



TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO

Impresión en 3D de una turbina para generación de energía por el método de vórtice gravitacional

AUTORES

Juan David Gutiérrez Jiménez, 13.570.397
Jaime Silva Martínez, 1.096.243.128
Leidy Dayana Vergara Trespalacio, 1.096.244.496

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIAS
TECNOLOGIA EN ELECTRONICA INDUSTRIAL
BARRANCABERMEJA
FECHA DE PRESENTACIÓN: 12-10-2019**



TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO

Impresión en 3D de una turbina para generación de energía por el método de vórtice gravitacional

AUTORES

Juan David Gutiérrez Jiménez, 13.570.397
Jaime Silva Martínez, 1.096.243.128
Leidy Dayana Vergara Trespalacio, 1.096.244.496

Trabajo de Grado para optar al título de
Tecnólogos en electrónica industrial

DIRECTOR

Luis Omar Sarmiento Álvarez

GRUPO DE INVESTIGACIÓN – DIANOIA

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIAS
TECNOLOGIA EN ELECTRONICA INDUSTRIAL
BARRANCABERMEJA
FECHA DE PRESENTACIÓN: 12-10-2019**

Nota de Aceptación

Firma del jurado

Firma del Jurado

DEDICATORIA

Este logro se lo queremos dedicar primeramente a Dios, ya que nos dio la vida y la salud para asistir a todas las clases con nuestros docentes compartiendo alegrías y enseñanzas, queremos resaltar el esfuerzo de nuestros padres tanto la parte económica como emocional quienes han sido nuestro pilar, espejo y valor para salir adelante a cada uno de nosotros que con nuestro empeño fue posible la realización de este proyecto, resaltando así lo aprendido en este hogar que llamamos UNIDADES TECNOLOGICAS DE SANTANDER.

AGRADECIMIENTOS

Es una alegría agradecerle a Dios por permitirnos llegar hasta este punto, a nuestros padres por su apoyo y por siempre creer en nosotros.

Agradecerle al ingeniero Luis Omar sarmiento por su compromiso y sus enseñanzas.

Agradecemos a la universidad por permitirnos hacer parte de su plantel educativo, ya que gracias a la enseñanza y profesionalismo de nuestros profesores hoy podremos ser unos profesionales y podremos contribuir al desarrollo de nuestro país.

TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
RESUMEN EJECUTIVO.....	9
INTRODUCCIÓN.....	12
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	13
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
2. JUSTIFICACIÓN.....	14
3. OBJETIVOS.....	15
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	15
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES.....	15
4.1 ANTECEDENTES NACIONAL.....	15
4.2 ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	17
5. MARCOS REFERENCIAL.....	18
5.1 MARCO TEORICO.....	18
5.1.1. DISEÑO DE TURBINA.....	18
5.1.2 COSTES Y TIEMPOS DE IMPRESIÓN 3D.....	18
5.1.3 TIEMPOS DE IMPRESIÓN.....	18
5.2 MARCO HISTORICO.....	19
5.2.1 HISTORIA DE LA IMPRESIÓN 3D.....	19
5.2.2 VÓRTICE PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	21
5.3 MARCO LEGAL.....	23
5.3.1 LEYES, DECRETOS Y RESOLUCIONES.....	23
5.4 MARCO CONCEPTUAL.....	25
5.4.1 IMPRESIÓN, FILAMENTO Y TIPOS DE IMPRESORA 3D.....	25
5.4.2 TURBINA Y VÓRTICE.....	33
5.5 MARCO AMBIENTAL.....	39

6. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO.....	40
6.1 SELECCIÓN Y ARMADO IMPRESORA.....	40
6.1.1 ARMADO Y PUESTA EN MARCHA DE IMPRESORA 3D.....	43
6.2 DISEÑO DE TURBINAS.....	49
6.3 BANCO DE PRUEBA GITEDI.....	51
6.3.1 COMPONENTES DEL BANCO DE PRUEBAS.....	51
6.4 PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	61
7. ANALISIS DE RESULTADOS.....	64
8. RESULTADOS.....	71
9. CONCLUSIONES.....	75
10. RECOMENDACIONES.....	76
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
12. ANEXOS.....	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vista panorámica planta de generación mediante vortex en funcionamiento...	19
Figura 2. Vista panorámica de una turbina zotlöterer en funcionamiento.....	22
Figura 3. Impresora 3D tipo cartesiana.....	24
Figura 4. Impresora 3D tipo Delta.....	25
Figura 5. Sistema de impresión 3D.....	25
Figura 6. Proceso de Modelado por deposición fundida (FDM.....	28
Figura 7. Proceso de Sinterizado selectivo por láser (SLS).....	28
Figura 8. Proceso de Estereolitografía (SLA).....	29
Figura 9. Filamento plástico PLA.....	30
Figura 10. Pieza impresa en ABS.....	31
Figura 11. Turbina impresa en 3D.....	32
Figura 12. Ejemplo de la formación de un vórtice forzado.....	33
Figura 13. Ejemplos de vórtices libres.....	34
Figura 15. Diagrama de velocidades en un vórtice cilíndrico.....	35
Figura 16. Funcionamiento Generador Vortex.....	36
Figura 17. Vista panorámica de una turbina de cuatro alabes en operación.....	37
Figura 18. Impresora tipo 'plug and play" ultimaker 3.....	40
Figura 19. Kit impresora tipo RePrap Flyingbear.....	40
Figura 20. Contenido Kit impresora 3D (1).....	43
Figura 21. Contenido Kit impresora 3D (2).....	43
Figura 22. Contenido Kit impresora 3D (3).....	43
Figura 23. Acople de estructura.....	44
Figura 24. Estructura armada.....	44
Figura 25. Eje Z (1).....	44
Figura 26. Doble eje Z acoplado.....	44
Figura 27. Carriles movimientos ejes X y Y.....	45
Figura 28. Eje X.....	45
Figura 29. Eje Y.....	45
Figura 30. Esquema Electrónico.....	46
Figura 31. Cubo de calibración	47
Figura 32. Prueba experimental 1.....	48
Figura 33. Prueba 3.....	49
Figura 34. Prueba cubo.....	50
Figura 35. Prueba vaso.....	50
Figura 36: Prueba versatilidad.....	51
Figura 37. Turbina piloto en 3D.....	52
Figura 38. Turbina piloto impresa.....	52
Figura 39. Turbina 1 Gcode.....	53
Figura 40. Turbina 1 impresa.....	54
Figura 41. Turbina 2 Gcode.....	55
Figura 42. Turbina 3 Gcode.....	55

Figura 43. Turbina imprimiéndose.....	56
Figura 44. Silla y Arco en Madera.....	57
Figura 45. Bomba de Agua de ½ hp.....	57
Figura 46. Vórtice de Bomba.....	58
Figura 47. Anclaje turbina 1.....	58
Figura 48. Turbina 3.....	58
Figura 49. Resultado 1.....	59
Figura 50. Banco de pruebas perteneciente al semillero GITEDI.....	60
Figura 51: amperímetro y voltímetro instalado en el banco de prueba.....	61
Figura 52. Circuito de Medición Digital.....	61
Figura 53. Voltímetro digital.....	62
Figura 54. Modulo Elevador de Voltaje.....	62
Figura 55. Váquela Electrónica.....	63
Figura 56. Embudo Metálico.....	63
Figura 57. Bomba Centrifuga.....	64
Figura 58. Bomba Electrica Millan 1.7 hp.....	68
Figura 59. Bomba centrifuga.....	69
Figura 60. Bomba y tubería.....	69
Figura 61. Motor Generador.....	70
Figura 62. Tablero Banco de pruebas.....	71
Figura 63. Empalme Motor generador al tablero.....	71
Figura 64. Llenado del depósito.....	71
Figura 65. Canaleta Metálica.....	71
Figura 66. Turbina No 3.....	72
Figura 67. Anclado.....	73
Figura 68 organización de cables en canaleta blanca.....	73
Figura 69. Dispositivo electrico encendido Bomba Centrifuga.....	74
Figura 70. Parte inferior del embudo metalico.....	74
Figura 71. Alimentacion Vortice por Presion y Caida libre.....	74
Figura 72. Movimiento circular de la turbina.....	75
Figura 73. Dispositivos Análogos con valores.....	75
Figura 74. Led encendido y valor Digital.....	76
Figura 75. Valores de los Dispositivos Análogos (Amperímetro y Voltímetro).....	76
Figura 76. Boton encendido dispositivo Panel digital.....	77
Figura 77. Encendido Led Amarillo Panel Digital.....	77
Figura 78. Visualización de voltaje inicial.....	78
Figura 79. Voltaje despues del modulo elevador.....	78
Figura 80. Dispositivo USB en Váquela del Tablero Digital.....	79
Figura 81. Dispositivo Móvil conectado por USB Cargando.....	79

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Métodos de la impresión 3D.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 2. Ventajas y desventajas de la impresión 3D.....	31
Tabla 3. Comparativa de impresoras 3D.....	43
Tabla 4 Consumo de potencia Modelo JSW1.....	57
Tabla 5. Consumo en Amperios.....	57
Tabla 6. Ficha técnica de la Bomba Centrífuga.....	58
Tabla 7. Bomba Centrífuga JSW1.....	59

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto se enfoca en el diseño y construcción de turbinas impresas en 3D y la modificación de un banco de pruebas para verificar la funcionalidad y desempeño de las turbinas construidas.

Se utilizará la tecnología de impresión 3D, el cual es un método de fabricación que usa procesos aditivos, donde un objeto tridimensional es creado mediante la superposición de capas sucesivas de material, y que gracias a su flexibilidad y prototipado rápido permite reducir considerablemente los costos de producción, puesto que se pueden realizar todo tipo de piezas en corto tiempo.

Además, se empleará un banco de pruebas de generación de energía perteneciente al semillero de investigación GITEDI, de tal manera que permita implementar un prototipo para la generación de energía eléctrica mediante vórtice gravitacional. El prototipo consiste en un sistema que genera energía utilizando un flujo constante de agua, el cual ingresa en línea recta y a una velocidad constante en un tanque del almacenamiento al que se le ha incorporado una turbina; la caída del agua hace girar la turbina formando un remolino, en su parte más estrecha es donde se acumula la fuerza del movimiento y esta fuerza genera electricidad.

Finalmente, se realizará un análisis teórico-práctico sobre la generación energética de vórtice gravitacional y así, conocer todos los detalles de su funcionamiento, ventajas y desventajas para verificar su viabilidad y factibilidad.

PALABRAS CLAVE. Generación de energía eléctrica, Impresión 3D, Energía Hidroeléctrica, Turbina, Vórtice Gravitacional.

INTRODUCCIÓN

El ser humano tiene como factor expandir la población eso se debe a su adaptación en el entorno que lo rodea, esa expansión acelerada genera un incremento en la demanda de energía para suprimir las necesidades primarias y tecnológicas del hombre moderno, sin embargo a pesar de los esfuerzos realizados por las entidades del estado, aun presentan limitaciones de acceso para muchas personas.

La ampliación de las líneas eléctricas en lugares distantes o zonas de difícil acceso suele verse limitada ya sea por aspectos geográficos, económicos o grupos ilegales, esta situación ha fomentado ideas o proyectos con dirección a solucionar económicamente y de rápido acceso la generación de energía limpia y renovable.

Uno de esos proyectos consiste en la generación de energía eléctrica mediante vórtice gravitacional por medio de turbinas impresas en 3D, seguida de un estudio que permita conocer todos los detalles de su funcionamiento, ventajas y desventajas para verificar su viabilidad y su factibilidad.

En este documento se describe cómo aprovechar los elementos de la naturaleza que se encuentran en estas zonas rurales y lograr así el mayor potencial para la generación de energía eléctrica basada en vórtice gravitacional.

La implementación de un banco de pruebas suministrado por el grupo DIANOIA sumado al semillero GITEDI se logra el funcionamiento de una turbina creada a partir de impresos en 3D para la creación de energía eléctrica logrando así ser evidenciados en dispositivos análogos y digitales .

1. DESCRIPCIÓN DELA PROPUESTA DE TRABAJO DE GRADO

1.1. PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA

Uno de los principales problemas que aqueja a la población mundial es la contaminación ambiental, ocasionada en cierta parte por la generación de electricidad por medio de fuentes de energía no renovables, es decir, son aquellas que se encuentran por tiempo limitado en la naturaleza y una vez agotadas todas sus existencias no pueden sustituirse. Tan solo el 2.6% de la energía eléctrica producida en el mundo procede de fuentes de energías renovables. (Energy Information Administration, 2017).

En el caso de Colombia, la producción energética incluye como principal fuente a la hidroeléctrica con una participación del 69,9% de la capacidad instalada total en el país. En meses lluviosos como noviembre, la generación por parte de las hidroeléctricas puede llegar a ser hasta del 85% no obstante, las fuentes de energía renovables con apenas un 1% de la producción energética. (Sistema de Información Eléctrico Colombiano, 2016). En cuanto a la producción hidroeléctrica, requiere la construcción de grandes embalses con problemas subyacentes de índole económicos por su alto costo, sociales y ambientales relacionados con la inundación de tierras cultivables, reducción de la diversidad biológica, alteración del territorio, disminución del caudal de los ríos, dificultar la emigración de peces y provocar el desplazamientos de los habitantes de zonas aledañas.

Colombia es considerado uno de los países más competitivos del mundo en cuanto a producción energética: según la última comparativa mundial Global Energy Competitiveness (2017) Colombia ocuparía el octavo puesto entre 144 naciones. Sin embargo, la energía eléctrica es costosa, si se compara con Estados Unidos, es un 77% más costosa, con Perú, un 58%, con México, un 28% y con Ecuador, un 25% más cara. (GRT – Osinergmin, 2017). En ciudades como Barrancabermeja dependiendo del estrato, el costo de la energía eléctrica ronda entre 323.54 \$/kWh y 513.09 \$/kWh (Tarifa ESSA 2018-7. 2018).

Es así, como debido a los altos costos económicos, sociales, y ambientales a que conlleva la energía Hidroeléctrica tradicional, se deben explorar formas de generación de energía alternativas como es el caso del sistema de generación por turbina de vórtice gravitacional. En este caso la pregunta de investigación es: ¿Bajo qué condiciones de diseño y construcción, una turbina impresa en 3D pueda ser usada en un prototipo de laboratorio de generación de energía eléctrica por el método de vórtice gravitacional de agua?

2. JUSTIFICACIÓN

Actualmente se requiere la investigación nuevas formas de generación eléctrica que no produzcan contaminación y disminuyan el impacto ambiental. Una alternativa es la generación de energía mediante vórtice gravitacional. Este sistema se basa en un estanque redondo con un desagüe central, en donde el flujo del agua forma un vórtice estable con lo que se mueve una turbina que genera energía eléctrica. Según algunos autores, dicho sistema tiene una eficiencia entre el 60 y 80%, (Kthhydropower, 2017).

En términos económicos, el diseño, construcción, operación y posterior mantenimiento de una micro central eléctrica demanda recursos asumibles por cualquier comunidad, o por un modelo de emprendimiento social, ya que se puede producir energía fuera de la red, o inyectarla para uso en otras comunidades.

Hoy en día hay muchas alternativas a la hora de construir los materiales necesarios para el desarrollo y puesta en marcha de un prototipo de micro central hidroeléctrica, una opción para la construcción de la turbina es la impresión 3D, la cual permite realizar todo tipo de piezas en relativamente corto tiempo. Además, al diseñar e imprimir la turbina es posible reducir los costos de producción, ya que la manufactura a la hora de realizar una pieza en acero u otro material industrial es costosa.

Además, para las Unidades Tecnológicas de Santander es importante investigar este tipo de sistemas hidroeléctricos ya que permiten producir energía eléctrica aprovechando pequeños riachuelos con caídas de agua como fuente de energía, ya que este tipo de centrales no requieren de grandes caudales ni de caídas de agua, por lo que se puede implementar en Ciénegas, quebradas, o desviando levemente el caudal de un río. Lo anterior se hace factible para las comunidades rurales que se encuentran cerca a fuentes hídricas, ya que habitualmente no tienen acceso a la electricidad, de tal forma que este tipo de micro central de bajo costo ofrece una excelente oportunidad para proveer electricidad, lo cual sería algo muy aprovechado en ciertas áreas de Barrancabermeja, que posee excelentes recursos hídricos.

