión para los ajustes entre las carcasas, es necesario decidir adecuadamente la posición en la que se imprime para obtener un mejor acabado a las superficies roscadas.

- Carcasa inferior microturbina
- Carcasa superior microturbina
- Carcasa motor DC
- Tapa carcasa motor DC

En la Figura 5-4, se indica un ejemplo de la impresión del componente carcasa del motor DC, con una boquilla de 0.3 mm de diámetro a una velocidad de impresión de 80 mm/s y temperatura de 235°C. La plataforma tiene una temperatura de 80°C. El material utilizado es ABS, estas configuraciones serán las mismas para todos los componentes listados.

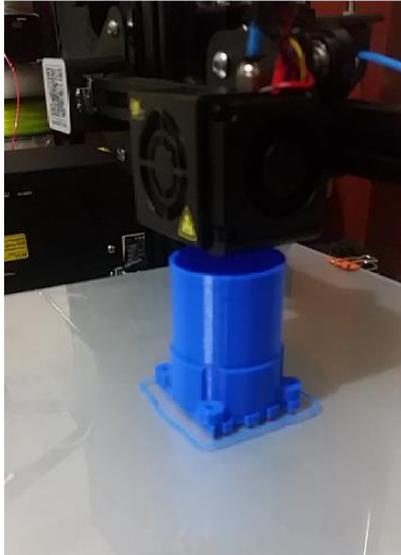


Figura 5-4. Impresión en proceso de la carcasa del motor

Realizado por: Autor

En las imágenes que se presentan en la siguiente tabla, se tienen los componentes totalmente construidos, de igual manera que con la otra impresora, está también genera soportes y residuos que se extraen cuidadosamente de las piezas para evitar causar daños en las mismas.

Tabla 3-4. Componentes construidos en la impresora CR-10S

Carcasa inferior microturbina	Carcasa superior microturbina	Carcasa motor DC	Tapa carcasa motor DC
			

Realizado por: Autor

Con todos los componentes que se han considerado implementar por impresión 3D fabricados, se procede a determinar los demás elementos constitutivos metálicos complementarios.

4.1.5 Construcción del eje fijo y buje de cobre

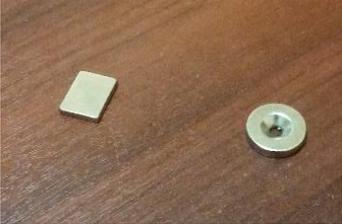
Para fabricar el eje fijo del dispositivo, en el capítulo anterior se describió las propiedades no magnéticas que ofrecen los aceros inoxidable austeníticos, con el fin de que el eje fijo no intervenga con la rotación normal del acople magnético que se va a instalar en la microturbina.

Seleccionado el tipo de material, se procede a comprar una barra de acero SAE 304 inoxidable de 1/8 de 50 cm de longitud. Este eje posee alrededor de 3,175 mm de diámetro, se requiere que el diámetro tenga una dimensión de 2,6mm. Para conseguir estas dimensiones se realiza un devastado del eje en una esmeriladora para quitar un poco de material excedente con mucho cuidado, posteriormente se rectifica con una lija número 1000 para conseguir un acabado adecuado. Esta operación no se puede maquinar en torno debido a que el diámetro es demasiado pequeño.

Así mismo, con el objetivo de minimizar el rozamiento en las piezas móviles, se colocan perfiles metálicos y de plástico revistiendo al eje fijo de la carcasa. El contacto metal-plástico facilita el deslizamiento y ofrece un movimiento más efectivo que reduce el esfuerzo entre las piezas.

De igual forma que en el caso de la construcción del eje, se compra una barra de latón, de diámetro 7mm, al que se le hace una perforación para el paso del eje. En la tabla 4-4 se muestra los componentes metálicos no magnéticos que servirán para el montaje de la microturbina sobre la carcasa, y el imán de neodimio que se va a utilizar para los acoples magnéticos.

Tabla 4-4. Componentes metálicos

Eje fijo	Bujes de latón	Imán de neodimio
		

Realizado por: Autor

4.1.6 Selección del motor DC como generador

Si un motor de corriente continua aprovecha la fuerza que se produce sobre un conductor, para poder girar, el generador de corriente continua por el *principio recíproco*, aprovecha el movimiento de giro del conductor para que sobre él (el conductor) se induzca una tensión. Para este efecto se ha considerado seleccionar un motor DC como se muestra en la figura para que cumpla la función de generador en el sistema que se plantea. (Ver Anexo)



Figura 6-4. Motor RF-500TB-12560

Realizado por: Autor

El movimiento rotatorio que va a tener el eje el generador es directamente proporcional al giro de la microturbina, esta a su vez va a girar en función del caudal, el cual no es constante, por lo que se puede predecir que el voltaje que se va a generar es de valor variable y puede dañar el módulo de control en el encendido del calefón (Figura 7-4), por lo que se requiere diseñar un circuito electrónico que permita controlar este voltaje generado y regular hasta que la salida sea muy cercano 1.5 V, que es el valor de voltaje que las pilas suministran.



