



Generación de energía eléctrica mediante fluidos hidráulicos.

Javier Andrés Sánchez Barragán
Código: 1120011310

Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano
Ingeniería Industrial

Bogotá D.C., Colombia
2019

Índice

Resumen del Proyecto:.....	1
1. TITULO DE LA PROPUESTA:	2
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:.....	2
3. OBJETIVOS	3
4. JUSTIFICACIÓN:	4
5. MARCO TEÓRICO.....	4
6. ESTADO DEL ARTE.....	12
7. METODOLOGÍA	19
7.1 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LA TURBINA.....	20
7.2 DISEÑO DE LA TURBINA Y COMPONENTES.....	21
7.3 CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO.....	30
7.4 RESULTADOS Y MEDICIONES	33
8. CONCLUSIONES	34
9. CRONOGRAMA.....	35
10. BIBLIOGRAFÍA	36

Resumen del Proyecto:

Las energías renovables son una alternativa solvente para suplir la demanda energética en zonas apartadas y mitigar los efectos del cambio climático, muchas poblaciones alrededor del mundo carecen de electricidad por la dificultad para llevar el servicio a esas áreas, por ende, se busca el desarrollo y diseño de nuevas fuentes que puedan ser transportadas e instaladas en dichos sitios y que además suplan la demanda energética de forma sencilla y económica.

Una perspectiva de estas opciones energéticas es el ahorro que podría darse al ser instaladas en sitios que ya cuentan con una red eléctrica reduciendo costos de consumo y así mismo devolviendo fluido eléctrico al sistema nuevamente como lo es en algunos casos que la generación de energía suple las necesidades energéticas y el sobrante es devuelto a la red eléctrica, de esta forma se genera un ahorro.

La idea principal es diseñar y fabricar un modelo que nos permita generar energía mediante fluidos hidráulicos, se busca diseñar el sistema para evitar las máximas pérdidas energéticas e inerciales posibles, ya dicho lo anterior se prevé diseñar la turbina teniendo en cuenta los trabajos similares e investigaciones previas para así establecer la mejor forma estructural para la turbina, esta forma está sujeta a datos dados de la planta de aguas negras de la institución universitaria Politécnico Grancolombiano que se toman como referente de caudal y presión para así tener los criterios que nos permitan fabricar el modelo mas adecuado.

Ya teniendo el modelo podemos medir y dar conclusiones respecto a los resultados adquiridos y así saber el alcance energético de la turbina y su capacidad, es decir, que podemos hacer con los resultados, que se puede llegar a alimentar con lo producido y los factores que influyen con la eficiencia del modelo, además de factores como los materiales de fabricación de la turbina y sus componentes.

En el mundo el recurso más valioso es el hídrico, aprovechar sus ventajas (como la energética) supone un alivio a problemáticas sociales y culturales que padecen poblaciones, además es bien sabido que la mayoría del fluido eléctrico se genera con fuentes hídricas, entonces se puede fabricar soluciones a menores escalas para suplir las necesidades en pequeñas comunidades donde esté cerca afluentes pequeños o medianos para su uso.

Palabras Claves: Turbina, fluidos, energía.

1. TITULO DE LA PROPUESTA: Generación de energía eléctrica mediante fluidos hidráulicos.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

La generación de energía en el mundo ha visto cambios enormes en su producción, pasando desde simple curiosidad en la época antigua a volverse parte necesaria de la vida moderna y donde todo requiere energía eléctrica para su funcionamiento, desde prender un bombillo hasta para la producción en serie de algún producto, pero es bien sabido que la producción energética no es del todo amigable con el medio ambiente y tiene ciertos riesgos sociales, ambientales y biológicos.

En la época nuclear la energía eléctrica fue producida por plantas nucleares que generaban altas cantidades de energía para poblaciones enteras pero estas plantas sufrieron fallas y una de las más lamentables de la historia reciente es la de la planta nuclear de Chernóbil que generó grandes cantidades de toxicidad y radioactividad en el ambiente y que hasta el día de hoy sigue con niveles altos de radioactividad, otro suceso desafortunado fue el terremoto en Japón en el 2011 que produjo que la planta nuclear de Fukushima fuera destruida, este suceso comparte la escala de desastre junto a Chernóbil.