Aunque en Colombia las fuentes renovables van dando pasos pequeños, la inversión mundial en energías renovables entre 2007 y 2017, que asciende a 2,7 billones de dólares, ha aumentado del 5,2 % al 12,1 % la proporción mundial de electricidad generada por energía eólica, solar, geotérmica, marina, de biomasa o por conversión de residuos a energía, y de pequeñas centrales hidroeléctricas, (Noticias ONU, 2018). Aquí se evidencia el auge y la importancia de generar energía limpia.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Imprimir en 3D una turbina que pueda ser utilizada en el laboratorio en un banco de pruebas de generación de energía por el método de vórtice gravitacional de agua.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar una turbina para ser impresa en 3D que se usará en pruebas de generación de energía eléctrica por el método de vórtice gravitacional.
- Seleccionar una impresora 3D que permita la impresión de la turbina seleccionada, teniendo en cuenta parámetros como tamaño, número de álabes y elementos de sujeción.
- Acondicionar un banco de pruebas de laboratorio existente para realizar pruebas de generación de energía eléctrica por el método de vórtice gravitacional.

4. ANTECEDENTES

4.1. ANTECEDENTES NACIONALES

A lo largo de los años se han desarrollado diversos que proyectos tecnológicos que implementan en cierta parte el desarrollo de generación eléctrica renovable y/o la impresión 3D:

Proyecto de factibilidad de implementación de micro-generadoras hidroeléctricas rurales en Cundinamarca. El sistema consiste en la utilización de un recurso para la generación de energía eléctrica, en este caso es el agua que va circulando por la rivera un río o quebrada. La energía cinética proveniente del flujo constante del agua, que proporciona el movimiento de la turbina, al entrar en contacto con sus palas o álabes, este movimiento circular de la turbina es transmitido al generador, el cual se convierte en energía eléctrica, por efecto de someter el conjunto de bobinas e imanes al giro permanente. El voltaje generado debe sufrir una elevación a través de un transformador para llevarlo a los centros de consumo. El diseño consiste en acoplar una pequeña turbina al microgenerador, este generador al transformador elevador y este a la red eléctrica domiciliaria. La turbina es accionada gracias al flujo constante de agua de pequeñas

quebradas o ríos, que por las condiciones topográficas e hidrográficas, tienen gran concentración en el Municipio de Carmen de Carupa en el norte del Departamento de Cundinamarca, que es el lugar estratégico para el desarrollo inicial del proyecto según los estudios que se mostraran en la presente investigación. Universidad EAN. 2013. (Hernández, Alvarado & López, 2013).

Prototipo de impresora 3D con materiales reciclables. La impresora 3D nace de la idea de poder convertir en objetos reales diseños realizados con programas CAD creando piezas o maquetas volumétricas a partir de un diseño hecho por ordenador. Se utilizan hoy en día para la creación de prototipos, y moldes en sectores como la arquitectura o el diseño industrial. Permitiendo, además de materializar el diseño de productos, producir prototipos y pilotos para pruebas de ingeniería en las cuales se estudia la ergonomía, rediseño, optimización de productos, análisis de esfuerzos y testeo con usuarios que prueban un diseño antes de hacer la inversión en el prototipo de fabricación, esto con el fin de garantizar un modelo de ingeniería funcional ya que podemos tener una pieza real elaboradas a base de polímeros en nuestras manos y no pagar grades sumas de dinero para la generación de este tipo de diseños. Universidad Tecnológica de Pereira. 2015. (Aguirre, Patiño & Vélez, 2015).

Guía para estudios de pre factibilidad de pequeñas centrales hidroeléctricas como parte de sistemas híbridos. La generación de energía eléctrica en zonas aisladas, es una labor de ingeniería muy común en Colombia. La principal fuente energética para este objetivo es la proporcionada por las caídas de agua en un río o una quebrada. Gracias a la fuerza de la gravedad ejercida sobre estas corrientes de agua, se puede generar energía eléctrica. Por lo general, en épocas de sequía, cuando esta generación no es suficiente para cubrir la demanda, se recurre a la instalación de plantas diésel, como un sistema híbrido en el que interviene una fuente renovable de energía y una no renovable. Pontificia Universidad Javeriana. 2004. (Mora & Hurtado. 2004).

Diseño y construcción de una impresora 3d de gran formato con tecnología de fabricación con filamento fundido (fff) tipo core-xy basada en arduino. El objetivo de este proyecto fue diseñar y construir una impresora 3D con tecnología FFF (fabricación con filamento fundido) tipo Core-XY basada en Arduino con un volumen de impresión de 0.16m³. Para esto se debieron diseñar elementos y sistemas mecánicos basados en la selección de una tecnología de impresión, un tipo de extrusor y una resolución de trabajo deseada. Se seleccionó y programó un sistema electrónico manejado por un Arduino para controlar la máquina; por último, se validó su funcionamiento por medio de pruebas de tolerancias dimensionales realizadas con un calibrador pie de rey a cinco piezas modeladas en la máquina, obteniendo una tolerancia promedio de $\pm 0.44\text{mm}$. Universidad de Córdoba. 2017. (Aycardi&Tuirán. 2017).

Impactos sociales y económicos de la hidroeléctrica en Ituango. La hidroeléctrica Ituango es el proyecto de generación de energía más grande de Colombia y que tiene una

importancia enorme para los pueblos que están ubicados en el área de influencia de esta obra. Ituango es un municipio ubicado en el norte lejano del departamento de Antioquia, que posee unas características especiales y que ha cambiado considerablemente su forma de vivir por la llegada del proyecto hidroeléctrico, considerando la magnitud de la obra, la llegada de más personas a la zona y el cambio socioeconómico que surge a raíz de esta situación. Existen dos actores muy significativos que convergen en torno a la construcción del proyecto que son EPM y la comunidad del municipio de Ituango. La oportunidad que llegó a este territorio, ha permitido encontrar diferentes impactos, tanto negativos como positivos, para la sociedad y la economía. De esta manera será EPM el encargado de combatir los impactos negativos del proyecto y será la comunidad quien podrá aprovechar los impactos positivos a nivel social y económico para buscar el progreso y el desarrollo del pueblo. Universidad de Medellín. 2014. (Úsuga, 2014).

4.2. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Estudio del comportamiento de fluidos de una micro central hidroeléctrica gravitacional de vórtice, mediante la dinámica computacional de fluidos de alto rendimiento, para la generación de energía eléctrica y la implementación de un prototipo. Se diseñó y estudio experimental del prototipo de sistema gravitacional de vórtice en función del análisis mecánico realizado en el paquete gratuito para estudiantes de ingeniería ANSYS 17.1. El diseño consta de cuatro componentes que son: “Estructura, reservorio, turbinas y Sistema gravitacional de vórtice”; los cuales se implementaron en un módulo que está enfocado al aprendizaje de nuevos conceptos y criterios de una central hidroeléctrica. Mediante la herramienta CFX proporcionada por el mismo software, se estudió el efecto de los diversos parámetros y el comportamiento del flujo de agua en forma individual, para la formación de un vórtice artificial en el prototipo creado en polimetilmetacrilato, que posteriormente dará movimiento a tres distintas turbinas de forma individual, para visualizar el voltaje generado mediante un display. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. 2016. (Haro&Sanaguano, 2016).

Sistema de Generación de Energía Sumergible Basado en un Vórtice Gravitacional con Sifón para Comunidades Aisladas. En este trabajo se presenta un sistema de generación de energía eléctrica basado en un vórtice gravitacional con sifón para comunidades aisladas, manufacturado en la provincia de Loja Ecuador. El sistema es sumergible funciona como una central de paso y por su diseño se lo puede instalar directamente en canales de riego, ríos, etc. sin obras civiles importantes. La unidad de generación denominada UTG (Underwater Turbine Generator) está conformada por una turbina Kaplan, un generador sumergible síncrono multi-polo con imanes permanentes, un rectificador, un inversor, un vórtice gravitacional y un sifón de evacuación para ganar energía potencial. Además incluye un control integrado que permite realizar mediciones de los parámetros eléctricos del sistema. De acuerdo con los resultados de la medición de campo, el prototipo UTG basado en un vórtice gravitacional puede ofrecer de forma

estable la energía eléctrica a las cargas conectadas, con un factor de planta del 60%. (Ayala, Benavides y Riba, 2016).

5. MARCO REFERENCIAL

5.1. MARCO TEORICO

5.1.1. Diseño de turbina

El diseño de las turbinas se realizara mediante el softwareSolidWorks y tinkercad, en los cuales se modificara desde la cantidad, altura y anchura de las aspas, además en dicho software se definirán las condiciones de carga y frontera a las que se encuentran sometidas y las propiedades del material usado en su fabricación. Se verifican con la ayuda del software las tensiones y deformaciones de los componentes; además, se determinan sus frecuencias naturales y así, determinar su viabilidad a la hora de imprimir en 3D.

5.1.2. Costes y tiempos de Impresión 3D

A la hora de realizar una impresión 3D se debe tener en cuenta parámetros como sus costes y tiempos que pueden determinar su viabilidad.

Costes de una impresión 3D:

DepreciaciónImpresora: $1450/h * t$ (Tiempo en horas)

Material: Cantidad de filamento (gr) * \$ 69.11/gr

Costes Eléctricos: $0.2Kw * \$490Kw/h * duración impresión (h)$

Depreciación Impresora + Material + Costes Eléctricos = **Total**

5.1.3. Tiempos de impresión:

Los tiempos de impresión depende de 4 parámetros: tamaño, estructura, densidad y resolución de impresión del objeto, con 100% de relleno y máxima resolución (0.1 mm) la impresión se hace considerablemente más lenta, pero a su vez ganas resistencia y estética.

Hay tres formas de reducir tiempos de impresión.

1. Reducir el tamaño.
2. Disminuir la densidad (hacer hueco el objeto),
3. Bajar la resolución de la impresión.

Debido a que las impresoras cada vez imprimen a mayor velocidad, el promedio es de 12 cm³ por hora.

5.2. MARCO HISTORICO

5.2.1. IMPRESIÓN 3D

➤ Historia de la impresión 3D

El inicio de la impresión 3D se remonta a 1976, cuando se inventaría la impresora de inyección de tinta. Desde entonces, la tecnología ha evolucionado para pasar de la impresión con tinta a la impresión con materiales, lo cual ha permitido que avance durante décadas en diferentes ramas de la industria. En las siguientes líneas de tiempo, se señalan algunos de los acontecimientos más destacados:

- **1984: Invención de la estereolitografía**
Charles Hull, inventa la estereolitografía, un proceso de impresión que permite que un objeto en 3d se cree a partir de datos digitales. (Hull, 1984).
- **1992: Fabricación de prototipos capa por capa**
La primera máquina de impresión 3d del tipo sla (estereolitográfico) en el mercado, fue desarrollada por la empresa 3d systems. El funcionamiento básico de esta máquina consiste en que un láser UV va solidificando un fotopolímero, un líquido con la viscosidad y color parecido al de la miel, el cual va fabricando partes tridimensionales capa por capa. (Specialpaint, 2017).
- **1999: Órganos de ingeniería traen nuevos avances en medicina**
La tecnología utilizada por los científicos del instituto de Wake Forest de medicina regenerativa, abrió las puertas al desarrollo de otras estrategias para los órganos de la ingeniería, el cual pasaba por la impresión de los mismos. Debido a que están fabricadas con células propias del paciente, el riesgo de rechazo es prácticamente nulo. Wake ForestUniversity. 1999. (Atala, 1999).

- **2002: Un riñón 3d en funcionamiento**
Los científicos diseñan un riñón en miniatura completamente funcional y con la capacidad de filtrar sangre y producir orina diluida en un animal. El desarrollo llevó a la investigación en el instituto de Wake Forest de medicina regenerativa el objetivo de imprimir los órganos y tejidos con tecnología de impresión 3d. Wake ForestUniversity. 2002. (Atala, 2002).
- **2005:Open-Source colabora con la impresión 3d**
El Dr.Adrianbowyer funda rewrap, en la Universidad de Bath, una iniciativa de código abierto para construir una impresora 3d que puede imprimir la mayoría de sus propios componentes. La visión de este proyecto es el de democratizar la fabricación de unidades de distribución de bajo coste rewrap a las personas de todo el mundo, lo que les permite crear productos a diario por su cuenta.University of bath.2005. (Dowyer, 2005).
- **2008: Lanzan servicios de co-creación.**
Shapeways lanza una página web beta privada para ofrecer un nuevo servicio de co-creación entre la comunidad permitiendo que artistas, arquitectos y diseñadores presenten sus diseños en 3d como objetos físicos baratos. (Shapeways, 2008).
- **2008: Gran avance en la prótesis.**
La primera persona que camina sobre una pierna de prótesis impresa en 3d, con todas las partes, rodilla, pie, etc, impresa en una misma compleja estructura sin ningún tipo de montaje. Este tipo de avances permiten que los fabricantes de prótesis realicen desarrollos a medida en el sector de las prótesis. (Specialpaint, 2017).
- **2009: Kits de impresoras 3d DIY entran en el mercado.**
Industrias Makerbot, una compañía de hardware de código abierto para las impresoras 3d, comienza la venta de kits de montaje que permiten a los compradores fabricar sus propias impresoras 3d y productos.(Specialpaint, 2017).
- **2009: de células a vasos sanguíneos.**
Llega la bio-impresión, con la tecnología del Dr.GaborForgacs, que utiliza una bio-impresora 3d para imprimir el primer vaso sanguíneo.Organovo. 2009. (Forgacs, 2009).
- **2011: Primer coche impreso en 3d.**
Korecologic nos presenta urbee, un prototipo de coche que trata de ser lo más eficiente posible con el medio ambiente, siendo toda su carrocería diseñada e impresa en 3d. Trata de ser un coche eficiente en cuanto a consumo de gasolina y en cuanto a su coste de producción. Su precio oscilará entre los 12.000€ y 60.000€ siempre y cuando sea comercialmente rentable. (Ecologic, 2011).

- **2011: Impresión 3d en oro y plata.**

La empresa Materialise ha sido la primera empresa en ofrecer un servicio de impresión 3d de oro de 14 kilates y plata de ley. Esta opción va a permitir abrir un nuevo mercado a los joyeros con diseños más económicos utilizando este material. (I.Materialise, 2011).

- **2012: primer implante de prótesis de mandíbula impresa en 3d.**

Doctores e ingenieros holandeses trabajan con una impresora 3d especialmente diseñada por la empresa Layerwise, la cual permite imprimir prótesis de mandíbulas personalizadas. Este grupo ha podido implantar una mandíbula a una mujer de 83 años de edad que sufría una infección de hueso crónica. University of Hasselt. 2012. (Theverge. 2012).

- **2018: impresión 3d de motores de cohetes espaciales**

El centro avanzado de tecnologías aeroespaciales (Fada-Catec) está trabajando con la empresa Zero 2 Infinity (z2i) en el desarrollo de una nueva generación de motores de cohetes espaciales. Fada-Catec ha realizado mediante tecnología de impresión en 3d la cámara de combustión del cohete de Zero 2 Infinity, Bloostar. La impresión en 3d de este motor implica una reducción drástica de los costes de fabricación, el impacto ambiental, los tiempos de producción y la masa. (López, 2018).

5.2.2. VORTICE GRAVITACIONAL PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El sistema de generación energética usando vórtice gravitacional en su principio fue patentado por el abogado e inventor greco-australiano Paul Kouris en 1996, que estaba buscando una forma de aprovechar el poder inherente en un vórtice; Aunque esta versión es algo dudosa.

Más tarde, Franz Zotlöterer creó una turbina similar al intentar encontrar una forma de airear el agua sin una fuente de alimentación externa. Al tratar de encontrar un método para airear agua sin aporte de energía, encontró con la idea de una mini central eléctrica que es simple de construir y tiene una eficiencia de turbina del 80% pero que es segura para peces debido a turbinas bajas velocidad y mejora la calidad del agua por oxigenación. La tecnología se puede aplicar con una caída de agua de tan solo 0,7 metros.

En el sistema de Zotlöterer, la energía del vórtice del agua es recogida por una rueda de agua de gran superficie y movimiento lento, lo que hace que la central sea transparente para pescar. No hay grandes diferencias de presión acumuladas, como ocurre en las turbinas normales. El costo de la construcción de una planta de este tipo es la mitad del de una instalación hidroeléctrica convencional de rendimiento similar y el impacto ambiental es positivo, en lugar de negativo.