Figura 7-4. Módulo de control calefón

Realizado por: Autor

4.1.7 Diseño de un circuito para regulación de voltaje

En reguladores como el de 5 V de la Figura 8.4(a), cuando un pico de corriente llega a la línea por cualquier motivo, habrá una caída de voltaje a lo largo de la línea y el voltaje de entrada al regulador también caerá. El regulador, al efectuar su labor principal, detectará esta caída en el voltaje de entrada e incrementará su nivel de amplificación mediante un lazo de retroalimentación para mantener una salida constante. Sin embargo, el pico tiene tan baja duración que el voltaje de salida presentará un pico propio debido a que el voltaje de entrada regresó rápidamente a su nivel normal, y con la mayor amplificación la salida saltará a un nivel más alto. Luego el regulador detectará su error y rápidamente cortará su ganancia. La sensibilidad a los cambios en el nivel de entrada habrá ocasionado que el nivel de salida atravesase por varias oscilaciones rápidas que pueden constituirse en un problema real para el equipo al cual se aplique el voltaje de cd: se habrá desarrollado una señal de ruido de alta frecuencia. Una forma de reducir esta reacción y, de hecho, retardar la respuesta del sistema de manera que picos de intervalos muy pequeños tengan menor impacto es añadir un capacitor en la salida como se muestra en la Figura 8.4 (b). (Boylestad, 2004 pág. 1079)

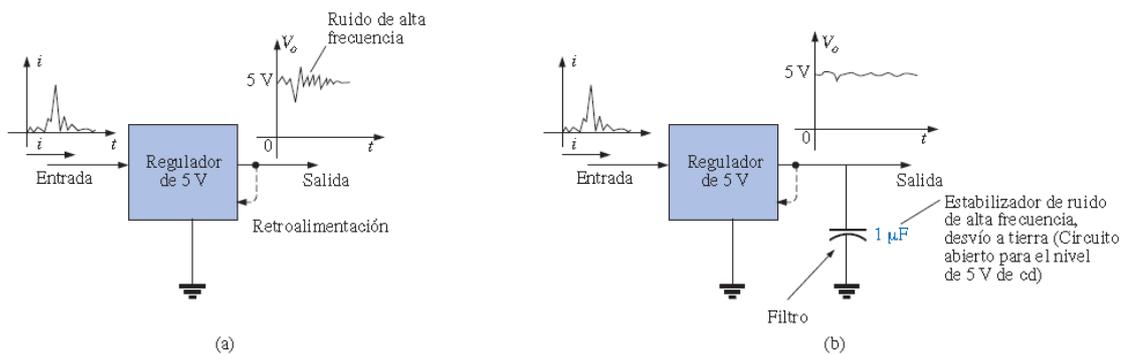


Figura 8-4. (a) Efecto de un pico de corriente en la entrada; (b) Reducción de ruido

Fuente: (Boylestad, 2004 pág. 1080)

El LM317 es un ejemplo de un regulador positivo de tres terminales con voltaje de salida ajustable. La configuración estándar se muestra en la Figura 9-4. Los capacitores son para desacoplamiento y no afectan la operación en corriente directa. Se puede observar que hay una entrada, una salida y una terminal de ajuste. El resistor fijo externo R1 y el resistor variable externo R2 ajustan el voltaje de salida. V_{out} puede ser variado desde 1.2 V hasta 37 V según los valores de los resistores. El LM317 proporciona más de 1.5 A de corriente de salida a una carga. (Floyd, 2008 pág. 864)

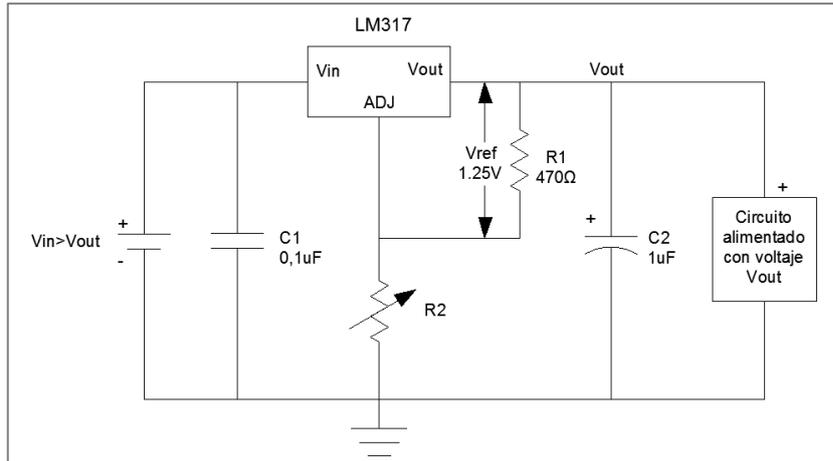


Figura 9-4. Diagrama eléctrico circuito regulador de voltaje

Fuente: (Floyd, 2008 pág. 865)

Como se indica en la figura 9-4, el regulador mantiene un voltaje de referencia de 1.25 V constante (V_{ref}) entre la terminal de salida y la terminal de ajuste, con lo que se obtiene la ecuación (22). Para obtener el voltaje deseado (1.5 V), a la resistencia variable R2, se la va a cambiar por una resistencia fija de 100Ω , sustituyendo valores se tiene.

$$V_{out} = 1.25V \left(1 + \frac{R2}{R1} \right) \quad (22)$$

$$V_{out} = 1.25V \left(1 + \frac{100\Omega}{470\Omega} \right) = 1.52V$$

Este circuito tiene la configuración que se presenta en la Figura 10-4, los elementos constitutivos están conectados y montados sobre una placa perforada de sección circular para instalar sobre el motor. Este posee 4 cables, dos de entrada y dos de salida. Los de entrada que están debajo de la placa (no visibles) van conectados directamente a los terminales del motor DC, respetando la polaridad. Los cables rojo y negro que si se visualizan van conectados a los terminales de la caja de pilas en el calefón.