Dada la historia reciente se ha buscado la manera para producir energía limpia y eficiente sin requerir grandes represas o plantas nucleares que puedan producir efectos negativos en la población y en la naturaleza, un ejemplo de esto es la energía eólica que es propulsada por el viento gracias a unas turbinas diseñadas para captar toda corriente que pase por sus aspas, la energía solar que es producida por los rayos solares que son captados por unos paneles fotovoltaicos que convierten la energía generada por el sol en energía eléctrica y por último la producción de energía por medio de fluidos hidráulicos en una escala menor a las represas.

¿Para qué se ha buscado alternativas en la producción de energía?, en muchos países existen lugares donde no se puede llevar una red eléctrica por la dificultad del terreno o su lejanía de las capitales o pueblos, entonces la idea es buscar alternativas que satisfagan la necesidad eléctrica de estas poblaciones y por ende mejorar la calidad de vida, en muchos países con deficiencia eléctrica este tipo de soluciones permitirían un desarrollo social, económico y energético en proporción a su uso y su eficacia.

En la India se han realizados estudios y proyectos que le permitan a las poblaciones alejadas tener electricidad, debido a su dificultad geográfica no han logrado llevar a cabalidad una red eléctrica que supla las necesidades del 100% de la población y mucho menos de los agricultores, así que personas se pusieron manos en acción y han permitido por medio de mini generadores hidráulicos mejorar la calidad de vida de estas personas.

En Colombia muchos municipios, caseríos o poblaciones carecen de energía eléctrica por la variabilidad topográfica y el atraso evidente en la renovación e implementación de nuevas redes eléctricas y por ende es de gran ayuda estas soluciones energéticas además por la posición geográfica del país donde las energías renovables pueden ser utilizadas ya que en el país no hay

estaciones que oculten el sol o congelen sus ríos (Colombia tiene una cantidad considerable de ríos y afluentes).

Dado lo expuesto hasta el momento se determinó estudiar el uso de fluidos hidráulicos (uso de los ríos o canales) para la generación eléctrica, la idea es establecer modelos, diseños y parámetros adecuados para la generación eficiente de energía dependiendo de las necesidades que se presenten, por ejemplo, en la universidad Politécnico Granacolombiano se busca reducir el consumo energético y buscar fuentes renovables para generar valor agregado a su población estudiantil y su demanda energética.

Bogotá es la ciudad capital de Colombia donde se encuentra ubicada la institución universitaria Politécnico Granacolombiano y allí la aplicación de estas tecnologías es conveniente ya que allí hay cuerpos de agua y corrientes que pueden ser utilizadas, así mismo en la institución universitaria hay zonas estratégicas de recolección de agua y también hay una planta procesadora de agua residual, por consiguiente se estudia la posibilidad de adaptar esta planta para generar energía para cubrir parte del uso de la institución donde la comunidad estudiantil y profesorado habitan, el problema a resolver es, ¿cómo sería la mejor forma y el mejor diseño para así generar la mayor cantidad de energía?.

Analizando las posibilidades podríamos adecuar los diseños para la planta procesadora y así generar un impacto positivo al utilizar los fluidos procesados y con estos generar energía, después debemos adecuar el sistema eléctrico de la institución para recibir los fluidos eléctricos generados y medir los datos de salida del dispositivo.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL:

- Diseñar un generador eléctrico que funcione mediante fluidos hidráulicos y medir su desempeño.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Generar electricidad a partir de una turbina hidráulica aprovechando las condiciones geográficas de la zona para lograr un impacto positivo en la comunidad
- Realizar un modelo 3D que sea acorde a las investigaciones.
- Fabricar un prototipo funcional según criterios de diseño-
- Medir el fluido eléctrico generado según la utilización del prototipo.
- Generar resultados acorde a los datos generados.