El aspecto de la central eléctrica recuerda un poco a un caracol invertido: a través de una entrada grande y recta, el agua ingresa tangencialmente en un cuenco redondo, formando un poderoso vórtice, que encuentra su salida en el centro de la parte inferior de la cuenca poco profunda. La turbina no funciona en presión diferencial sino en la fuerza dinámica del vórtice. Esta planta de energía no solo produce una producción útil de electricidad, sino que también airea el agua de una manera suave.

Figura 1. Vista panorámica planta de generación mediante vortex en funcionamiento



Fuente: ZOTLOETER, Recuperado de: <http://www.zotloeterer.com>

"La tecnología de la planta de energía de WaterVortex es una primera y única tecnología en el mundo que limpia el agua en los ríos y produce electricidad". Zotlöterer (2008)

Actualmente KCT (KOURIS CENTRI TURBINE) es la primera turbina de vórtice patentada del mundo, operada utilizando el spin como algo distinto de la caída de agua, en la vía fluvial, reservorio o en tierra, aprovecha la energía en un vórtice, extrayendo de la Fuerza de Coriolis para producir aproximadamente un 27% más de electricidad cuando se combina con una turbina convencional, como se revela durante la prueba de prueba de concepto en Kalorama.

El KCT ha sido revisado y avalado por el Dr. Harry Schaap, Asesor Federal de Energía Renovable. A su vez, Austrade ha respaldado a The KCT y lo ha incluido en su Directorio de exportación de energía limpia.

Figura 2. Vista panorámica de una turbina Zotlöterer en funcionamiento



Fuente: ZOTLOETER, Recuperado de: <http://www.zotloeterer.com/welcome/gravitation-water-vortex-power-plants/zotloetererturbine/>

5.3. MARCO LEGAL

- **Ley 143 de 1994**, "por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética".
- **Ley 1715 de 2014**, "Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional".
- **Decreto 2492 de 2014** "Por el cual se adoptan disposiciones en materia de implementación de mecanismos de respuesta de la demanda".
- **Decreto 2469 de 2014** "Por el cual se establecen los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración"
- **Decreto 2143 de 2015** "Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con la definición de los lineamientos para la aplicación de los incentivos establecidos en el Capítulo III de la Ley 1715 de 2014."

- **Resolución UPME 0281 de 2015** "Por la cual se define el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala"
- **Resolución CREG 024 de 2015** "Por la cual se regula la actividad de autogeneración a gran escala en el Sistema Interconectado Nacional (SIN)".
- **Decreto 1623 de 2015** "Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1073 de 2015, en lo que respecta al establecimiento de los lineamientos de política para la expansión de la cobertura del servicio de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional y en las Zonas No Interconectadas"
- **Resolución Ministerio de Ambiente 1283 de 8 agosto de 2016** "Por la cual se establece el procedimiento y requisitos para la expedición de la certificación de beneficio ambiental por nuevas inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de energías renovables - FNCER y gestión eficiente de la energía, para obtener los beneficios tributarios de que tratan los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014 y se adoptan otras determinaciones"
- **Decreto 348 de 2017** "Por el cual se adiciona el Decreto 1073 de 2015, en lo que respecta al establecimiento de los lineamientos de política pública en materia de gestión eficiente de la energía y entrega de excedentes de autogeneración a pequeña escala".
- **Resolución Ministerio de Ambiente 1988 de 2017. PAI 2017 - PROURE** (Programas para Exclusión IVA)
- **Resolución UPME 585 de 2017** (Procedimiento ante UPME Exclusión de IVA)
- **Resolución Ministerio de Ambiente 2000 de 2017** (Procedimiento ante ANLA para exclusión de IVA)
- **Decreto 1543 de 2017** "Por el cual se reglamenta el Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía, Fenoge"

5.4. MARCO CONCEPTUAL

5.4.1. impresora 3D

Es una máquina capaz de realizar réplicas de diseños en 3D, creando piezas o maquetas volumétricas a partir de un diseño hecho por ordenador, descargado de internet o recogido a partir de un escáner 3D. Surgen con la idea de convertir archivos de 2D en

prototipos reales o 3D. Comúnmente se ha utilizado en la prefabricación de piezas o componentes, en sectores como la arquitectura y el diseño industrial.

➤ Tipos de Impresora 3D

- **Cartesianas**

Estas impresoras reciben este nombre debido al sistema de coordenadas que utilizan para el movimiento, el cartesiano. El movimiento se traduce en tres ejes ortogonales, donde el origen puede variar según la máquina. El hot-end se desplaza en estas coordenadas para realizar la impresión.

Figura 3. Impresora 3D tipo cartesiana



Fuente: Flyingbear

- **Delta**

Las impresoras 3D de este tipo están basadas en el robot delta. Cuentan por lo general con una cama de impresión circular, que se mantiene fija otorgando mayor precisión. El extrusor está suspendido por encima, posicionado mediante tres brazos articulados que se deslizan arriba y abajo sobre unas guías verticales dispuestas en una configuración triangular.

Figura 4. Impresora 3D tipo Delta

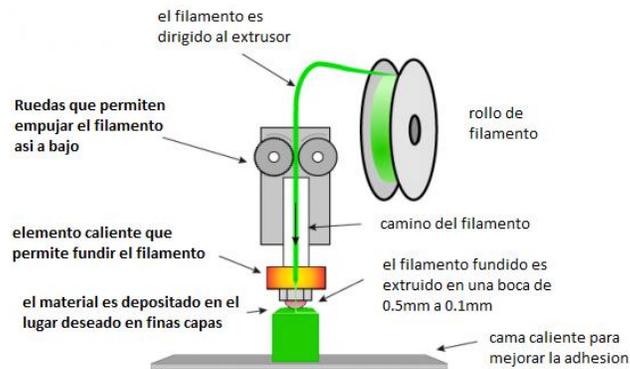


Fuente: BQ

➤ impresión 3D

La impresión 3D, o manufactura aditiva, es un grupo de tecnologías de fabricación que, partiendo de un modelo digital, permiten manipular de manera automática distintos materiales y agregarlos capa a capa de forma muy precisa para construir un objeto en tres dimensiones

Figura 5. Sistema de impresión 3D



Fuente: 3D PrintingIndustry, 2016

➤ Funcionamiento de la impresión 3D

En el proceso que va desde la fase de preparación del modelo hasta la de fabricación del prototipo, bastante largo y complejo, participan muchas partes diferentes que deben interactuar y trabajar juntas fluidamente:

- 1) **Modelamiento Digital:** Se crea un modelo en 3D de lo que se quiere hacer, para ello se utiliza un software, a menudo llamado CAD (Diseño Asistido por Ordenador)
- 2) **Exportación:** Generar un archivo en el formato correcto (por lo general "STL") que contenga toda la información geométrica para representar el modelo digital.
- 3) **Rebanado o Laminado:** Convertir el modelo digital en una serie de comandos que la impresora 3D pueda entender y ejecutar, generalmente llamados Código G (GCode).
- 4) **Conexión:** Dar una lista de instrucciones a la impresora, ya sea por conexión USB o mediante una SD.
- 5) **Impresión:** Preparar la impresora 3D y comenzar la impresión, esperar el resultado.
- 6) **Acabado:** Luego de la impresión la pieza puede someterse a un pos-procesado para eliminar partes adicionales (soportes y/o balsa)

➤ **Tecnologías de la impresión 3D**

Existe una gran diversidad de métodos disponibles para la impresión 3D. Sus principales diferencias se encuentran en la forma en la que se usan las diferentes capas para crear piezas. Algunos métodos como el modelado por deposición fundida (FDM) o el sinterizado selectivo por láser (SLS) utilizan fundido o ablandamiento del material para producir las capas, mientras que otros depositan materiales líquidos que son tratados con diferentes tecnologías. En la siguiente tabla se resumen las principales tecnologías disponibles:

Tabla 1. Métodos de la impresión 3D.

TIPO	TECNOLOGÍAS	MATERIALES
Extrusión	Modelado por deposición fundida (FDM)	Termoplásticos (PLA, ABS), metales eutécticos, materiales comestibles
Hilado	Fabricación por haz de electrones (EBF3)	Casi cualquier aleación de metal
Granulado	Sinterizado de metal por láser	Casi cualquier aleación de

	(DMLS)	metal
	Fusión por haz de electrones (EBM)	Aleaciones de titanio
	Sinterizado selectivo por calor (SHS)	Polvo termoplástico
	Sinterizado selectivo por láser (SLS)	Termoplásticos, polvos metálicos, polvos cerámicos
	Proyección aglutinante (DSPC)	Yeso
Laminado	Laminado de capas (LOM)	Papel, papel de aluminio, capa de plástico
Fotoquímicos	Estereolitografía (SLA)	Fotopolímeros y resinas fotosensibles
	Fotopolimerización por luz ultravioleta (SGC)	

Fuente: Elaboración propia

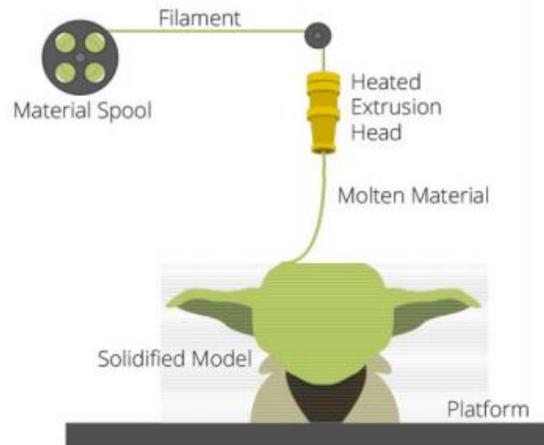
Cada método tiene sus propias ventajas e inconvenientes, por lo que algunas compañías ofrecen alternativas entre polvos y polímeros como materias primeras, según cuáles sean las necesidades del cliente. Generalmente las consideraciones principales a tener en cuenta a la hora de elegir una impresora son: la velocidad, el coste del prototipo impreso, el coste de la máquina, la elección y el coste de los materiales de trabajo y la capacidad que estos ofrecen para elegir el color.

En la actualidad, los tres procesos de fabricación aditiva más comunes son los que se describen a continuación:

- **Modelado por deposición fundida (FDM)**

Consiste en depositar polímero fundido sobre una base plana, capa a capa. El material, que inicialmente se encuentra en estado sólido almacenado en rollos, se funde y es expulsado por una boquilla en minúsculos hilos que se van solidificando conforme van tomando la forma de cada capa.

Figura 6. Proceso de Modelado por deposición fundida (FDM)

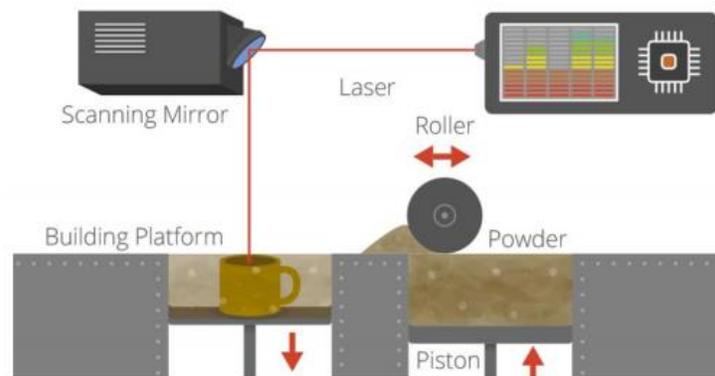


Fuente: 3D PrintingIndustry, 2016

- **Sinterizado selectivo por láser (SLS)**

Consiste en la colocación de una fina capa de material en polvo en un recipiente a una temperatura ligeramente inferior a la de fusión del material. Un láser sinteriza las áreas seleccionadas causando que las partículas se fusionen y solidifiquen. Se van añadiendo y sintetizando sucesivas capas de material hasta obtener el prototipo deseado.

Figura 7. Proceso de Sinterizado selectivo por láser (SLS).

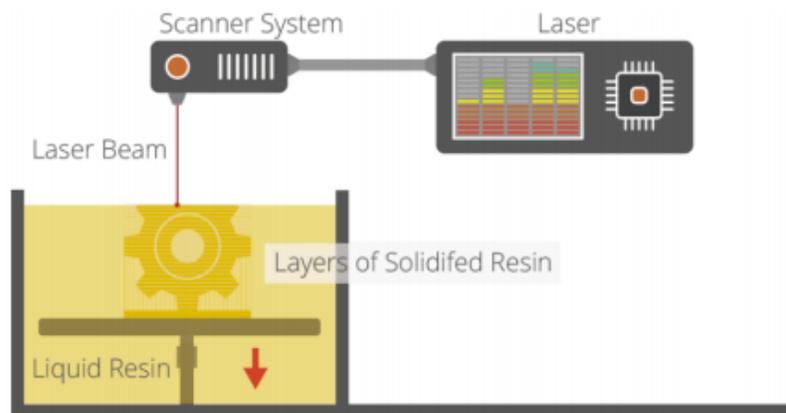


Fuente: 3DPrintingIndustry, 2016.

- **Estereolitografía (SLA)**

Consiste en la aplicación de un haz de luz ultravioleta a una resina líquida (contenida en un cubo) sensible a la luz. La luz ultravioleta va solidificando la resina capa por capa. La base que soporta la estructura se desplaza hacia abajo para que la luz vuelva a ejercer su acción sobre el nuevo baño, así hasta que el objeto alcance la forma deseada.

Figura 8. Proceso de Estereolitografía (SLA).



Fuente: 3D PrintingIndustry, 2016.

➤ Ventajas y desventajas de la impresión 3D

Además de sus innumerables ventajas, la impresión 3D cuenta también con una serie de inconvenientes. Antes de utilizar esta tecnología, es necesario conocer algunos de los pros y los contras de la misma:

Tabla 2. Ventajas y desventajas de la impresión 3D.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Accesibilidad • Opciones variadas de manufactura • Prototipado y fabricación rápidos • Reducción de costes • Reducción de la necesidad de almacenamiento • Aumento de oportunidades de empleo • Mejora de la calidad de vida 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de puestos de trabajo • Uso limitado de materiales • Vulneración de los derechos de autor • Creación de productos peligrosos • Aumento de productos inútiles • Tamaño limitado de los productos • Coste de las impresoras

Fuente: Elaboración propia.

➤ **Filamentos 3D mas utilizados**

• **PLA (Poliácido Láctico)**

Este material biodegradable, es uno de los más utilizados en la impresión 3d.

Figura 10. Material plástico PLA



Fuente: Eumakers.

Ventajas

- Facilidad de impresión.
- No necesita cama caliente
- Muy estable.
- Velocidad de impresión “más rápida” que otros materiales.
- Procede de materia orgánica (maíz, trigo,...), por lo que ofrece capacidad de biodegradación bajo condiciones adecuadas”material ecológico”.
- Se obtiene de recursos renovables.
- Material reciclable.
- Estas ventajas permiten que este material sea utilizado para aquellos que se inician en el mundo 3D...

Desventajas

- Poca resistencia térmica (se vuelve endeble a partir de los 60 °C).
- Material más frágil que otros materiales (poca resistencia mecánica).

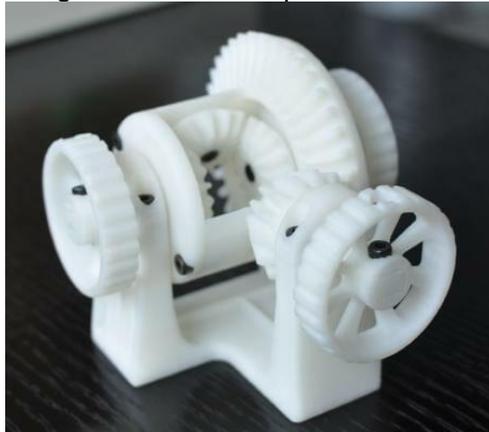
- Sensible a la humedad (conservarlo al vacío o lejos de zonas húmedas).

Aplicaciones

- Especialmente para elementos decorativos, figuras, maquetas, prototipos...
- **ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno)**

Este material plástico procedente del petróleo, es muy utilizado en la industria.

Figura 10. Pieza impresa en ABS.