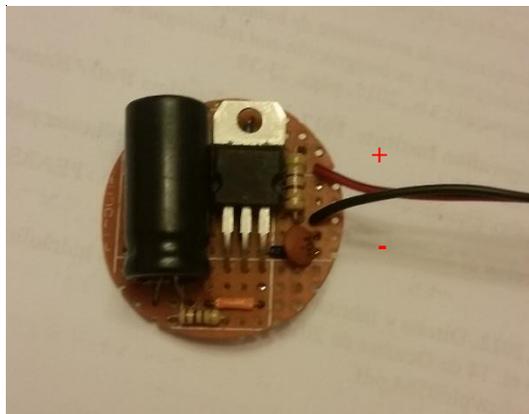


Figura 10-4. Circuito regulador de voltaje

Realizado por: Autor

4.2 Ensamblaje del dispositivo

Con los elementos validados y fabricados del dispositivo a implementar, se procede a la instalación con los pasos que se detallan en la Tabla 5-4.

Tabla 5-4. Descripción del montaje del dispositivo

<p>1.- Montar el eje que va fijo sobre la carcasa superior de la microturbina.</p>		<p>2.- Poner los tres bujes sobre el eje, con el buje plástico en la mitad de los bujes metálicos.</p>	
<p>3.- Cortar, introducir y fijar el imán de neodimio en la cavidad cilíndrica de la microturbina, con una separación de 120 grados.</p>		<p>4.- Instalar la microturbina dentro su carcasa superior y poner el o-ring que va entre las carcasas.</p>	
<p>5.- Juntar las dos partes de la carcasa de la microturbina</p>		<p>6.- Montar y fijar con tornillos el motor DC sobre la carcasa de este elemento.</p>	
<p>7.- Soldar los cables de entrada del circuito del regulador con los terminales del motor respetando la polaridad.</p>		<p>8.- Cortar e instalar el imán de neodimio dentro de las ranuras del porta-imán de manera que todos los polos magnéticos estén hacia fuera o hacia adentro.</p>	
<p>9.- Insertar el porta-imán en la carcasa introduciendo el eje móvil del motor dentro del en simultáneo</p>		<p>10.- Acoplar la carcasa del motor con el ensamble del paso 5 y fijar con tornillos M3x0.5x35 y tuerca M3x0.5, finalmente poner la tapa.</p>	

Realizado por: Autor

4.2.1 Comprobación del funcionamiento y resultados

Con el ensamble de todos los componentes, se procede con la instalación del dispositivo sobre la red que suministra a la ducha con agua caliente, en serie con el caudalímetro como se observa en la Figura 11-4, para comprobar su funcionamiento.

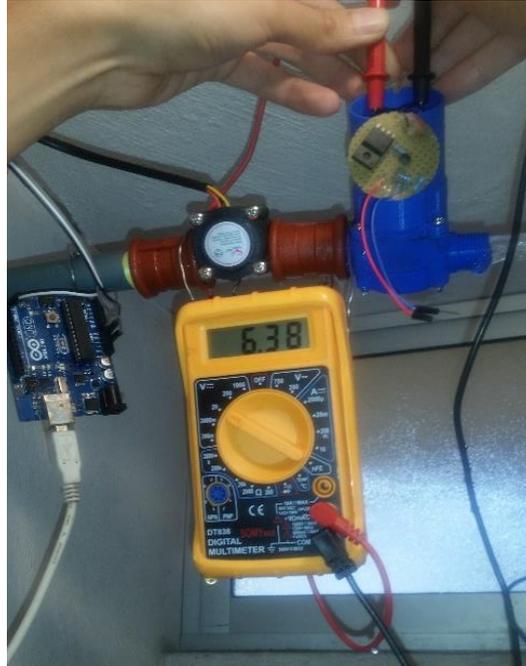


Figura 11-4. Dispositivo instalado en la ducha

Realizado por: Autor

Para verificar que efectivamente se está generando un voltaje, también se conecta un multímetro en paralelo directamente a los terminales de salida del motor DC y se empieza a dejar fluir líquido abriendo la llave lentamente para obtener los datos descritos en la tabla a continuación.

Tabla 6-4. Datos de voltaje en función de caudal al abrir llave

Caudal (LPM)	Voltaje(V)
4,099	4,2
4,427	5,01
4,919	6,97
5,575	8,8
6,067	9,7
6,886	11,98
7,542	13,38
7,870	14,65
8,198	15,61
8,526	16,1
8,854	16,668
9,346	17,6

Realizado por: Autor

En la Figura 12-4 se observa la curva que se genera con los datos obtenidos de la instalación en serie del caudalímetro con el dispositivo, al abrir la llave alcanzando un valor máximo de voltaje de 17,6V. pero requiere un caudal mínimo de 4,099 litros por minuto para empezar a generar 4,2V.

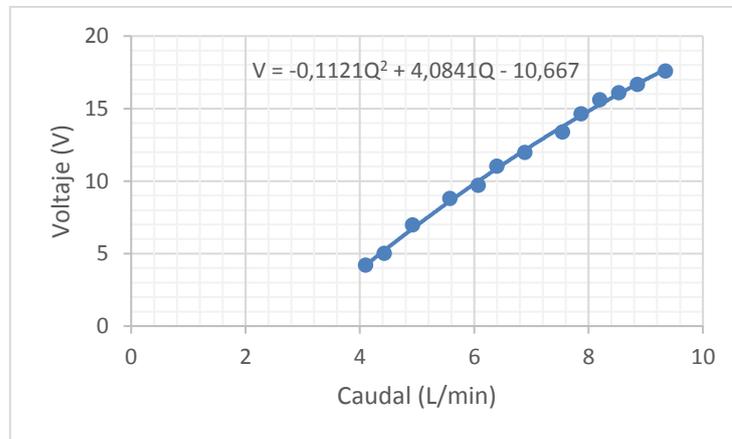


Figura 12-4. Curva Voltaje-Caudal al abrir la llave de agua

Realizado por: Autor

Al igual que en el caso anterior, se realiza una toma de datos con la particularidad de que ahora se empieza con un flujo de agua máximo y al cerrando la llave de a poco se obtienen los siguientes datos.