4. JUSTIFICACIÓN:

La generación de energía en la actualidad se basa en hidroeléctricas de grandes magnitudes en países con grandes afluentes de agua como Colombia, en otros países donde los afluentes son escasos se genera electricidad mediante grandes plantas nucleares (que en el mayor de los casos genera un riesgo para los habitantes circundantes) y también se puede generar energía mediante el petróleo, estas grandes generadoras de energía tienen un aspecto muy negativo con el medioambiente y con sociedades cercanas, por eso se está buscando cambiar estos paradigmas por unos más amigables, muchos países están optando por grandes granjas de energía solar o grandes pilares de turbinas para aprovechar el potencial del viento, en zonas más apartadas pero que contengan afluentes se puede encontrar la solución de pequeñas plantas generadoras de energía mediante los fluidos de estos mismos afluentes.

Es de conocimiento general que la sociedad actual es dependiente de la electricidad para sus comodidades, como lo son: la diversión, alimentación, trabajo, etc., esto por parte de las grandes urbes o de los pueblos, la idea de llevar una alternativa energética a sociedades apartadas tiene un determinante que es el mejorar su calidad de vida a un costo razonable, según El Espectador “unas 470.000 viviendas no tienen acceso al servicio de electricidad. El Plan Indicativo de Expansión de Cobertura de Energía Eléctrica, realizado por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) del Ministerio de Minas y Energía, considera que se requieren poco más de \$4,3 billones para la universalización del servicio. Con una mínima parte que suman los diferentes procesos de corrupción se podría llevar energía a esos 2,5 millones de colombianos que permanecen en la oscuridad.” (Jorge, S. (07 de Agosto de 2017). Obtenido de El Espectador: <https://www.elspectador.com/economia/en-penumbra-25-millones-de-colombianos-no-tienen-energia-electrica-articulo-706892>)

Según el artículo citado se puede determinar que el costo de llevar energía a las familias sin este servicio es alto sin contar con la corrupción y la gestión gubernamental, entonces se abre una búsqueda de llevar este servicio de formas más rápidas y fáciles además de amigables con el medio ambiente, podemos aplicar perfectamente el hecho de que en Colombia hay una cantidad considerable de afluentes y que muchas de estas familias se asientan cerca de cuerpos de agua, se puede utilizar ese potencial para suplir esta necesidad.

5. MARCO TEÓRICO

El siguiente trabajo analiza soluciones a problemáticas energéticas que aquejan poblaciones alrededor del mundo, en países como la India y China muchos estudiantes basan sus trabajos de investigación en este tipo de soluciones dado que muchas personas y familias se encuentran alejadas de las grandes urbes y no es factible la instalación de redes eléctricas por alguna dificultad geográfica para llegar al sitio o por su costo, así mismo alrededor del mundo se está creando la tendencia a las energías renovables ya que este tipo de tecnología podrían suplir de forma eficiente el mercado que las fuentes de energía no podrían además de dar una solución innovadora en la generación de energía, dado caso en Colombia se utilizó una turbina llamada “el tornillo de Arquímedes” para la generación en una población apartada del país, esta fue pensada en utilizar la energía cinética de los ríos para mover el tornillo y generar la energía necesaria para los habitantes “La máquina ya está proveyendo 200 megavatios de energía eléctrica

que, además de facilitar la vida en el espacio territorial de Miravalle, abastece a los vecinos y a los demás proyectos productivos de los exguerrilleros del espacio.”(Equipo Digital NTC, Noticias Uno. 24 de noviembre de 2018. Exguerrilleros y vecinos de Miravalle, Caquetá, ahora tiene electricidad “sin cables”. URL: <https://canal1.com.co/noticias/tornillo-arquimedes-el-pato/>).

“Los consumidores tienen hoy en día un amplio abanico de posibilidades de cara a elegir como gestionan su suministro de electricidad” (José Ignacio Pérez Arriaga, investigador principal informe “Utility of the future”), en la actualidad hay muchas formas de ahorro energético, de generar electricidad y de usar este recurso, entonces podemos centrar las teorías en generar electricidad por medio de cuerpos de agua y en como las personas han aplicado estas tecnologías, beneficiando así a lugares con una densidad baja de pobladores.