Fuente:IMPRESORAS3D.COM,Recuperado de:<https://www.impresoras3d.com/la-guia-definitiva-sobre-los-distintos-filamentos-para-impresoras-3d/>

Ventajas

- Muy estable a altas temperaturas (Aproximadamente. 80 °C – 90 °C).
- Conserva la tenacidad a temperaturas extremas (-40 °C hasta 90 °C).
- Alta capacidad de mecanizado.
- Resistente a ataques químicos.
- Muy resistente a los impactos.

Desventajas

- Es necesaria cierta experiencia en impresión 3d.
- Dificultad de impresión media “dependiendo del objeto que se trate”.

- Contracción entre capas más rápida que el PLA, pudiendo resquebrajarse la pieza si las condiciones del entorno son demasiadas frías.
- Pueden producirse el efecto Warping (despegar de la base) fácilmente.

Aplicaciones

- Elementos mecánicos, piezas de automoción, piezas industriales en general, entre otros. Como no, también se puede utilizar para elementos decorativos y muchas más aplicaciones.

5.4.2. turbina y vórtice

➤ TURBINA

La turbina es un motor rotativo que convierte en energía mecánica la energía de una corriente de agua, vapor de agua o gas. El elemento básico de la turbina es la rueda o rotor, que cuenta con palas, hélices, cuchillas o cubos colocados alrededor de su circunferencia, de tal forma que el fluido en movimiento produce una fuerza tangencial que impulsa la rueda y la hace girar. Esta energía mecánica se transfiere a través de un eje para proporcionar el movimiento de una máquina, un compresor, un generador eléctrico o una hélice; existen varios tipos de turbinas:

Figura 11. Turbina impresa en 3D.



Fuente: ISMAEL83. Recuperado de: <https://www.thingiverse.com>

Turbinas hidráulicas

Son aquellas cuyo fluido de trabajo no sufre un cambio de densidad considerable a través de su paso por el rodete o por el estátor; éstas son generalmente las turbinas de agua, que son las más comunes, pero igual se pueden modelar como turbinas hidráulicas a los molinos de viento o aerogeneradores.

Dentro de este género suele hablarse de:

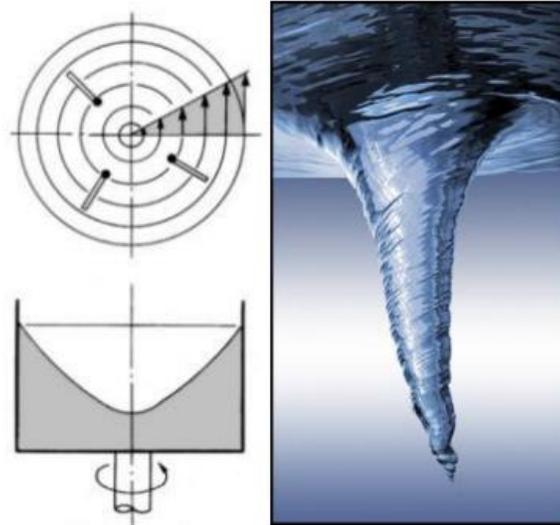
- **Turbinas de acción:** Son aquellas en que el fluido no sufre ningún cambio de presión a través de su paso por el rodete. La presión que el fluido tiene a la entrada en la turbina se reduce hasta la presión atmosférica en la corona directriz, manteniéndose constante en todo el rodete
- **Turbinas de reacción:** Son aquellas en el que el fluido sufre un cambio de presión considerable en su paso por el rodete. El fluido entra en el rodete con una presión superior a la atmosférica y a la salida de éste presenta una depresión. Se caracterizan por presentar una tubería de aspiración, la cual une la salida del rodete con la zona de descarga de fluido.

➤ **Vórtice**

Un vórtice es un flujo turbulento en rotación espiral con trayectorias de corriente cerradas. Como vórtice puede considerarse cualquier tipo de flujo circular o rotatorio que posee vorticidad. La vorticidad es un concepto matemático usado en dinámica de fluidos que se puede relacionar con la cantidad de circulación o rotación de un fluido. La vorticidad se define como la circulación por unidad de área en un punto del flujo.

En dinámica de fluidos, se define a un vórtice como el movimiento de un fluido a lo largo de un camino encorvado, caracterizado por el patrón de flujo curvo. Cuando el fluido fluye entre las líneas de flujo encorvadas, la fuerza centrífuga es aplicada, y es contrabalanceada por la fuerza de presión que actúa sobre la dirección radial.

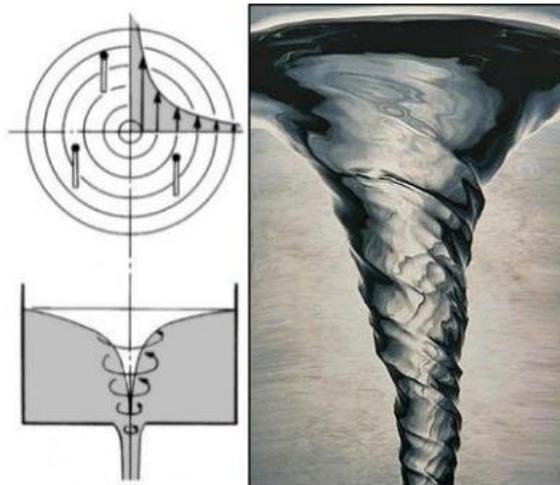
Figura 12. Ejemplo de la formación de un vórtice forzado.



Fuente:P. BALACHANDRAN, Recuperada de
<https://books.google.com.ec/books?id=kIeYeyZ8U0wC&lpg=PA216&ots>

Un vórtice libre es aquel en el que el fluido rota sin necesidad de una fuerza externa. El movimiento se puede deber a una rotación previamente impartida a las partículas del fluido, o, a alguna acción interna. Algunos ejemplos de vórtices libres son el flujo de un líquido alrededor de un quiebre encorvado, el remolino en un río, y el flujo de un líquido a través del fondo de un contenedor

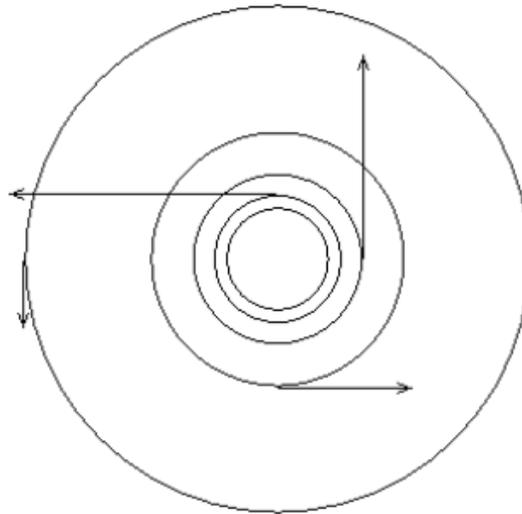
Figura 13. Ejemplos de vórtices libres.



Fuente:P. BALACHANDRAN. Recuperada de
<https://books.google.com.ec/books?id=kIeYeyZ8U0wC&lpg=PA216&ots>

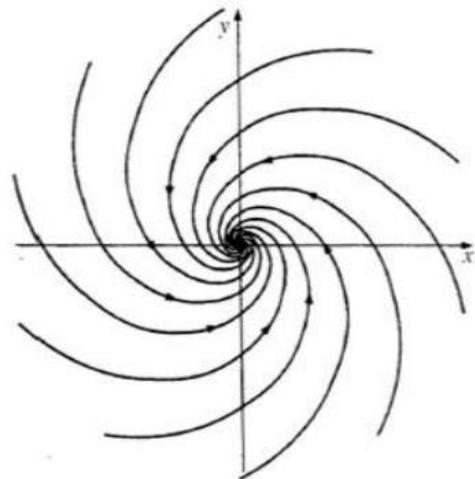
En otra clasificación, los vórtices son cilíndricos o espirales. En un vórtice cilíndrico el fluido rota en círculos concéntricos.

Figura 15. Diagrama de velocidades en un vórtice cilíndrico.



Fuente:WIKIPEDIA.Recuperada
dehttps://en.wikipedia.org/wiki/Vortex#/media/File:Vortex_in_draining_bottle_of_water.jpg
Mientras que en un vórtice espiral el fluido se mueve en espiral hacia adentro o hacia afuera, El movimiento de los vórtices espirales se obtiene combinando un vórtice cilíndrico con un movimiento radia

Figura 14. Diagrama de velocidades en un vórtice cilíndrico.

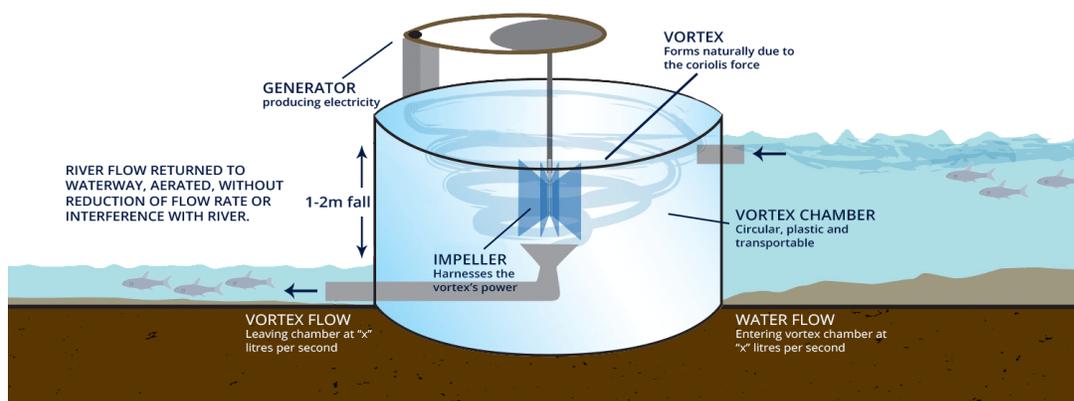


Fuente: VITTORIO CELLI, Recuperada de
<http://galileo.phys.virginia.edu/classes/311/notes/fluids1/fluids11/node8.html>

➤ **Generación eléctrica vortex**

La planta de energía de Vórtice gravitacional es un tipo de sistema de turbina de micro hidro vórtice que es capaz de convertir energía en un fluido en movimiento a energía rotacional. La tecnología se basa en un lavabo redondo con un drenaje central. Por encima del desagüe, el agua forma un vórtice de línea estable que impulsa una turbina de agua.

Figura 15. Funcionamiento Generador Vortex.



Fuente: KOURISPOWER, Recuperada de: <https://www.kourispower.com/gallery/>

El agua pasa a través de una entrada recta y luego pasa tangencialmente a un recipiente redondo. El agua forma un gran vórtice sobre el drenaje central inferior de la cuenca. Una turbina extrae la energía de rotación del vórtice, que se convierte en energía eléctrica por un generador.

- **Este tipo de Generación Eléctrica trae consigo muchas ventajas:**

- Es extremadamente limpio:
- Cero emisiones de gases de efecto invernadero
- Interferencia cero con el flujo de agua
- Interferencia cero con la vida del agua
- El diseño discreto se funde con el paisaje
- Una huella pequeña significa que no hay obras importantes en el sitio
- Materiales 100% reciclables
- Huella cero después de la eliminación completa
- La aireación del agua aumenta el nivel de oxígeno en el agua
- Potencia de vórtice completa del tanque circular de acero o plástico (no de una espiral semicircular) con resultados de turbina de campo de hasta 85% de eficiencia
- Su mantenimiento extremadamente bajo
- Obras civiles mínimas requeridas para la instalación (plataforma de concreto, instalación de tuberías de entrada y salida)
- Tiempo mínimo de construcción debido al diseño del tanque vortex (no es necesario que formemos y vertamos un complejo y costoso cuenco de espiral reforzado con concreto, estructura de entrada y salida)
- Se puede reubicar en otra ubicación si es necesario para energía de emergencia
- La instalación experta de la turbina no es necesaria
-

Figura 16. Vista panorámica de una turbina de cuatro alabes en operación.



Fuente: ZOTLOETERER, Recuperada de http://blog.hasslberger.com/2007/06/water_vortex_drives_power_plan.html

5.5. MARCO AMBIENTAL

Pese a que el proyecto se realizara en un planta piloto y por ende el impacto ambiental es prácticamente nulo, pero es importante conocer los impactos ambientales que provocan la generación energética mediante vórtice gravitacional y la impresión 3D.

La generación energética se basa en un estanque redondo con un desagüe central, el flujo del agua que es transportado forma un vórtice estable con lo que mueve la turbina y genera energía eléctrica, a pesar de que esta central posee un rendimiento más bajo en comparación con otras micro centrales hidroeléctricas convencionales su impacto ambiental es considerablemente más bajo, ya que no requieren de grandes caudales ni de caídas de agua, ni grandes extensiones de terreno y los peces pueden transportarse libremente.

Y considerando que una Impresora 3D nos permite reducir notablemente el uso de materiales que afecten el medio ambiente ya que la manufactura clásica no es buena ambientalmente hablando para bajos volúmenes de producción, es decir, en cuanto a la escala de producción, el impacto ambiental de la impresión 3D es menor en volúmenes de producción inferiores a 300 réplicas.

Además actualmente, existen alternativas, y se siguen investigando nuevos materiales, tales como el propio ABS reciclado, el PLA (Ácido Poliláctico) que es un bioplástico procedente del maíz que, además, es biodegradable; el PHB (Polihidroxitirato), o biopropileno. Incluso se está experimentando con bacterias capaces de fabricar plásticos, a partir del azúcar que comen.

6. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

Se planea diseñar varios diseños de turbinas, para encontrar una que se adecue a las necesidades y expectativas por parte de los autores.

Posteriormente se hará una investigación, la cual tiene como objetivo comparar toda una serie de impresoras 3D teniendo en cuenta su calidad/precio, y seleccionar la más conveniente para la realización del proyecto.

Se ha escogido la tecnología de impresión 3D, ya que, gracias a su flexibilidad y prototipado rápido permite reducir considerablemente los costos de producción, puesto que se pueden realizar todo tipo de piezas en corto tiempo.

Además, se empleó un banco de pruebas de generación de energía perteneciente al semillero de investigación GITEDI, que consiste en un sistema que utiliza un flujo constante de agua, el cual ingresa en línea recta y a una velocidad constante en un tanque del almacenamiento al que se le ha incorporado una turbina; la caída del agua hace girar la turbina formando un remolino, en su parte más estrecha es donde se acumula la fuerza del movimiento y esta fuerza genera electricidad.

6.1. SELECCIÓN Y ARMADO DE LA IMPRESORA 3D

En la actualidad hay una gran variedad de impresoras 3D que varían en precio, calidad y prestaciones; por ende, a la hora de seleccionar una se deben tener en cuenta varios aspectos claves para elegirla.

Básicamente hay dos familias en cuanto a impresora 3D de escritorio se refiere: las basadas en sistemas de código abierto y las de tecnología privada, que suelen ser “plug and play”.

En primer caso se encuentran las basadas en tecnología reprop o similar (Figura 19) las cuales son impresoras que ofrecen mucha flexibilidad: ya que se pueden elegir básicamente todos los parámetros de impresión, esto da más libertad al usuario no obstante, calibrar la impresora suele ser complicado y toma tiempo para que los modelos que se imprimen queden perfectos. La gran ventaja es que son considerablemente más baratas, sobre todo si vienen desarmadas y las deba armar el usuario, tarea que en muchos casos no es sencilla.

Las “plug and play” (Figura 18) son impresoras más enfocadas al usuario sin conocimientos, que intentan garantizar una calidad de impresión estable y que la experiencia sea lo más sencilla posible. Son más robustas y más fáciles de utilizar, sin embargo solo se controlan los parámetros básicos de la impresora, además de que son mucho más costosas.

Figura 18. Impresora tipo 'plug and play' ultimaker 3



Fuente: Ultimaker. 2017.