Tabla 7-4. Datos de voltaje en función de caudal al cerrar llave

Caudal (LPM)	Voltaje(V)
9,346	17,64
9,018	17,03
8,198	15,84
7,050	13,48
6,231	11,48
5,411	8,84
5,083	8,63
4,755	7,35
4,427	6,68
4,263	5,68
3,935	4,44
3,711	4,2
3,443	0

Realizado por: Autor

Con la tabla descrita se presenta la Figura 13-4, en la que para un caudal más bajo (3,711 LPM) que el mínimo que se generó al abrir la llave (4,099 LPM), ya se genera un voltaje. Al abrir la llave se requiere más caudal para vencer a la inercia en estado de reposo de la microturbina y esto

se esperaba debido a que cuando se suministra el caudal máximo a la entrada, este hace que la microturbina tenga un impulso haciendo que pase del estado de reposo al estado permanente de una manera más sencilla y rápida gracias a la energía suministrada más elevada a un caudal más alto.

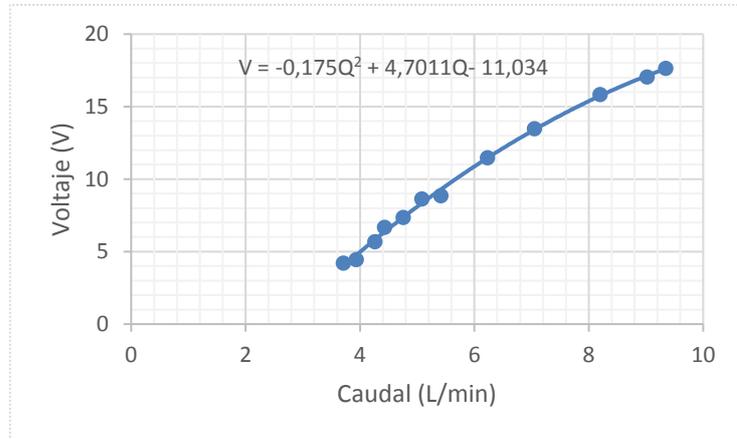


Figura 13-4. Curva Voltaje-Caudal al cerrar la llave de agua

Realizado por: Autor

Para verificar que el circuito regulador de voltaje realice la función para el cual fue diseñado de una forma correcta, se conecta el multímetro en paralelo a los terminales a la salida del dispositivo como se muestra en la figura, obteniendo valores cercanos al rango requerido que es 1.5V.

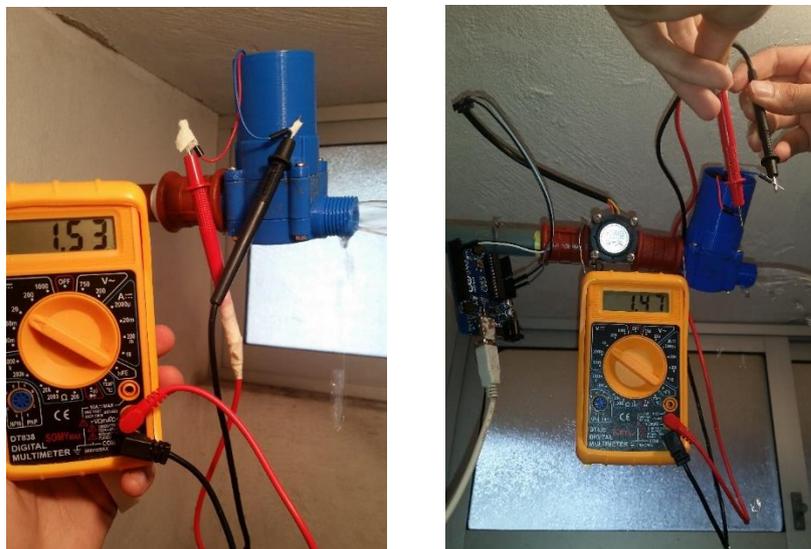


Figura 14-4. Prueba del circuito regulador de voltaje en el dispositivo

Realizado por: Autor

Para determinar la potencia, es necesario conocer la carga del módulo de control del calefón, que en este caso es de 100mA y conocido el voltaje que se está generando, se puede derivar los datos de la siguiente tabla y la curva de potencia en función de caudal.