El funcionamiento de la energía hidráulica se basa en el aprovechamiento de una caída de agua desde cierta altura. Cuando el agua cae desde una presa, pasa a través de unas turbinas y la fuerza que trae inicia un movimiento rotativo. La energía de movimiento se transfiere a unos generadores que la convierten en electricidad. Una vez que el agua se utiliza, se le deja seguir su curso sin haberla contaminado.

En este proceso se unen la gravedad y un ciclo hídrico cerrado. Las turbinas son las que producen la fuerza necesaria para que se genere energía por medio del agua.

Una central hidroeléctrica posee un sistema de bombeo para que el agua ascienda desde un depósito inferior, luego de pasar por las turbinas, a un depósito superior. Esto es útil en los momentos no pico. El bombeo del agua crea un potencial para la generación de energía eléctrica después. Pueden considerarse estos sistemas de bombeo como “tecnología de almacenamiento de energía”.

Como ya se sabe la energía hidráulica es de las fuentes renovables que más se utilizan en la producción de energía eléctrica. Alrededor del mundo hay diversas presas. Por ejemplo, la represa de Itaipú en Brasil, con una potencia de 14000 MW, abastece el 15% de la energía de Brasil y 95% la de Paraguay. Otro ejemplo es el sistema de las Tres Gargantas en China, la cual produce 18000MW.

Hay varios tipos de turbinas y cada una se aplica de acuerdo a cuanto mide el salto hidráulico y el caudal del agua. Las turbinas más comunes son Francis, Kaplan y Pelton. También es posible producir energía hidroeléctrica sin usar una presa, por medio de la producción de agua corriente. En estos casos la velocidad del agua y el volumen no aumentarían con la presencia de una presa.

Podemos definir el concepto de turbina como una máquina que consta de una rueda dentro de un tambor que está provista de paletas curvas sobre las cuales actúa la presión de un fluido haciendo que esta gire (tecnobasicplace. (25 de agosto de 2019). *CENTRAL ELÉCTRICA* > . Obtenido de <https://sites.google.com/site/tecnobasicplace/central-electrica/turbina>), la turbina es parte de una turbomáquina que permite la generación de energía mecánica gracias a la energía hidráulica, estas turbomáquinas desarrollan potencia en el eje como resultado de la variación de la cantidad de movimiento del fluido que pasa a través de ellas. El movimiento que se realiza al pasar el fluido (por lo general agua) moviliza una máquina o un generador eléctrico para que la energía mecánica pase a ser energía eléctrica.

La turbina hidráulica tiene como función aprovechar la energía del fluido que pasa por ella para producir energía de rotación. Esta energía dinámica se convierte en energía eléctrica gracias a un generador que permite esta modificación de energía. Dicho en otras palabras: una turbina hidráulica sirve para convertir energía potencial en energía cinética y energía eléctrica. Este mecanismo es aprovechado por las centrales hidráulicas para tomar la energía de caídas de agua y obtener energía eléctrica.

La turbina hidráulica se coloca fija en un lugar estratégico, por donde fluye agua o hay una caída de la misma. Cuando el líquido pasa a través de su mecanismo, las aspas o paletas del rotor sufren una caída de la presión que las impulsa y hace que la turbina gire, a medida que el medio se mueva más rápido, la caída de presión será mayor y la velocidad giratoria más alta. Esta energía de rotación es captada por un generador que realiza la conversión.

Existen diferentes tipos de turbinas hidráulicas que se pueden clasificar en dos tipos de acuerdo a su grado de reacción, estas se definen de acuerdo a como este colocado el eje en la turbina, pueden ser turbinas de eje vertical o eje horizontal. También pueden clasificarse de acuerdo a la dirección en que entra el fluido, por los que estas pueden ser turbinas radiales-axiales: es cuando el fluido entra al rotor en forma radial para luego cambiar su dirección y salir en forma paralela al eje rotativo, es decir, de forma axial o en la misma dirección del eje; turbinas axiales: el fluido saldrá en forma paralela o en la misma dirección al eje de rotación y las turbinas tangenciales: cuando el fluido golpea el rotor en la periferia.