Figura 19. Kit impresora tipo RePrap Flyingbear



Fuente: Flyingbear, 2018

- **Tipos de material de trabajo.** Actualmente el 90% del material utilizado es el ABS y PLA, aunque existe muchos tipos más, por ello en función del material que se requiera utilizar en la fabricación de las piezas, unas impresoras pueden ofrecer mejores resultados que otras, por lo tanto es muy importante conocer las especificaciones principales de los materiales que se van a utilizar: temperatura de extrusión, temperatura de la base necesaria, sensibilidad a corrientes de aire y velocidad de impresión.
 - **Temperaturas:** Se debe tener en cuenta la temperatura de extrusión como la de cama y así, utilizar el material que necesitamos sin inconvenientes. Por ejemplo, hay impresoras económicas en las cuales la temperatura de la cama sólo llega a 70-80°C, siendo una temperatura insuficiente para evitar el warping al imprimir piezas en ABS.
 - **Sensibilidad a corrientes de aire:** Materiales como el ABS son sensibles a las corrientes de aire, ya que provoca en ellos el efecto cracking (separación de las capas entre sí). Se debería disponer de una impresora 3D cerrada o en un ambiente controlado ya que, aporta beneficios y evita muchos problemas
 - **Velocidad de impresión:** Este parámetro afecta a la rapidez con la que se puede realizar piezas, Para los materiales convencionales se utilizan velocidades entre 40 y 60mm/s, las cuales se pueden alcanzar prácticamente con cualquier impresora 3D del mercado.
- **Tamaño de las piezas a imprimir.** El tamaño de las piezas que se planea realizar también influye a la hora de elegir una impresora 3D. La mayoría de las impresoras 3D básicas tienen un volumen de impresión de 200x200x200mm pero existen de distintas medidas, Se debe buscar una que se ajuste a las necesidades de cada usuario y así evitar realizar cortes en el diseño, imprimir por partes y después unirlos.
- **Calidad de impresión, Estructura y precisión.** Un aspecto a tener en cuenta es su estructura, puesto que, afecta directamente al funcionamiento, rendimiento y precisión de fabricación, por eso, a la hora de decidir qué impresora comprar, se debe hacer hincapié en esta parte y asegurarse de que la impresora 3D que se elija, sobre todo si es en kit, presente una estructura robusta, estable y duradera

Lo primordial es que los tres ejes (X,Y,Z) estén bien alineados, por ello se recomienda una impresora robusta, donde un golpe accidental no provoque la desalineación de los ejes y que la plataforma esté completamente plana al imprimir, así que se recomienda que la impresora sea fácil de calibrar. Algunas marcas empiezan a añadir la función de autonivelado de la plataforma, lo que proporciona un óptimo acabado de la pieza, con un alto grado de detalle y precisión..

- **Nivel de ruido y tiempos de impresión.** La impresión 3D por adición de material es una tecnología que consiste en fundir y extruir un filamento de plástico, depositando capa por

capa hasta crear el objeto deseado. Y dicho proceso no es tan silencioso como cuando se imprime una hoja de papel. Las impresoras de sobremesa 3D normalmente se utilizan en casa o en la oficina, por lo que es importante tener en cuenta el nivel de ruido al imprimir ya que una pieza de gran tamaño puede tardar varias horas en imprimirse. Teniendo en cuenta los puntos anteriores se realizó una pequeña y concisa comparativa de impresoras que se han destacado actualmente, teniendo en cuenta parámetros importantes, tales como opiniones de terceros, especificaciones y precio

Tabla 3. Comparativa de impresoras 3D

Impresora	Peso (kg)	Velocidad máxima (mm/s)	Tipo de Material	Espesor de la capa	Area de impresión X,Y,Z (mm)	Temperatura max extrusor	Temperatura max cama	Precio (Aprox)
Flyingbear P905x	14 kg	150 mm/s.	PLA, ABS, PETG, PVA, Filamentos flexibles	0.05mm a 0.4mm	280 x 242 x 360	260°C	120°C	1.350.000
Anet A6	9 kg	120 mm / s	ABS, PLA,HIPS	0.1mm a 0.4mm	220 x 220 x 240	260°C	100°C	875.000
WANHAO Duplicator i3	12 kg	70 mm/s	PLA, PVA, PEVA, PLA	0.1mm a 0.4mm	200 x 200 x 180	260°C	100°C	1.300.000
Creality Ender 3	8,5kg	120mm/s	PLA, ABS, TPU	0.1mm a 0.4mm	220 x 220 x 250	250°C	100°C	1.100.000
Ultimaker 3	11.3	300mm/s	PLA, ABS, Filamentos especiales	0.05mm a 0.3mm	215 x 215 x 300	260°C	100°C	10.000.000

Fuente: Elaboración propia.

Considerando la comparativa de las impresoras se optó por elegir la FlyingBear P905x gracias a su excelente calidad/precio, a su gran área de impresión y la robustez que ofrece, especificaciones muy relevante para el desarrollo del presente proyecto.

Características más importantes

- El tablero principal tiene un Ventilador de refrigeración lo que permite a la impresora imprimir durante mucho tiempo y más estable.
- Cada pieza está hecha de metal, lo cual permite una mejor robustez y estabilidad.
- Cama caliente apoyado por Doble eje Z, por lo tanto, en el proceso de impresión será más suave y estable.
- Las carcasas de chapa metálica cuentan con una variedad de orificios de montaje que le permiten modificar la impresora.
- Área de impresión grande, de 280x242x 360mm.

Armado y puesta en marcha de impresora 3D.

Debido a que la impresora 3D viene desarmada tal como se observa en las Figuras 20, Figura 21 y Figura 22, se llevó a cabo un proceso de ensamblaje para posteriormente realizar pruebas sobre su manejo adecuado y puesta en marcha, con el motivo de dejarla funcionando perfectamente.

- **Ensamblaje Impresora 3D**

La etapa de ensamblaje tomó aproximadamente 30 horas interrumpidas divididas en dos partes, mecánica y electrónica

Figura 20. Contenido Kit impresora 3D (1)



Fuente: Elaboración propia

Figura 21. Contenido Kit impresora 3D (2)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 22. Contenido Kit impresora 3D (3)

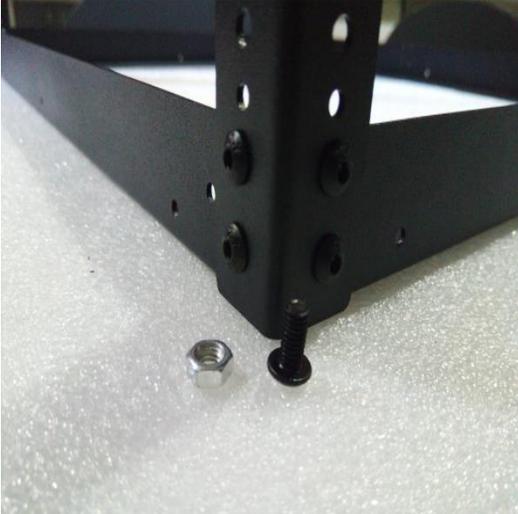


Fuente: Elaboración propia.

- **Montaje de la estructura de acero.**

Como se aprecia en las Figuras 23 y Figura 24 su estructura está completamente hecha en metal, gracias a eso permite una mayor robustez y estabilidad a la hora de imprimir, ya sean piezas pequeñas, grandes y/o llenas de complejidad.

Figura 23. Acople de estructura



Fuente: Elaboración propia.

Figura 24. Estructura armada



Fuente: Elaboración propia.

- **Montaje del eje Z**

Posee doble eje Z tal como se observa en las Figura 25 y Figura 26, lo cual tiene como ventaja una mayor estabilidad y precisión, ya que la cama posee más apoyo a la hora de bajar y subir.

Figura 25. Eje Z (1)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 26. Doble eje Z acoplado



Fuente: Elaboración propia.

- **Montaje de los ejes X y Y**

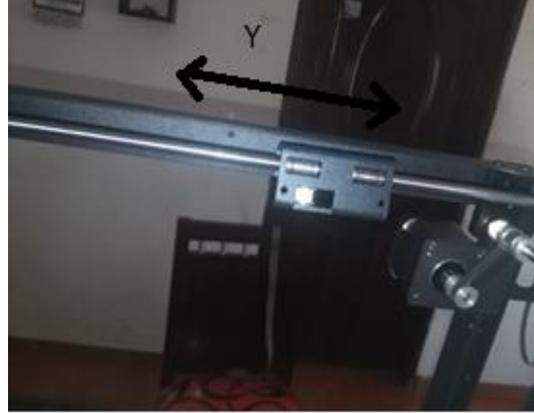
Los ejes X y Y como se observa en las Figuras 27, 28 y 29 son los encargados de mover el extrusor en dichas coordenadas, se desplazan por carriles asistidos por poleas.

Figura 27. Carriles movimientos ejes X y Y



Fuente: Elaboración propia.

Figura 28. Eje Y



Fuente: Elaboración propia.

Figura 29. Eje X



Fuente: Elaboración propia.

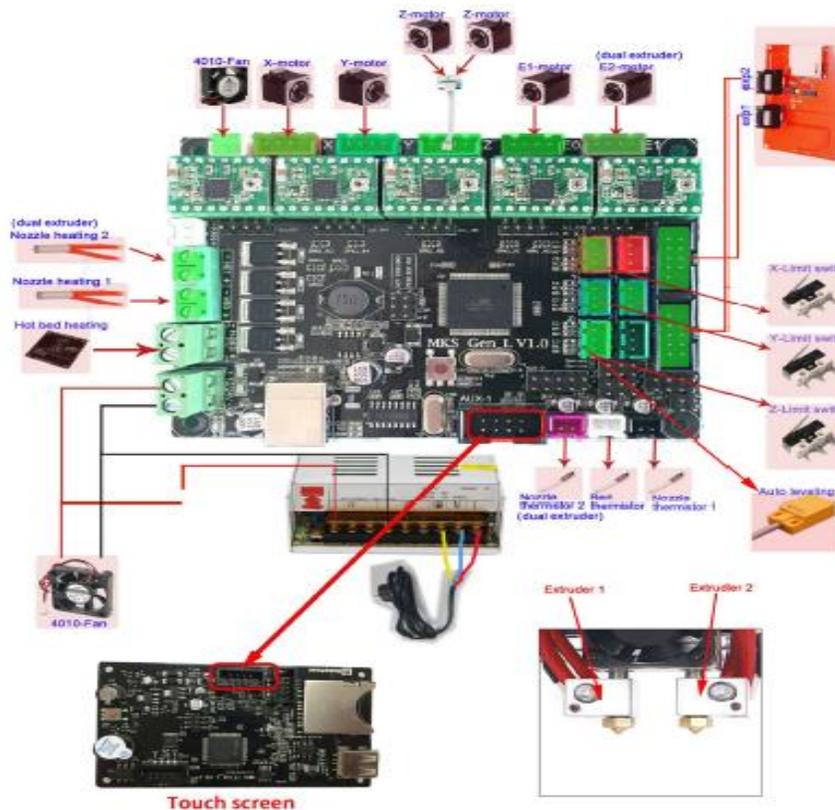
- **Electrónica.**

La impresora 3D cuenta con un esquema eléctrico amplio (Figura 30) que a su vez es completamente controlado por una placa Mainboard MKS-GEN L V1.0 que ha sido desarrollado por Makerbase para optimizar los problemas existentes en la placa controladora de código abierto como Ramps 1.4.

Cuenta con:

- 5 motores nema 17 a 1,7A y 12V
- Fuente de 250 W 20A de alta potencia
- Display compuesto por una matriz multipunto de 128x64 puntos denominado "Full Graphic Smart Controller".
- 3 Ventiladores de refrigeración a 12V
- Cama caliente temperatura de 60-120 °C
- Extrusor con una temperatura máxima recomendada 210 °C (el máximo total 260 °C).
- Sensor inductivo para la nivelación de la cama caliente.
- 2 termocuplas.
- 2 resistencias eléctricas, encargadas de calentar la cama y el extrusor.

Figura 30. Esquema Electrónico

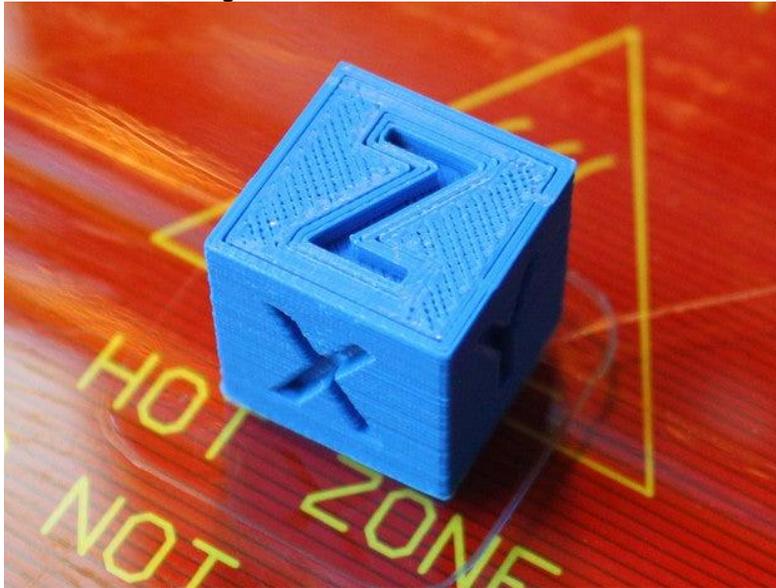


Fuente: FlyinBear(2017)

- **Pruebas técnicas**

Se realizaron todo tipo de pruebas, buscando una mejor adherencia, temperatura ideal para el material, eficiencia y mejor acabados; primeramente se imprimió un cubo de calibración de 20mm x 20mm como se puede apreciar en la Figura 31, que tiene como objetivo despejar el mayor número de dudas.

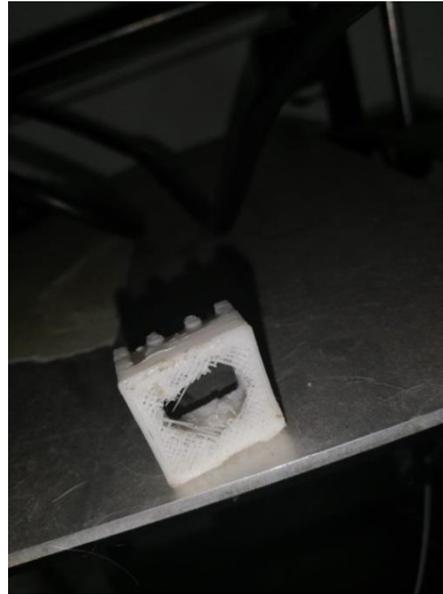
Figura 31. Cubo de calibración



Fuente: iDig3Dprinting (2016). Recuperado de <https://www.thingiverse.com/thing:1278865>

Las primeras impresiones no resultaron como se esperaba (Figura 32), presentaron fallas, algunas esperadas por la falta de experiencia en torno a la impresión como la falta de adherencia y separación de las capas, y esto creará problemas en el futuro ya que pueden arruinar muchas horas de trabajo.

La Figura 32. Prueba experimental 1



Fuente: Elaboración propia.

Hay muchos factores que pueden influir en una mala impresión:

Plataforma no nivelada: Debido a que la cama cuenta con varios tornillos ajustables que controlan su posición, se debe tomar en cuenta la correcta nivelación para que la superficie quede totalmente plana.

Extrusor comienza demasiado lejos de la cama: Una vez que la cama esté correctamente nivelada, se debe colocar el extrusor a la distancia perfecta de la placa de construcción, ni demasiado lejos y ni demasiado cerca, esto ayudándose del sensor capacitivo con el cual cuenta la impresora.

Temperatura: Se debe encontrar la temperatura adecuada para el tipo de plástico que se va a manejar. En el caso del PLA, entre 190°C y 210°C.

Velocidad de impresión: Una alta velocidad no permitiría que las capas inferiores se enfríen lo suficiente y una baja velocidad podría generar atascos.

Figura 33. Prueba 3



Fuente:Elaboración propia.

Luego de varios ensayos y errores, donde se variaba la velocidad, temperatura y demás parámetros se logró el objetivo, un cubo de 20mm x 20mm tal como se puede apreciar en la Figura 34.

Figura 34. Prueba cubo

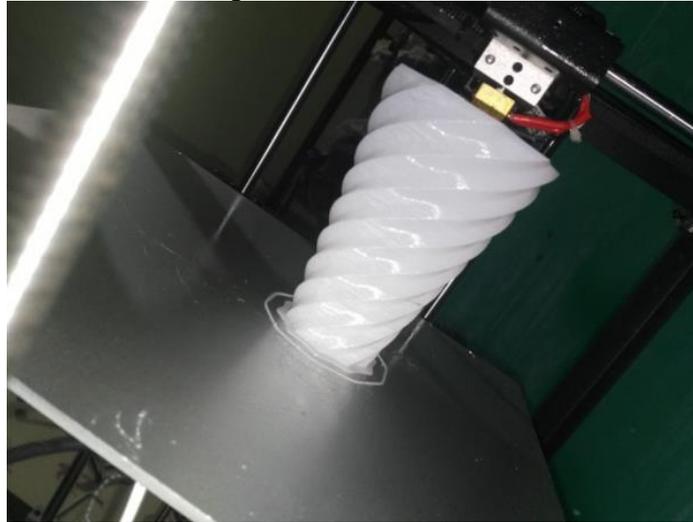


Fuente. Elaboración propia

Se realizaron más pruebas para verificar la flexibilidad de la impresora 3D

Como se puede apreciar en la Figura 35, se planteó imprimir un vaso con una separación de capas mínima, buscando una mejor calidad y así, comprobar el tipo de detalles que puede ofrecer la impresora

Figura 35. Prueba vaso



Fuente:Elaboración propia.