Tabla 8-4. Potencia en función de caudal

Caudal (L/min)	Potencia (W)
4,099	0,42
4,427	0,501
4,919	0,697
5,575	0,88
6,067	0,97
6,394	1,103
6,886	1,198
7,542	1,338
7,87	1,465
8,198	1,561
8,526	1,61
8,854	1,6668
9,346	1,76

Realizado por: Autor

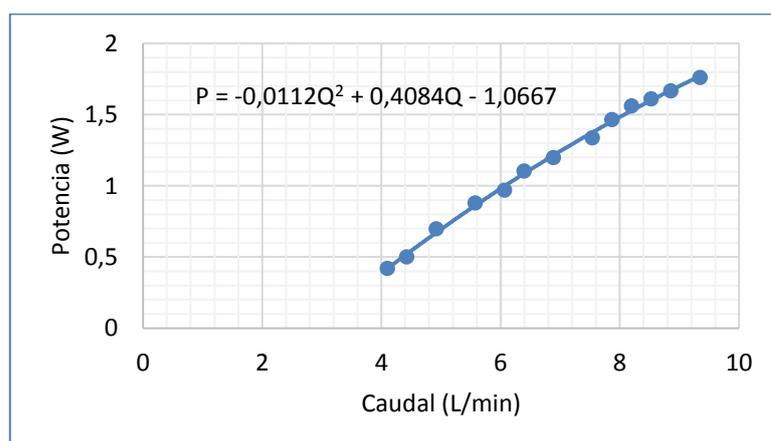


Figura 15-4. Curva Potencia-Caudal

Realizado por: Autor

4.3 Cálculo de la relación Beneficio Coste (B/C)

La relación Beneficio-Coste (B/C) compara de forma directa los beneficios y los costes. Para conseguir esta relación, se debe hallar la suma de los beneficios y se divide sobre la suma de los costes totales. Bajo este enfoque, se debe tener en cuenta la comparación de la relación B/C encontrada en comparación con 1, para una determinar la viabilidad de un proyecto:

$B/C > 1$, por consiguiente, el proyecto debe ser considerado.

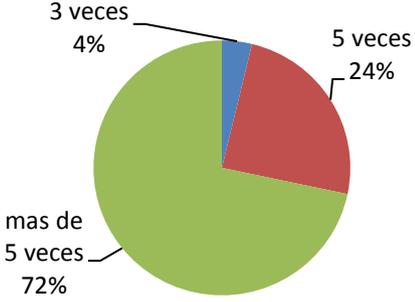
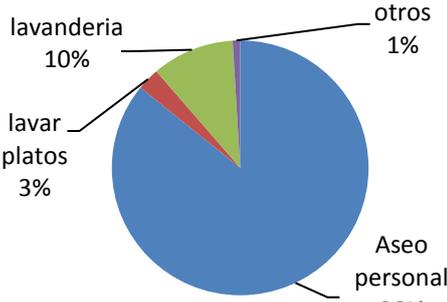
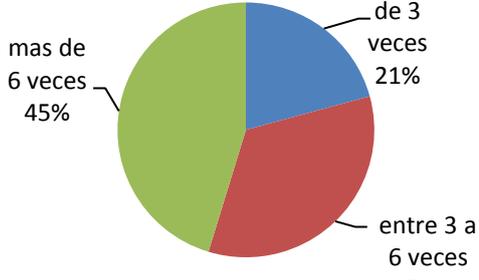
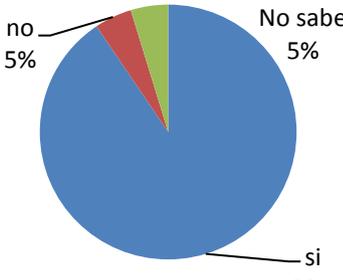
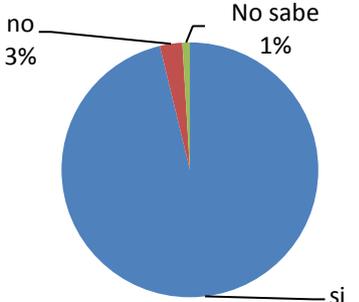
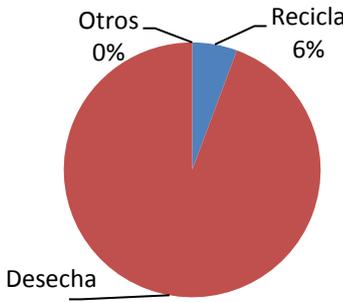
$B/C=1$ Aquí no hay ganancias, pues los beneficios son iguales a los costes.

$B/C < 1$, muestra que los costes son mayores que los beneficios, no se debe considerar.

4.3.1 Determinación de los valores de beneficio del proyecto

Para ello, hay que determinar la cantidad de pilas que se usan en el año para la ignición electrónica del calefón, lo cual se ha estimado con la encuesta realizada por el autor en el Cantón Riobamba, en 2017 a 50 personas que poseen calefones a gas en sus domicilios, que se adjunta en los anexos.