Luego nos encontramos con las turbinas de acción y turbinas de reacción; las primeras son aquellas donde el fluido de trabajo no sufre un cambio de presión importante al paso de la turbina, el fluido mueve la turbina golpeando directamente las paletas del rotor, en este caso en particular es necesario que haya una caída alta del fluido para que golpee fuertemente; las turbinas de reacción son aquellas en las que el fluido sí sufre un cambio considerable de presión cuando pasa a través de la turbina, aquí el fluido va a mover el rodete, no por golpe, si no por reacción provocada por la salida del agua sobre el rotor. Es necesario que exista un caudal grande de fluido para que pueda empujar el agua a las tuberías, luego salga con mucha presión y pueda mover el rotor con fuerza, en este caso la altura no importa tanto, pues no se va a golpear los alabes directamente, lo importante es que haya un caudal lo suficientemente bueno para ser aprovechado. Luego existen las turbinas de acuerdo al diseño de sus aspas, podemos encontrar las turbinas tipo Kaplan, las turbinas tipo hélice, las turbinas tipo Pelton, las turbinas tipo Francis (las más populares) y las turbinas tipo Ossberger.

La turbina tipo Kaplan son especialmente eficientes para su uso con saltos pequeños y con grandes caudales de agua, esta turbina fue desarrollada por el profesor Austriaco Viktor Kaplan en 1913, el profesor llevo su diseño en base a la turbina Francis, esta turbina es impulsada por grandes presiones de agua y usualmente el fluido es liberado por una compuerta, sus aspas son siempre regulables y tienen una forma de hélice. Como se ve en la Ilustración 1 Turbina Kaplan.



Ilustración 1 Turbina Kaplan

Empresa ZECO. (21 de Abril de 2019). Obtenido de Turbina Kaplan:
<https://www.zeco.it/zeco-turbinas/turbina-kaplan?lang=es>

La turbina tipo hélice tiene las aspas fijas y no son regulables, es una turbina muy común y funciona mejor con altas tasas de flujo. Su parte móvil es una hélice y son muy similares a los que empujan los barcos o submarinos, usualmente esta turbina tiene entre 3 a 5 aspas conectadas de forma fija al rotor, el rotor se caracteriza por la presión y la velocidad que varían según el volumen del fluido además la turbina se adapta al giro de rotación del rotor. La turbina tipo hélice se diferencia de la turbina tipo Kaplan en que la tipo hélice puede suministrar potencia aun así el volumen del fluido sea poco y funciona tanto en posición vertical como horizontal. Véase Ilustración 2 Turbina Tipo Hélice.

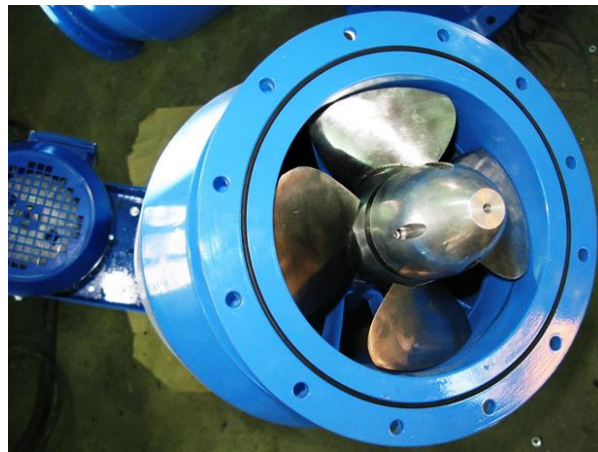


Ilustración 2 Turbina Tipo Hélice

Multiservicios MC ingeniería. (21 de Abril de 2019). Obtenido de Turbinas Hidroelectricas de Hélice: www.multiserviciosingenieria.com/productos/turbina-hidroelectrica/helice

La turbina Pelton es uno de los más eficientes modelos de turbinas hidráulicas, consiste en una rueda dotada de cucharas en su periferia, este modelo está especialmente diseñado para convertir la energía cinética que genera la caída de fluidos que inciden directamente sobre las cucharas. El nombre de la turbina

es dada por su creador Lester Allan Pelton quien en 1853 llego a este diseño dada la problemática de bombeo de aire al interior de las minas donde él trabajaba, el encontró que si el agua impactaba directamente en el borde de las aspas estas generaban una mayor velocidad y así un aumento en la eficiencia en la cual se llevaba el aire a los mineros.