A su vez se realizó una pieza con figuras geométricas picos, zonas vacías y demás complejidades para exigirle a la impresora 3D.

Figura 36: Prueba versatilidad



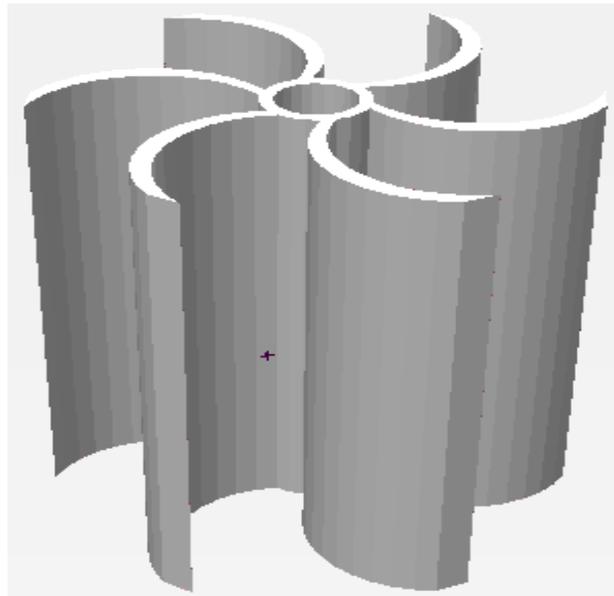
Fuente: Elaboración propia

6.2. Diseño de turbinas.

Para el diseño y construcción de las turbinas, fue suma importancia realizar el análisis y simulación previa mediante el software Soliworks y Tinkercad, para garantizar el funcionamiento en el sistema.

- Turbina piloto.** Se diseñó un prototipo de una turbina piloto (figura 37) para averiguar las cualidades que podría ofrecer la impresora teniendo en cuenta las largas horas de impresión y la calidad de la misma, y a su vez verificar la resistencia del material utilizado PLA (Ácido Poliláctico).

Figura 37. Turbina piloto en 3D



Fuente:Elaboración propia.

Laminación del diseño y posterior impresión. Para la laminación se utilizó el software Repetier-Host El cual se encarga del proceso de laminación que pasa el Archivo 3D (STL) para así, pasarlo a una extensión (Gcode) el cual es una serie de coordenadas XYZ que entienda la impresora 3D.

La impresión de la turbina piloto tardo 5 horas aproximadamente y tal como se puede observar en la figura 38, salió considerablemente bien y cumplió con las expectativas esperadas, ya que nos da una idea real de lo que podemos hacer.

Figura 38. Turbina piloto impresa

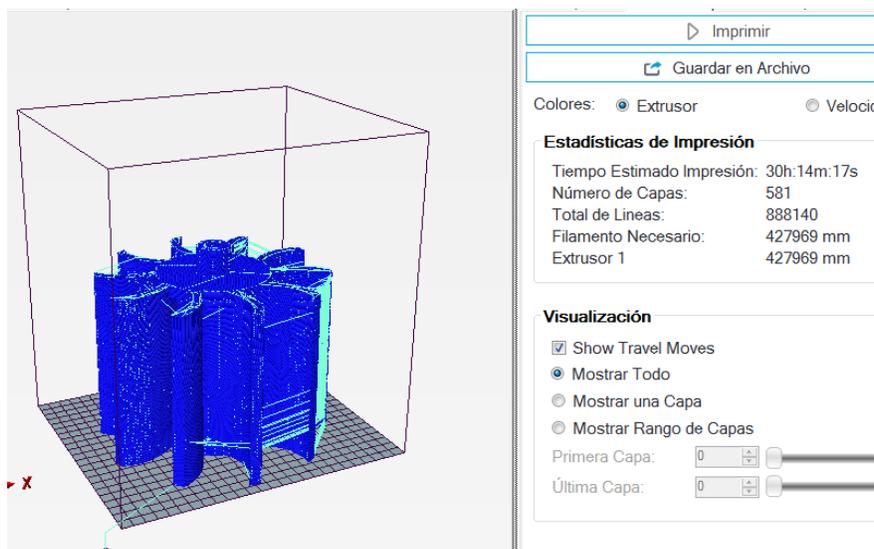


Fuente: Elaboración propia

- **Turbina 1**

Como se puede apreciar en la Figura 29 la turbina uno posee 10 alabes separados 36°, se tomó como base otros modelos teniendo en cuenta su aplicación.

Figura 39. Turbina 1 Gcode



ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

Fuente: Elaboración propia.

Pasadas un poco más de 30 horas, en la Figura 40 puede evidenciar la calidad y dureza de la turbina

Figura 40. Turbina 1 impresa

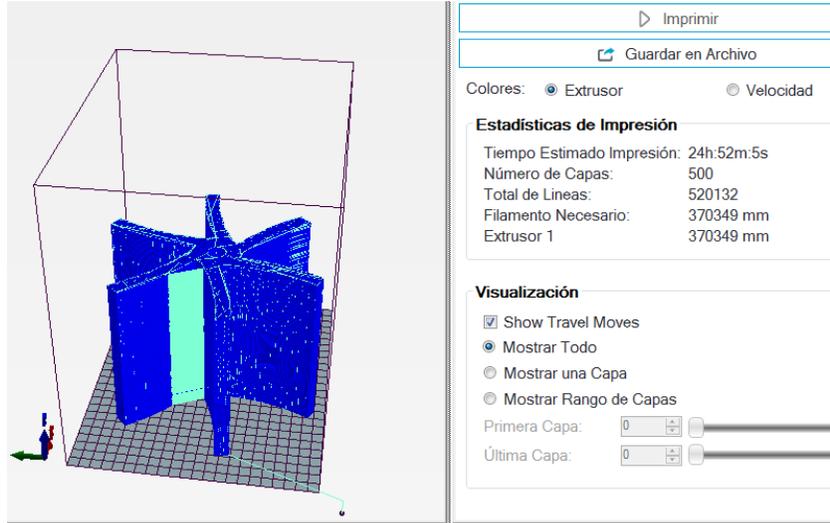


Fuente: Elaboración propia

- **Turbina 2**

La turbina dos es simple, estable y posee 6 alabes

Figura 41. Turbina 2 Gcode

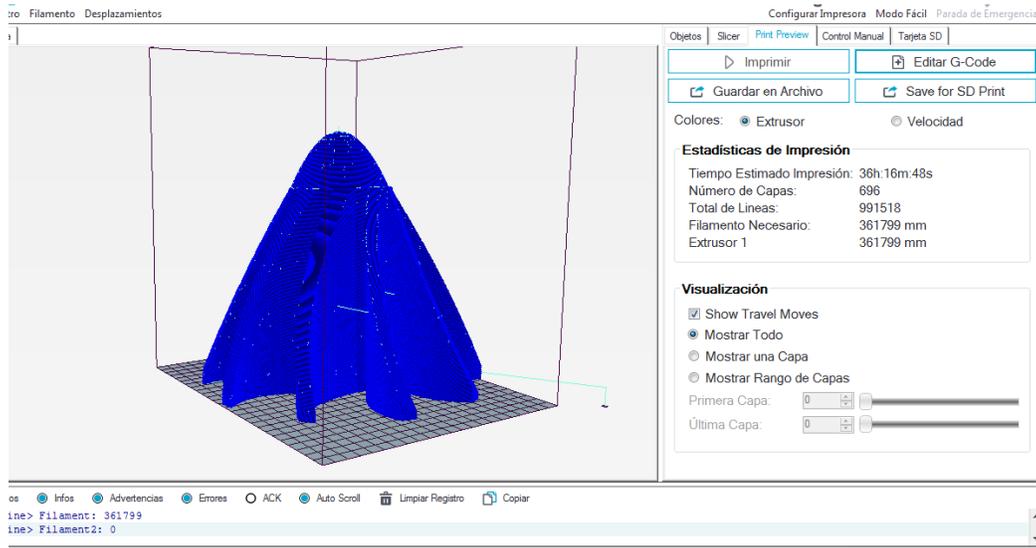


Fuente: Elaboración propia.

• Turbina 3

La turbina 3 posee 8 alabes, y tal como se aprecia en la Figura 42 ha sido modificada tipo embudo para que se acomode a las prestaciones del banco asignado para las pruebas (Figura 50) y así, obtener mejores resultados.

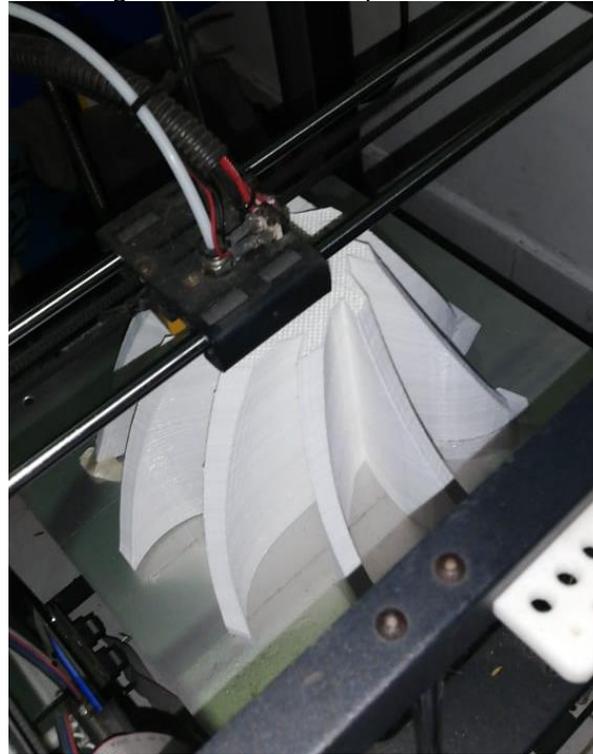
Figura 42. Turbina 3 Gcode



Fuente: Elaboración propia.

El proceso de impresión de cada turbina es largo y tedioso, en la caso de la turbina 3 dicho proceso como se observa en la Figura 43 tomo aproximadamente 38 horas continuas con resultados muy satisfactorios.

Figura 43. Turbina imprimiéndose



Fuente: Elaboracion propia

6.3. PRUEBAS EXPERIMENTALES

Se llevaron a cabo pruebas en donde se buscaba generar energía eléctrica mediante vórtice gravitacional y así evidenciar la factibilidad de imprimir turbinas en 3D para dicha aplicación.

Primeramente se realizaron pruebas rusticas como se puede evidenciar es la Figura 44 y Figura 45, con una silla de madera un arco de madera para anclar el motor generador de corriente y un balde plástico tipo y una bomba eléctrica de agua de ½ hp

Figura 44. Silla y Arco en Madera



Fuente: Elaboración propia.

Figura 45. Bomba de Agua de ½ hp



Fuente: Elaboración propia.

En un segundo proceso los simulacros realizados con la bomba eléctrica de agua fueron favorables ya que como se logra apreciar en la figura 48 se obtiene simular el vórtice necesario para proseguir con las pruebas y aceptación de las turbinas iniciales.

Figura 46. Vórtice de Bomba



Fuente: Elaboración propia.

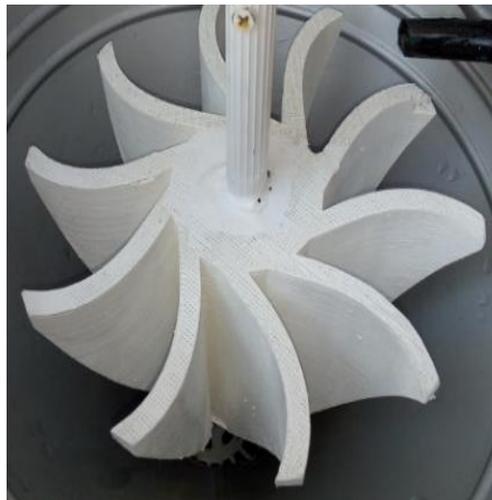
En el tercer proceso se realizaron simulacros con la turbina 1 y los resultados fueron favorables para su utilización, pero se llegó a la conclusión de descartar la turbina 2 (Figura 41), pues no cumplió con las expectativas esperadas, logrando como resultado la implementación de la turbina 1 y turbina 3, seguidamente se utilizó un banco de pruebas suministrado por la universidad para la realizar el anclaje final de los dispositivos.

Figura 47. Anclaje turbina 1



Fuente: Elaboración propia.

Figura 48. Turbina 3



Fuente: Elaboración propia.

Aunque como se observa en la Figura 49, Los resultados obtenidos por el movimiento del vórtice dieron resultados muy bajos casi por debajo del no deseado pero cumplían con el objetivo de generar corriendo de un vórtice.

Figura 49. Resultado 1



Fuente: Elaboración propia.

6.4. BANCO DE PRUEBA GITEDI

Para la implementación del proyecto de grado se reacondiciono un banco de pruebas, perteneciente al semillero de investigación GITEDI de las UNIDADES TECNOLOGICAS DE SANTANDER (UTS), con el fin de medir o comparar los procesos del proyecto de grado de una forma más práctica o acorde a las necesidades del proyecto logrando así presentar resultados reales finales obtenidos anteriormente de las pruebas experimentales iniciales del proyecto donde se estableció los tipos de turbina a usar y sus respectivos elementos de medición

La estructura se encontraba en buenas condiciones para al anclaje de elementos y se evidencio que soportaba elementos de pesados ya que esta estructura tenia anclado una bomba de agua centrifuga, se procedió a lavar la estructura y a pintar del mismo color que ya tenía el banco con su respectivo componente anticorrosivo, esta estructura metálica está constituida por un tablero con elementos análogos de medición electrónicos, para la medición de energía mecánica y eléctrica, cuenta también con un deposita de agua y sus respectivas tuberías de PVC blanco y una bomba centrifuga con sus respectiva conexión eléctrica que succiona agua del depósito y es llevado por presión a una canal metálica donde descarga por método de gravedad a un embudo metálico que deposita el agua succionada de la bomba centrifuga al depósito.

Se utilizó y se reforzó un brazo metálico que el banco de pruebas tenia y se le anclo un motor generador electrónico mc Millan de 1.7 HP con un eje metálico del cual se conectó a la turbina impresora en 3D en el embudo metalico, se le acondiciono una conexión de PVC blanco hacia el embudo metálico con el fin de generar más presión hacia las aspas de la turbina dándole más potencia al giro del vórtice generando corriente eléctrica.

Posee un tablero, el cual está constituido por ventiladores, conexiones para bombillos caseros y dos dispositivos análogos de medición de corriente y amperaje, en el tablero para el proyecto solo se van a usar los sistemas de medición análogos de tensión y amperaje

Se le acondiciono al tablero un sistema de medición electrónica digital (Figura 52) en una caja transparente de acrílico que contiene un circuito electrónico elevador de corriente para mostrar los valores del Motor Generador Mc Millan de 1.7 Hp, este circuito cuenta con un led de color amarillo que indica la entrada de corriente hacia los dos dispositivos análogos de corriente y amperaje ya existentes en el banco de prueba y por medio de un voltímetro digital muestra la información digital en valores numéricos más exactos

6.4.1. Componentes del banco de pruebas

- **Banco de Pruebas.** Como se observa en la Figura 50 es una plataforma metálica para el anclaje de elementos eléctricos, y electrónicos (análogos - digitales), suministrada para medir o comparar procesos físicos.

Esta Plataforma está diseñada para realizar pruebas finales de los proyectos de grado y tesis pertenecientes al semillero de investigación GITEDI de las UNIDADES TECNOLOGICAS DE SANTANDER (UTS).

Figura 50. Banco de pruebas perteneciente al semillero GITEDI



Fuente: Elaboración propia.