Tabla 9-4. Resultados de la encuesta

<p>1.- ¿Con que frecuencia utiliza la ducha en la semana un miembro de la familia?</p>	<p>2.- ¿En qué actividades requiere utilizar agua caliente?</p>																		
 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Frecuencia</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3 veces</td> <td>4%</td> </tr> <tr> <td>5 veces</td> <td>24%</td> </tr> <tr> <td>mas de 5 veces</td> <td>72%</td> </tr> </tbody> </table>	Frecuencia	Porcentaje	3 veces	4%	5 veces	24%	mas de 5 veces	72%	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Actividad</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>lavanderia</td> <td>10%</td> </tr> <tr> <td>lavar platos</td> <td>3%</td> </tr> <tr> <td>Aseo personal</td> <td>86%</td> </tr> <tr> <td>otros</td> <td>1%</td> </tr> </tbody> </table>	Actividad	Porcentaje	lavanderia	10%	lavar platos	3%	Aseo personal	86%	otros	1%
Frecuencia	Porcentaje																		
3 veces	4%																		
5 veces	24%																		
mas de 5 veces	72%																		
Actividad	Porcentaje																		
lavanderia	10%																		
lavar platos	3%																		
Aseo personal	86%																		
otros	1%																		
<p>3.- ¿Cuántas veces cambia la batería de su calefón en un semestre?</p>	<p>4.- ¿Cree que le resulta molesto y costoso la sustitución de baterías del calefón?</p>																		
 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Frecuencia</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>mas de 6 veces</td> <td>45%</td> </tr> <tr> <td>menos de 3 veces</td> <td>21%</td> </tr> <tr> <td>entre 3 a 6 veces</td> <td>34%</td> </tr> </tbody> </table>	Frecuencia	Porcentaje	mas de 6 veces	45%	menos de 3 veces	21%	entre 3 a 6 veces	34%	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Respuesta</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>si</td> <td>90%</td> </tr> <tr> <td>no</td> <td>5%</td> </tr> <tr> <td>No sabe</td> <td>5%</td> </tr> </tbody> </table>	Respuesta	Porcentaje	si	90%	no	5%	No sabe	5%		
Frecuencia	Porcentaje																		
mas de 6 veces	45%																		
menos de 3 veces	21%																		
entre 3 a 6 veces	34%																		
Respuesta	Porcentaje																		
si	90%																		
no	5%																		
No sabe	5%																		
<p>5.- ¿Estaría dispuesto a realizar la implementación de un sistema alternativo en el encendido del calefón en su domicilio?</p>	<p>6.- ¿Qué destino les da a las pilas que ya terminaron su vida útil?</p>																		
 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Respuesta</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>si</td> <td>96%</td> </tr> <tr> <td>No sabe</td> <td>1%</td> </tr> <tr> <td>no</td> <td>3%</td> </tr> </tbody> </table>	Respuesta	Porcentaje	si	96%	No sabe	1%	no	3%	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Destino</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Desecha</td> <td>94%</td> </tr> <tr> <td>Recicla</td> <td>6%</td> </tr> <tr> <td>Otros</td> <td>0%</td> </tr> </tbody> </table>	Destino	Porcentaje	Desecha	94%	Recicla	6%	Otros	0%		
Respuesta	Porcentaje																		
si	96%																		
No sabe	1%																		
no	3%																		
Destino	Porcentaje																		
Desecha	94%																		
Recicla	6%																		
Otros	0%																		

Realizado por: Autor

Con los resultados de la pregunta 3, se puede determinar un valor aproximado de uso de pilas en un año (6 a 8 pilas) para el sistema de encendido de los calefones a gas. Se debe tomar en cuenta que en la encuesta no se determina el tipo de pila, por lo que para este análisis se va a determinar el uso de pilas alcalinas de mayor duración, determinando así el uso de 6 pilas al año, con un costo unitario de 2,80. Así mismo hay que determinar el tiempo de vida útil del dispositivo, para este caso, debido a que el material es plástico ABS, y debido al acople magnético que no requiere mantenimiento, se determina que el dispositivo trabajará por 4 años. Con estas consideraciones se obtiene el costo de beneficio descrito a continuación:

Tabla 10-4. Costo total en pilas

Descripción del producto	Valor unitario	Pilas al año	Años uso dispositivo	cantidad de pilas	Costo total en pilas
Pila alcalina	2,8	6	4	24	67,2

Realizado por: Autor

4.3.2 Determinación de los valores de costos del proyecto

Para obtener el valor del costo total del proyecto a utilizar para la relación B/C, se van a desglosar los valores de los costos en las tablas que se describen en esta sección.

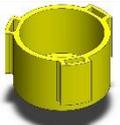
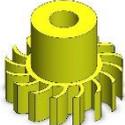
Tabla 11-4. Costos de materiales para el regulador del voltaje

Cantidad	Descripción del producto	Valor unitario	Precio total
2	Resistencias: 470Ω,100Ω	0,1	0,2
1	Capacitor 104 (0,1μF)	0,1	0,1
1	Capacitor (1μF)	0,1	0,1
1	Regulador LM317	1,2	1,2
1	Placa perforada 7x5cm	0,6	0,6
1	Metro de cable de audio #24	0,7	0,7
Total			2,9 USD

Realizado por: Autor

Con un costo de 2,80 dólares por cada hora de impresión (alrededor de 12,11horas) y de 0,06 centavos por cada gramo de peso de los componentes, se obtiene un costo en dólares de 33,93 y 5,57 respectivamente, con un total de **39,50** dólares para la impresión. El tiempo y peso se detalla en la tabla que se presenta a continuación.

Tabla 12-4. Costos de impresión para prototipo para microgeneración

Componente	Imagen	Peso[g]	Tiempo de impresión [min]
Acople plástico		0,31	9
Carcasa del motor		30,55	219
Carcasa inferior de la turbina		19,13	148
Carcasa superior de la turbina		27,23	212
Tapa		4,06	32
Porta Imán acople motor		5,43	48
Turbina		6,15	59
Sumatoria		92,86	727
Costo por peso		Costo por tiempo	
0,06 USD		2,80 USD	
Costo total por peso		Costo total por tiempo	
5,57 USD		33,93 USD	
Total		39,50 USD	

Realizado por: Autor

En Tabla 12-4 se listan el costo de los materiales utilizados en el eje y los bujes, y el costo de preparación de estos componentes, para obtener las medidas requeridas.

Tabla 13 -4. Costos de materiales para componentes metálicos

Cantidad	Descripción del producto	Valor unitario	Precio total
1	Motor DC de 24V	4	4
2	Imán de neodimio	1,20	2,40
1	50 cm SAE 304 1/8 inoxidable	0,50	0,50
1	50cm Barra de latón 6mm diámetro	0,50	0,50
1	Cortes, perforación y lijado de los componentes metálicos	2,00	2,00
Total			9,40 USD

Realizado por: Autor

Al sumar los valores totales parciales descritos en tres tablas anteriores, se determina un valor de costo de implementación del dispositivo de **51,79** dólares. Este valor es elevado con relación a la inversión en pilas, pero se podrían reducir costos produciendo en serie.

La relación Beneficio-Costo es:

$$B/C = \frac{67,2 \text{ USD}}{51,79 \text{ USD}}$$

$$B/C = 1,29$$

Se demuestra que $B/C > 1$, por lo tanto, el proyecto debe ser considerado.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Con la propuesta planteada, se desarrolló e implementó un dispositivo para la generación de chispa que se requiere en el encendido de un calefón a gas para sustituir el uso de pilas, basado en el principio de la microgeneración hidráulica, utilizando el flujo de agua fría que se suministra al calefón

El desarrollo del proyecto implica la investigación y análisis de información de fuentes relevantes, en este caso la bibliografía citada permitió comprender el proceso de encendido de los calentadores instantáneos a gas, así como los principios de generación hidráulica a pequeña escala, desarrollando criterios importantes para la selección de una microturbina hidráulica para la aplicación requerida.

Para diseñar el sistema planteado, se tomó como referencia el principio de funcionamiento de las bombas centrifugas de acople magnético, en la que se suministra energía eléctrica a un motor que hace rotar al rodete de la bomba, haciendo analogía de este principio de manera inversa, se seleccionó una turbina de acción de tipo Pelton, con la adaptación de la geometría de los álabes de la turbina tipo Mitchell Banki, debido a la simplicidad de diseño para que sea el componente que transmita la rotación al eje del generador.

Se realizó el modelado preliminar en 3D de todos los componentes en SolidWorks, para posteriormente validar por medio de método de elementos finitos en el software ANSYS, con un análisis sobre la microturbina se obtuvo un coeficiente de seguridad de 4.05 y sobre la carcasa con una presión máxima de 500Kpa, se obtuvo un coeficiente de seguridad de 1.30. Demostrando que el diseño preliminar es aceptable.

El análisis en ANSYS no deja de ser un método aproximado de cálculo, que proporciona la solución exacta únicamente en determinados puntos discretos (nodos), por lo tanto, los prototipos siguen siendo necesarios, pero en menor número, ya que el primero que realicemos (en base a la aplicación del MEF) puede acercarse bastante más al diseño óptimo.

Se construyó el dispositivo hidrogenerador por medio de impresión 3D, con las dimensiones establecidas y validadas en ANSYS del modelado preliminar, para la microturbina, porta-imán, buje y toda la carcasa se utilizó ABS, debido a que presenta las buenas propiedades mecánicas, puede estar en contacto directo con el agua sin presentar ningún quebrantamiento. El eje fijo y los otros bujes metálicos, se maquinaron en acero inoxidable y en latón respectivamente, ya que ambos poseen propiedades no magnéticas para que no interfieran con el funcionamiento del acople magnético.

Se instaló el dispositivo en serie con un sensor de flujo sobre la tubería de agua de ½ pulgada, para obtener valores de voltaje en función de caudal, en donde con un caudal mínimo de 4.09l/min, se obtienen 4.2V, por lo que se diseñó también un circuito regulador de voltaje para rectificar el voltaje inducido y regular a 1.5V necesarios en el módulo de control para generar la chispa sobre la bujía de encendido dispuesto en el interior del calefón.

Al realizar el análisis de Beneficio-Costo del sistema desarrollado con respecto al uso típico de pilas, se obtiene un valor de 1.29 por lo tanto, el proyecto debe ser considerado.

5.2 Recomendaciones

Para realizar la instalación adecuada, utilizar teflón y permatex en los accesorios para evitar fugas entre los acoples y el dispositivo que se está implementando.

Se sugiere realizar un rediseño en el dispositivo en el caso que se quiera obtener voltajes a un menor flujo de agua o voltajes más elevados para alguna aplicación específica.

Con el fin de minimizar costos y los tiempos de fabricación del dispositivo, se recomienda crear un molde para producir en serie y con otras alternativas en el material, ya que el modelado por deposición fundida es más costoso.

Se debe incentivar a los proyectos con este tipo de enfoque amigable con el ambiente, que no es grande, pero si significativo con el tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

© **BOSCH TERMOTECNOLOGÍA.** Junkers. [En línea] [Citado el: 8 de Mayo de 2017.] <https://www.junkers.cl/my-service/advice/advice/expert.html>.

AGILA SUÁREZ, Gabriel Andrés. *Simulación de un sistema de bomba de calor para el calentamiento de agua en aplicaciones domésticas y su integración con tecnologías de almacenamiento de energía térmica.* Guayaquil : s.n., 2015. págs. 23-39.

AIR CONDITIONING, HEATING, AND REFRIGERATION INSTITUTE. AHRI. *Tankless Water Heater.* [En línea] 2017. [Citado el: 1 de Junio de 2017.] http://www.ahrinet.org/App_Content/ahri/files/Homeowners/tankless%20water%20heater.pdf.

BOYLESTAD, Robert L. *Introducción al análisis de circuitos.* Décima. México : PEARSON EDUCACIÓN, 2004. pág. 1248.