- **Amperímetro y Voltímetro Análogos.** La estructura metálica tiene 2 dispositivos análogos DC tal cual se evidencia en la Figura 51, que indica el valor de la variable a medir en forma continua con ayuda de una aguja y se transfiere directamente a una escala de medición haciendo uso solo de las propiedades físicas de los materiales.

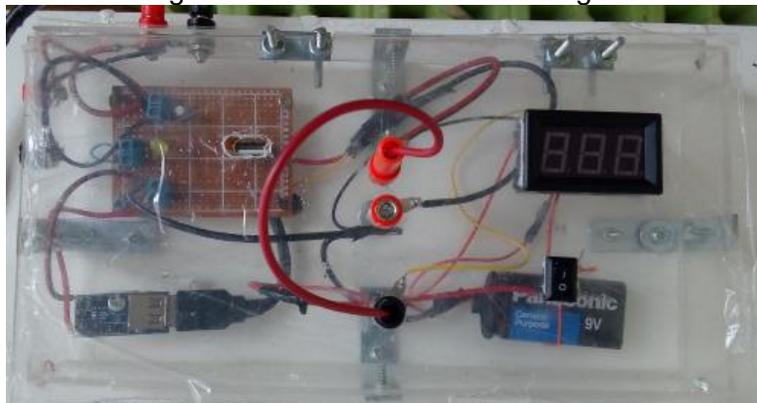
Figura 51: amperímetro y voltímetro instalado en el banco de prueba



Fuente: Elaboración propia.

- **Circuito de Medición Digital.** El banco de Pruebas cuenta con un circuito electrónico diseñado para medir la entrada inicial generada y por medio de un Led que enciende podemos analizar la entrada de corriente deseada, luego con la ayuda del elevador de Voltaje se garantiza una salida por medio de USB de 5 voltios, estos valores los podemos observar en el voltímetro Digital.

Figura 52. Circuito de Medición Digital



Fuente: Elaboración propia.

- **Voltímetro Digital.** El banco de pruebas cuenta con dispositivos electrónicos de medición como el voltímetro Digital que es un instrumento que sirve para medir la tensión eléctrica entre dos puntos de un circuito eléctrico.

Figura 53. Voltímetro digital



Fuente: Elaboración propia.

- **Modulo Elevador de Voltaje.** Es un dispositivo electrónico donde inicialmente tiene una entrada inicial generada de 1 voltio como requerimiento mínimo y lo eleva a 5v dc, ideal para cargar tarjetas u otros dispositivos.

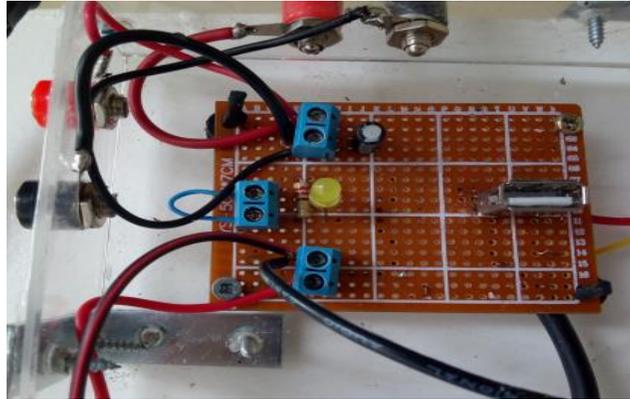
Figura 54. Modulo Elevador de Voltaje.



Fuente: Elaboración propia.

- **Váquela Electrónica.** La váquela es una sustancia sintética, es usada en el área de electrónica para la instalación y creación de circuitos electrónicos, en este caso la vaquela tiene 3 bornes para empalmar la conexión de cables, un led de color amarillo y un dispositivo USB.

Figura 55. Váquela Electrónica



Fuente:Elaboración propia.

- **Embudo Metálico.** El banco de pruebas contiene un embudo metálico (Figura 56) diseñado para que los líquidos lleguen por medio de un canal metálica y caigan en forma circular con la ayuda de la presión y la gravedad, esto genera un vórtice gravitacional que utilizaremos para empujar o arrastrar la turbina generando energía mecánica para la creación de energía eléctrica.

Figura 56. Embudo Metálico.



Fuente: Elaboración propia.

- **Bomba Centrifuga.** Es un elemento Metálico que trabaja con energía eléctrica (110) Voltios y es la encargada de succionar el agua almacenado en un estanque cuadrado proveniente de un banco de pruebas, esta agua viaja por tuberías de PVC y es enviado a una canal donde sale y por medio de gravedad llega a un recipiente metálico en forma de embudo donde se genera el vórtice gravitacional y así la turbina sea impulsada para la generación de corriente.

Figura 57. Bomba Centrifuga



Fuente: Elaboración propia.

- **Recomendaciones y Usos.** Son recomendadas para bombear agua limpia, sin partículas abrasivas y líquidos químicamente no agresivos con los materiales que constituyen la bomba.

Las bombas centrifuga JSW han sido diseñadas para aspirar agua aún en presencia de gas mezclado con el líquido bombeado. Por su confiabilidad y simplicidad en el uso son aconsejadas para el uso doméstico, especialmente para la distribución de agua acoplada a pequeños o medianos tanques de presurización, para la irrigación de huertos o proyectos estudiantiles.

La instalación se debe realizar en lugares cerrados o protegidos de la intemperie.

- **Normas de Seguridad.** Las Bombas Centrifugas están regidas por sistemas de seguridad confiable bajo los estándares internacionales y nacionales.
 - EN 60335-1
 - IEC 60335-1
 - CEI 61-150
 - EN 60034-1
 - IEC 60034-1
 - CEI 2-3

- **Certificaciones Normas de Seguridad.** Las certificaciones son están bajo estándares Internacionales
 - Empresa con sistema de gestión certificado DNV
 - ISO 9001: CALIDADISO
 - 14001: AMBIENTE

La línea de producción cumple plenamente con las normas internacionales de control de calidad de procesos UNI EN ISO 9001:2015.

- **Consumo Eléctrico.** Las Bomba centrifuga JSW1, tal como se aprecia en la Tabla 4 y Tabla 5, tiene especificaciones estándar de fábrica, garantizando el desempeño y un consumo energético confiable.

Tabla 4 Consumo de potencia Modelo JSW1

MODELO		POTENCIA (P2)	
MONOFASICA	TRIFASICA	kW	HP
JSWm 1C	JSW 1C	0.37	0.50
JSWm 1B	JSW 1B	0.48	0.65
JSWm 1A	JSW 1A	0.55	0.75

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Consumo en Amperios

MODELO	TENSION		
MONOFASICA	220V	110V	127V
JSWm 1C	3.0 A	6.0 A	5.6 A

JSWm 1B	3.3 A	6.6 A	6.2 A
JSWm 1A	4.0 A	8.0 A	7.3 A

Fuente: Elaboración propia.

- Ficha Técnica**

Tabla 6. Ficha técnica de la Bomba Centrífuga

ATRIBUTO	DETALLE
Garantía	2 años
Modelo	JSWm 1B X-N
Altura elevación máxima	41 Metros
Contenido	1
Material	Hierro
Certificación	ISO 9001
Diámetro succión	1°
Caudal máximo	55 Litros por minuto
Función	Ideal para bombear agua limpia, elevación de pozos profundos, llenado de tanque y como equipo de presión.
Largo	18 Cm
Origen	Italia
Caudal máximo	55 litros por minuto
Uso	Domestico
Diámetro descarga	Civil
Ancho	18 Cm
Potencia	+
Color	Azul
Corriente	Monofásica
Tipo	Jet en Hierro
Amperaje	6.7 A
Características	Electrobomba fabricada en hierro, motor bobinado en cobre, impulsador en Noryl, eje en acero inoxidable, alto rendimiento y trabajo continuo por 24 horas.
Altura máxima (cabeza)	41 Metros
Voltaje	110v

Fuente: Tienda Online Homecenter

- Componentes de las Bombas Centrífugas.** Existe una gran diversidad de modelos para la serie JSW1, que es la serie que vamos a utilizar en el proyecto

Tabla 7. Bomba Centrífuga JSW1

COMPONENTE	CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS				
Cuerpo bomba	Hierro fundido con tratamiento de cataforesis con bocas roscadas				
Tapa	Acero inoxidable AISI 304				
Grupo eyector	Noryl FE15PW				
Rodete	Acero inoxidable AISI 304				
Eje motor	Acero inoxidable EN 10088-3				
Sello mecánico	Sello	Eje	Anillo fijo	Anillo movil	Elas...
	AR-14	Ø 14 mm	Cerámica	Grafito	NBR
Rodamientos	6201 ZZ				
Condensadores	Electrobomba	Capacidad			
	JSWm 2C	20 µF - 450 VL			60 µF - 300 VL
	JSWm 2B	25 µF - 450 VL			60 µF - 300 VL
	JSWm 2A	25 µF - 450 VL			60 µF - 300 VL
Motor eléctrico	JSWm monofásico 220v 60Hz con protección térmica incorporada en el bobinado JSW				

Fuente: Pedrollo S.p.A

- **Motor generador eléctrico mc millan.** Un motor Generador eléctrico (Figura 58) es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica mediante interacciones electromagnéticas. Algunos motores eléctricos son reversibles, pueden transformar energía mecánica en eléctrica funcionando como generadores.

La clave del funcionamiento del generador eléctrico se encuentra en la llamada Ley Faraday, que establece, textualmente, para generar una corriente eléctrica debe haber un movimiento entre el conductor y el campo magnético ya que “el voltaje inducido en un circuito cerrado es directamente proporcional a la rapidez con que cambia en el tiempo el flujo magnético que atraviesa una superficie cualquiera con el circuito como borde”.

En otras palabras, el generador eléctrico emplea un campo magnético para generar un movimiento de electrones y producir energía eléctrica.

Figura 58. Bomba Electrica Millan 1.7 hp



Fuente: Elaboración propia.

- **Clasificación.** Las máquinas eléctricas rotantes tienen la particularidad de convertir energía eléctrica en mecánica o viceversa.

Una primera clasificación que puede hacerse es por su función:

- **Generador:** máquina que produce energía eléctrica por transformación de la energía mecánica.
- **Motor:** máquina que produce energía mecánica por transformación de la energía eléctrica.

Convertidor rotativo que convierte energía eléctrica de una forma a otra (cambiando frecuencia, convirtiendo corriente alterna en continua etc.) máquina muy utilizada en el pasado.

Si se clasifican por la fuente de energía que las alimenta o que representan se tiene:

- Máquinas de corriente continua
- Máquinas de corriente alterna

Estas últimas por sus características constructivas y de velocidad se clasifican en:

- Máquinas asincrónicas
- Máquinas sincrónicas

- **Normas internacionales.** Los motores cumplen con las normas, prescripciones y recomendaciones VDE, ICONTEC e IEC; entre las que se pueden resaltar las siguientes:

- VDE 0530: Prescripciones para máquinas eléctricas.
- Publ. IEC 34-1: Recomendaciones para máquinas eléctricas rotativas.
- Publ. IEC 72-2: Recomendaciones para motores normalizados.
- DIN 42673, Indicación de potencias nominales y medidas
- DIN 42 677, Indicación de potencias nominales y medidas
- Publ IEC 34-2-1: Métodos para determinación de eficiencia
- Publ IEC 34-30: Clasificación de eficiencia de motores
- Publ NEMA MG1: Recomendaciones constructivas y de ensayo para motores y generadores.

El banco de pruebas tiene anclado por diseño una Bomba de agua conectado por un sistema de conductos en PVC, para adsorber el agua de un punto y llevarlo a otro.

Figura 59. Bomba centrífuga



Fuente:Elaboración propia.

figura 60. Bomba y tubería



Fuente: Elaboración propia.

- **Instalación y empalme del motor generador.**

Como se puede observar en la figura 61, el motor esta anclado a la estructura y para ello se llevaron a cabo los siguientes pasos.

- Se precede con la instalación del motor generador en el brazo metálico que el banco de pruebas ya tiene instalado, se encuentra sujeto con un tornillo común y un tornillo de $\frac{3}{4}$ de madera tipo rápido.
- Se procede a pintar el Motor Generador de color Plateado Metálico.
- Se procede a empalmar dos cables de corriente positivo (rojo) y Negativo (negro), hacia el tablero del banco y poder realizar las pruebas del estados de los dispositivos del tablero.

Figura 61.Motor Generador



Fuente: Elaboración propia

- Luego que el Motor Generador este anclado al brazo metálico se procede a empalmar el cable a los dispositivos análogos y digitales como se observa en la Figura 62, ya establecidos en el tablero de pruebas del banco.

Figura 62. Tablero Banco de pruebas
tablero

Figura 63. Empalme Motor generador al
tablero



Fuente: Elaboración propia. Fuente: Elaboración propia.

- Se procede al llenado de agua en el depósito, con el objetivo de ser absorbido por la turbina y enviado a presión por una tubería de PVC hacia una canaleta metálica y una salida por manguera donde finalmente se crea el vórtice gravitacional

Figura 64. Llenado del depósito

Figura 65. Canaleta Metálica



Fuente: Elaboración propia.

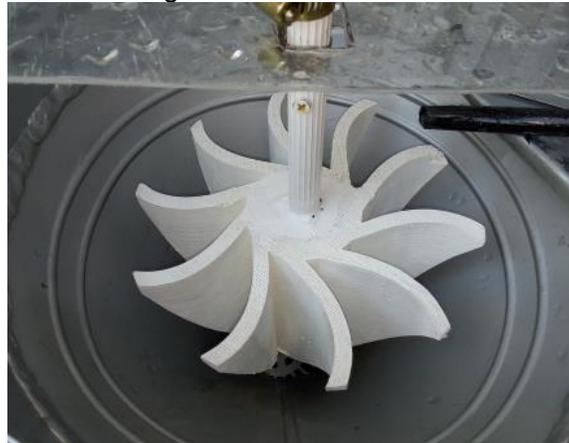


Fuente: Elaboración propia.

Pruebas realizadas en el banco

Se decide utilizar la turbina No 3 debido a los resultados experimentales hechos anteriormente y el resultado fue ideal, adaptándose mejor a las necesidades y forma del embudo metálico que está instalado en el banco tal como se evidencia en la Figura 66.

Figura 66. Turbina No 3



Fuente: Elaboración propia.

La turbina se posiciona respecto al Embudo Metálico del banco de prueba y está sujeta con abrazaderas metálicas y pasadores guía.

Figura 67. Anclado



Fuente:Elaboración propia.

Se organizan los cables del Motor Generador que va hacia el tablero del banco con el objetivo de prevenir un accidente o corto electrico, esto a su vez garantiza que no existan inconvenientes indeseados a la hora de encender el los dispositivos.

Figura 68 organización de cables en canaleta blanca



Fuente: Elaboración propia.

Luego de verificar que el Motor Generador, La Bomba Centrífuga y el depósito este lleno de agua, se procede al encendido de la moto bomba con un interruptor blanco instalado en la base del banco de pruebas para la creación del vortice Gravitacional (Figura 69).

Figura 69. Dispositivo electrico encendido Bomba Centrífuga



Fuente: Elaboración propia.

Se procede con limitar la salida de agua hacia el depósito de agua, porque la salida inicial tiene un agujero muy grande hacia el depósito tal como se observa en la figura 70, esto hace que el embudo descargue rápido el agua y no se genere el vortice gravitacional deseado

La solución más rápida fue colocar una botella plástica cortada por la mitad, esto hace que la salida se limite por el agujero de la botella .

Figura 70. Parte inferior del embudo metálico



Fuente: Elaboración propia.

Luego que el embudo metalico este con el desagüe limitado, se evidencia el llenado de agua en la turbina y se crea el vortice gravitacional deseado, entonces se abren las perillas de los conductos de PVC , con el objetivo de generar presión en el vortice y con esto se mueva la turbina.

Figura 71. Alimentación Vortice por Presión y Caída libre



Fuente: Elaboración propia.

Como evidencia en la Figura 72 el movimiento circular de la turbina anclada por un eje con abrasaderas al Motor Generador gire en forma circular y así genere corriente eléctrica.

Figura 72. Movimiento circular de la turbina



Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que la corriente eléctrica viaja sin problemas por el cable eléctrico anteriormente empalmado y colocado en canaleta blanca hacia el tablero sin mayor novedad o contratiempo.