CATACORA, Edgar y VALERO, Cesar. Diseño y fabricación de micro turbinas hidráulicas. [En línea] 12 de Enero de 2012. [Citado el: 14 de Octubre de 2017.] https://guzlop-editoras.com/web_des/ener01/hidraulica/pld0564.pdf.

CONSTRUMÁTICA. Megaportal de Arquitectura, Ingeniería y Construcción. [En línea] 2017. [Citado el: 18 de Agosto de 2017.] http://www.construmatica.com/construpedia/Calentador_de_Agua.

CRIOLLO , Adrián y POGO, Álvaro. *Diseño de un sistema dual de calentamiento de agua, por medio de energía solar y GLP Y diseño estructural de la cubierta para la piscina de la hostería Los Juanes en el cantón Santa Isabel.* Cuenca : s.n., 2011. págs. 17-22.

EERSA. Empresa Electrica Riobamba. [En línea] 2010. <http://www.eersa.com.ec/>.

ENERGY SAVER. [En línea] 2017. [Citado el: 17 de Julio de 2017.] <https://energy.gov/energysaver/microhydropower-systems>.

ENERGYSTAR. EnergyStar. [En línea] 2017. https://www.energystar.gov/ia/new_homes/features/WaterHtrs_062906.pdf.

FERRADA SEPÚLVEDA, Lorena Andrea. *Diseño de rodete de turbina hidráulica tipo Pelton para microgeneración.* Santiago de Chile : s.n., 2012.

FLOYD, Thomas L. *Dispositivos electrónicos.* México : Pearson Educación, 2008.

GIUSEPPE , Mirlisenna. Estructural, Tecnología de Simulación. [En línea] 22 de Enero de 2016. [Citado el: 7 de Mayo de 2018.] <https://www.esss.co/blog/es/metodo-de-los-elementos-finitos-que-es/>.

GÓMEZ, Sergio. Diferencia entre calentador Tiro Forzado y Tiro Natural. 2013.

GREENWOOD MAGNETICS. Stainless steel. [En línea] 2018. [Citado el: 1 de Marzo de 2018.] <https://greenwoodmagnetics.com/es/resource/what-is-the-difference-between-304-and-316-stainless-steel/>.

H2O TEK. H2O TEK, S.A. [En línea] 2017. [Citado el: 17 de Julio de 2017.] <http://www.boiler.mx/calentadores-de-paso-electricos.htm>.

- INEC.** Ecuador en cifras. [En línea] 2010. <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>.
- IWAKI.** *Guía Básica Bombas centrífugas de acople magnético.* Holliston : s.n., 2017.
- MANUAL OLADE.** *Manual de diseño de turbinas Michell Banki.* Vol. I.
- MATAIX, Claudio.** *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas.* Segunda. Madrid : s.n., 1986. págs. 460-500.
- MICROGENERATION.** Microgeneration. [En línea] 2017. [Citado el: 14 de Julio de 2017.] <http://www.microgeneration.com/professional-zone/Climate-Change/What-is-microgeneration>.
- OLADE.** Apuntes para un manual técnico de diseño, estandarización y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas. Turbinas Pelton : s.n., 1988. Vol. 2.
- ORTEGA, Augustín Rico.** *Agua Caliente Sanitaria I.* 1998. págs. 38-47.
- PEÑAFIEL, Juan y SILVA, César.** *Análisis, diseño e implementación de un sistema de energía auxiliar automatizado para colectores solares y calefones en el uso racional y eficiente de energía.* Riobamba : s.n., 2012. págs. 63-85.
- PRÓSPERI, Susana B., y otros.** Impacto ambiental producido por pilas en desuso. [En línea] [Citado el: 17 de Julio de 2017.] <http://www.bvsde.paho.org/bvsare/e/proypilas/impact.pdf>.
- ROMERO CARRILLO, Pablo E.** *Diseño mecánico 3D en ciclos formativos.* 2010. 1989-4023.
- SALDARRIAGA, Juan.** *Hidráulica de tuberías.* Santafé de Bogotá : s.n., 2001. 958-600-831-2.
- SAN JOSÉ GARCÍA, Ricardo.** *Ventilación y Evacuación de Humos en Viviendas con Calderas Individuales a Gas.* 2006. págs. 13-23.
- SANCHIS, Julio.** Calderas industriales. [En línea] 24 de Febrero de 2016. [Citado el: 2017 de Junio de 28.] <http://calderasformacion.com/ionizacion-de-la-llama-en-las-calderas/>.
- SMITH, William y HASHEMI, Javad.** *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales.* Cuarta. México, D.F. : MCGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES,, 2006.
- SWAK—TM SWAGELOK COMPANY.** Roscas y conexiones finales-Guia de identificación. [En línea] Mayo de 2014. [Citado el: 19 de Diciembre de 2017.] <https://www.swagelok.com/downloads/WebCatalogs/es/MS-13-77.PDF>.
- TORRES, Edgar, LEÓN, Jersson y TORRES, Edwin.** *Sistema de posicionamiento aplicado a la técnica de impresión 3D modelado por deposición fundida.* 2012. 2027-8306.
- VILLALTA, Leonardo y BUÑAY, Sergio.** *Evaluación energética-económica en el uso de calentadores de agua en el cantón paute.* Cuenca : s.n., 2016. págs. 44-66.
- ZAMORA, Blas y VIEDMA, Robles.** *Máquinas Hidráulicas Teoría y problemas.* Primera. Cartagena : ediciones@upct.es, 2016. págs. 65-77.