Luego se evidencia que los dispositivos análogos mostraron movimientos en las agujas y mostrando los valores senoidal generados por el Motor Generador.

Se evidencia que los dispositivos digitales muestran con precisión el valor real de corriente DC entrante del Motor Generador.

Figura 73. Dispositivos Análogos con valores



Fuente: Elaboración propia.

Figura 74. Led encendido y valor Digital



Fuente: Elaboración propia.

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Primeramente procedemos a revisar los valores obtenidos por los dispositivos análogos (Figura 75) de la energía eléctrica generada por el Motor Generados gracias al movimiento de la turbina.

Los valores obtenidos en el voltímetro Análogo Marcan **2 Voltios**
Los valores obtenidos por el amperímetro análogo marcan **0.2 Amp**

Figura 75. Valores de los Dispositivos Análogos (Amperímetro y Voltímetro)

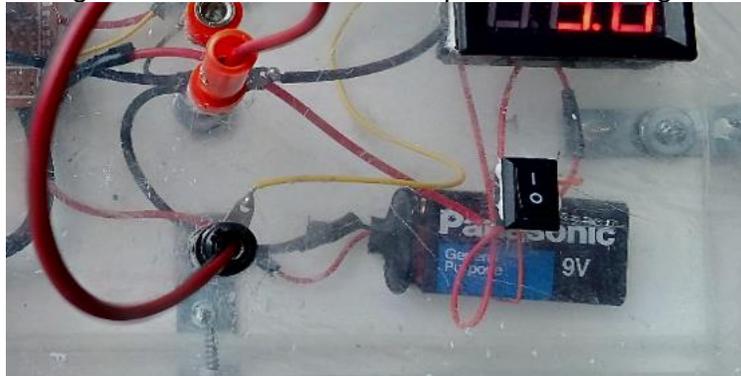


Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 76, los cables eléctricos provenientes del Generador hacia los dispositivos análogos están conectados también hacia los dispositivos digitales en el tablero del banco de pruebas.

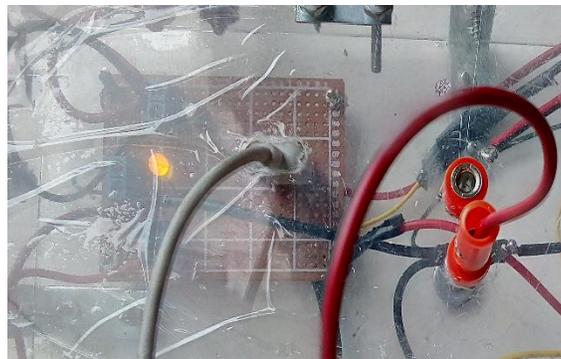
Se procede al encendido del dispositivo digital y observamos que llega energía por medio del Led de color amarillo tal como se evidencia en la Figura 77.

Figura 76. Boton encendido dispositivo Panel digital



Fuente: Elaboración propia.

Figura 77. Encendido Led Amarillo Panel Digital

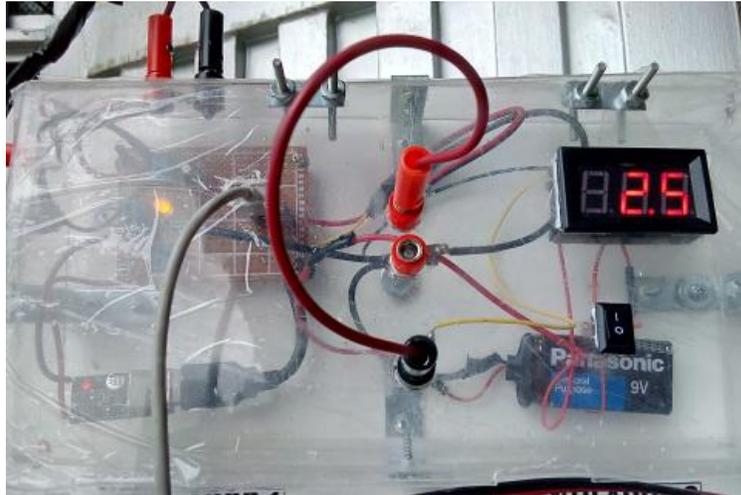


Fuente: Elaboración propia.

Los valores mostrados en los dispositivos digitales fueron a un más reales y precisos, lo registros fueron mayores que los establecidos en las pruebas experimentales.

Los valores iniciales de entrada al led amarillo mostraron valores iniciales de 2,5 Voltios (Figura 78).

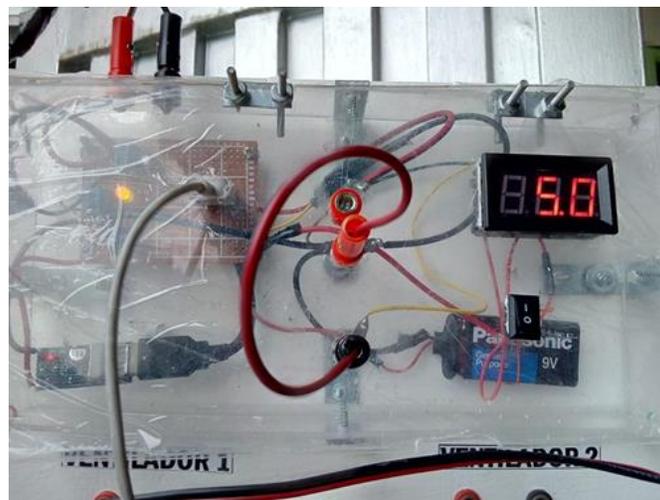
Figura 78. Visualización de voltaje inicial.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la figura 79, ese voltaje proveniente del led pasa al módulo elevador de voltaje para amplificar el voltaje obtenido de 2.5 v a 5 v.

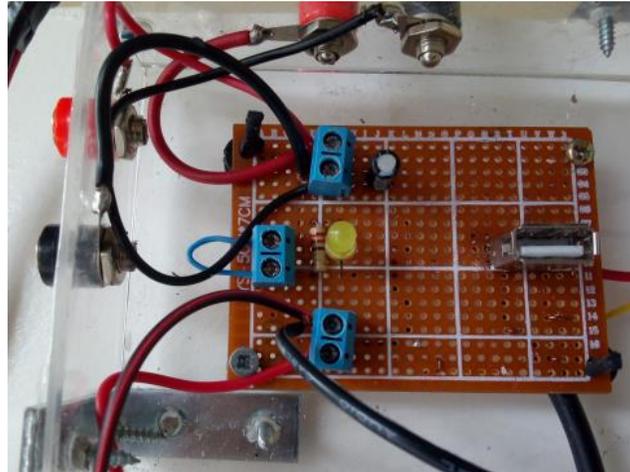
Figura 79. Voltaje después del módulo elevador



Fuente: Elaboración propia.

Luego de verificar en el voltímetro digital el valor deseado, se procede a conectar un dispositivo móvil por medio de USB y como se evidencia en la figura 81, el dispositivo cargaba correctamente.

Figura 80. Dispositivo USB en Vácuula del Tablero Digital



Fuente: Elaboración propia.

Figura 81. Dispositivo Móvil conectado por USB Cargando.



Fuente: Elaboración propia.

8. CONCLUSIONES

Se diseñó e imprimió varios modelos de turbinas donde se pudo destacar 3 modelos como se evidencia a lo largo del archivo, en el cual se pudo comprobar la utilidad y el desempeño de cada una en el banco de pruebas. Dado el método de fabricación que se dio mediante la superposición de capas sucesivas de material el costo de la producción

de los prototipos fue accesible. El modelo de turbina seleccionado para la generación de energía eléctrica por el método de vórtice gravitacional donde se tuvo en cuenta altura y anchura de las aspas, el material de fabricación entre otras cosas fue la turbina 3 dado que en este prototipo se pudo evidenciar mejores resultados.

La impresora seleccionada fue la impresora 3D flayingbear P905x y el filamento PLA ya que estos cumplía todos los parámetros necesarios para la fabricación de los diferentes prototipos de turbinas, además el filamento PLA es un material biodegradable, este tiene un menor impacto ambiental a comparación de otros filamentos igualmente tiene una estabilidad considerable necesaria para el buen funcionamiento de la turbina.

Se acondiciono el banco de prueba para probar los diferentes prototipos de turbinas donde se pudo evidenciar que el material, las dimensiones y el peso de las turbinas puede afectar en la generación de energía eléctrica por el método de vórtice gravitacional, ya que factores como la presión y el flujo del agua que se traslada por medio del banco si no es la adecuada puede intervenir en el buen funcionamiento de las turbinas. Por este motivo en el banco se encuentra una bomba centrífuga encargada de hacer posible la estabilidad de estos dos factores que en conjunto con la turbina cumple el objetivo de generar corriente eléctrica limpia a partir de fuentes renovables, demostrando lo viable de este proyecto.

9. RECOMENDACIONES

- Se recomienda hallar la manera de generar corriente alterna para ser más fácil su traslado a larga distancias.
- Se recomienda una actualización en el diseño de la turbina con el fin de aumentar el tamaño de las hélices para tener mejor movimiento.
- Mejorar el diseño del embudo metálico con el fin de mejorar el almacenamiento del agua.
- Rediseño de la base del generador, o en su defecto optar por reemplazarlo, ya que gira en el sentido contrario.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3D Printing Industry. The Free Beeginer's Guide. Recuperado de:
<http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/>

A.T. Kearney (2015). 3D Printing: A Manufacturing Revolution. Recuperado de:
<https://www.atkearney.com/documents/10192/5992684/3D+Printing+A+Manufacturing+Re+volution.pdf/bf8f5c00-69c4-4909-858a-423e3b94bba3>

Aguirre, S. A. (2018, 23 mayo). Los países de Latinoamérica donde más se paga por la electricidad. Recuperado de <https://es-us.finanzas.yahoo.com/noticias/>

Alerta por daño ambiental de hidroeléctricas en Colombia. (2016, 18 agosto). El Espectador. Recuperado de <https://www.elespectador.com>

Almario, M. A. C. (2014, 31 octubre). Barrancabermeja, la ciudad que más pérdidas de energía genera en la zona. Vanguardia. Recuperado de <http://www.vanguardia.com>

Atos (2014). 3D Printing. Recuperado de: <https://atos.net/content/dam/global/ascent-whitepapers/ascent-whitepaper-3dprinting.pdf>

Barnard. (2017). Kouris Centri-Turbine (KCT). Recuperado de <http://www.barnardhsi.com/hydro-turbines.html>

Barrancabermeja del paraíso laboral al infierno del desempleo. (2017). Carácter. Recuperado de <http://www.caracter.co>

Business for Social Responsibility (2015). 3-D Printing: Sustainability Opportunities and Challenges. Recuperado de: <http://www.bsr.org/>

Cálculo fácil de la energía que podemos obtener de un salto de agua. (2011, 2 noviembre). Recuperadode <http://todoproductividad.blogspot.com/2011/11/calculo-facil-de-la-energia-que-podemos.html>

Carranza, D. C. A. (2016, 19 agosto). Chile y Colombia, los países que más pagan por energía en América Latina. La Republica. Recuperado de <https://www.larepublica.co>

Computer Sciences Corporation (2012). 3D Printing and the Future of Manufacturing. Recuperado de http://assets1.csc.com/innovation/downloads/LEF_20123DPrinting.pdf

Conde, J. E. L. C. (2016, 11 marzo). Impresoras 3 D. Recuperado de https://intranet.bibliotecasgc.bage.es/intranet-tmpl/prog/local_repository/documents/17854.pdf

DL2G Consultoría de Formación S.L.. (s.f.). Potencia y Energía Hidráulica.. Recuperado de <http://www.campusenergia.com/blog/item/313-potencia-y-energía-hidráulica>

Goyeneche, M. G. (1995, 7 octubre). HIDROELÉCTRICAS, PROBLEMA O SOLUCIÓN. El Tiempo. Recuperado de <http://www.eltiempo.com>

Gravitations. (s.f.). Recuperado de: <http://gravitationswirbel.home.tele2net.at/index.html>

Guías impresión 3D. (2018, 14 marzo). ¿Cuánto cuesta imprimir en 3D? Recuperado de https://www.3dfils.com/es/blog/14_costeimpresion3d

Hernández S., R., Fernández C., C. y Baptista L., P. (2003). Metodología de la investigación. México. Editorial McGraw-Hill.

Hidroeléctricas en Riesgo. (2017, 28 agosto). El Colombiano. Recuperado de <http://www.elcolombiano.com/opinion/editoriales/>

Impresoras3dblog. Impresoras 3D. Recuperado de: <https://impresoras3dblog.wordpress.com/>

La guía definitiva sobre los distintos filamentos para impresoras 3D. (2018, 1 enero). Recuperado de <https://www.impresoras3d.com/la-guia-definitiva-sobre-los-distintos-filamentos-para-impresoras-3d/>

La impresión 3D y el medio ambiente. (2017). Recuperado de <http://impresiontresde.com/post-de-prueba/>

La turbina. (2017). Recuperado de http://orizzontenergia.it/testi.php?id_testi=223&titolo=Le+Turbine#Ancora5

Loaiza, P. F. L. J. (2015). Generación eléctrica basada en vórtice gravitacional, una opción para la provisión sustentable de energía eléctrica en la zona rural del cantón Loja. (Tesis de ingeniera) Universidad Técnica Particular de Loja. Loja, Ecuador.

Londoño, I. O. L. (2017). Impactos ambientales, sociales y económicos de las pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH) en Antioquia (Tesis de Maestría). Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.

Observatorio Energético Minero (Osinergmin). (2017a). Tarifas eléctricas residenciales en latino América. Recuperado de <http://observatorio.osinergmin.gob.pe>

Observatorio Energético Minero (Osinergmin). (2017b). Tarifas eléctricas industriales comerciales Latinoamérica. Recuperado de <http://observatorio.osinergmin.gob.pe>

Parámetros básicos en el cálculo de una micro central hidroeléctrica. (s.f.). Recuperado de: <http://www.saltosdelpirineo.com/equipos/autoconsumo/calculo.pdf>

Roman, V. (2018, 23 de mayo). Colombia se pone al día en el uso de energías renovables. El Espectador. Recuperado de <https://www.elespectador.com>

Saenz, J. S. V. (2017, 7 agosto). En penumbras: 2,5 millones de colombianos no tienen energía eléctrica. El Espectador. Recuperado de <https://www.elespectador.com>

Sierra, F. E. S. V., Sierra, A. F. S. A., & Guerrero, C. A. G. F. (2011, 25 julio). Pequeñas y microcentrales hidroeléctricas: alternativa real de generación eléctrica. Recuperado de <http://revistas.sena.edu.co/>

Sistema de Información Eléctrico Colombiano. (2018). Informe mensual de variables de generación y del mercado eléctrico colombiano. Recuperado de http://www.siel.gov.co/portals/0/generacion/2018/Informe_de_Variables_Mar_2018.pdf

Souppouris, A. S. (2012, 6 febrero). Doctors use 3D printing to rebuild a woman's jaw. Recuperado de <https://www.theverge.com/2012/2/6/2774775/3d-printing-prosthetic-jaw>

The World Bank Group. (2017). Electricity production from renewable sources, excluding hydroelectric (kWh). Recuperado de <https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.RNWX.KH>

U.S. Energy Information Administration. (2017). How much of world energy consumption and production is from renewable energy? Recuperado de <https://www.eia.gov/>

Velez S., C. (2001). Apuntes de metodología de la investigación. Departamento de Ciencias Básicas Universidad EAFIT. Medellín – Antioquia.

Wikipedia (2017). 3D Printing. Recuperado de: https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing

Wikipedia (2017). Impresión 3D. Recuperado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Impresi%C3%B3n_3D

Wikipedia (2017). Impresora 3D. Recuperado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Impresora_3D

Wikipedia. (2017). Gravitation water vortex power plant. Recuperado de https://en.wikipedia.org/wiki/Gravitation_water_vortex_power_plant

Wikipedia. (2017). Gravity well. Recuperado de https://en.wikipedia.org/wiki/Gravity_well

Wikipedia. (s.f.). Turbina. Recuperado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Turbina>

World Economic Forum. (2017). Global Energy Architecture Performance Index Report 2017. Recuperado de http://www3.weforum.org/docs/WEF_Energy_Architecture_Performance_Index_2017.pdf

11. ANEXOS

- a. Manual de usuario
- b. Software Repetier-Host
- c. Software Inkscape
- d. Diseños Gcodes