Estas turbinas son utilizadas en hidroeléctricas donde se lleva el agua desde grandes alturas en tubos (aproximadamente desde 1500 metros), estos tubos son llamados *galerías* en las cuales tienen al final válvulas tipo aguja o inyectores para aumentar el flujo que incide directamente en las aspas.



Ilustración 3 Turbina Pelton.

YoIngeniero. (21 de Abril de 2019). Obtenido de Turbina Pelton – Partes, aspectos de trabajo y diseño: <https://www.yoingeniero.xyz/civil/turbina-pelton-partes-aspectos-de-trabajo-y-diseño/>

Las turbinas tipo Francis son turbinas que se pueden diseñar en un amplio rango de saltos y caudales, este tipo de turbina es determinada como una de las más eficientes y una de las más usadas en el mundo, principalmente para la producción de energía eléctrica en las centrales hidroeléctricas, este tipo de turbina puede recibir entre 2 a 200 metros cúbicos por segundo.

Su historia se remonta a 1826 cuando el ingeniero francés Benoît Fourneyron desarrollo una turbina de alta eficiencia (80%) donde el agua era dirigida tangencialmente a través del rodete de la turbina provocando así su giro, este diseño junto a los diseños de Jean-Victor Poncelet y S. B. Howd fueron los pilares para la turbina tipo Francis ya que James B. Francis desarrollo su turbina con un 90% de eficiencia donde tomo y mejoro estos diseños en uno solo.



Ilustración 4 Turbina Francis

TODOINFO. (19 de Enero de 2018). Obtenido de Turbinas Hidraulicas:
<http://todoinfomantenimientoindustrial.blogspot.com/2018/01/turbinas-hidraulicas.html>

La turbina tipo Ossberger es una turbina de flujo transversal donde el fluido atraviesa los álabes de forma diagonal. La máquina es de baja velocidad, apta para bajas alturas, pero donde hay grandes caudales, además, su construcción es simple dado a que tiene no más 3 piezas móviles lo que lo hace de coste reducido y de fácil mantenimiento.

La turbina se compone de una rueda hidráulica con un eje horizontal, dicha rueda tiene diversos álabes dispuestos radialmente con una torsión que hace que el extremo tenga cierta inclinación tangencial, los bordes se afilan de tal forma que tengan poca resistencia al flujo.

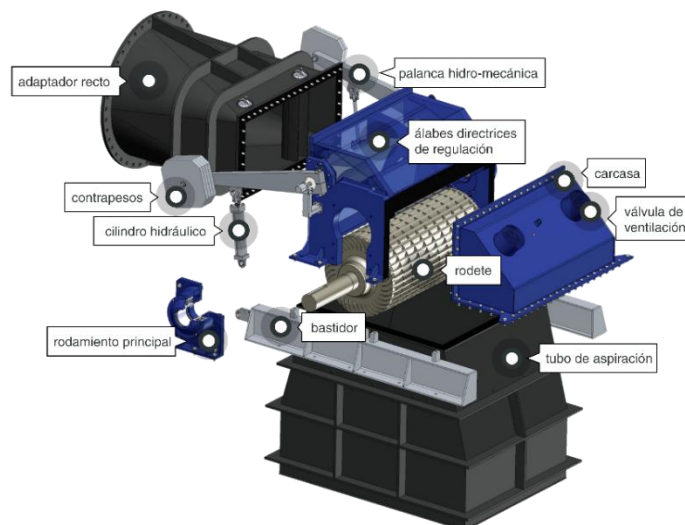


Ilustración 5 Turbina Ossberger

Ossberger. (21 de Abril de 2019). Obtenido de Tecnología Hidraulica:
<https://ossberger.de/es/tecnologia-hidraulica/turbina-original-ossbergerr-de-flujo-cruzado>

Las turbinas se componen de diferentes partes que pueden ser: el estator, un rotor, un generador, la misma turbina, los alabes, etc.

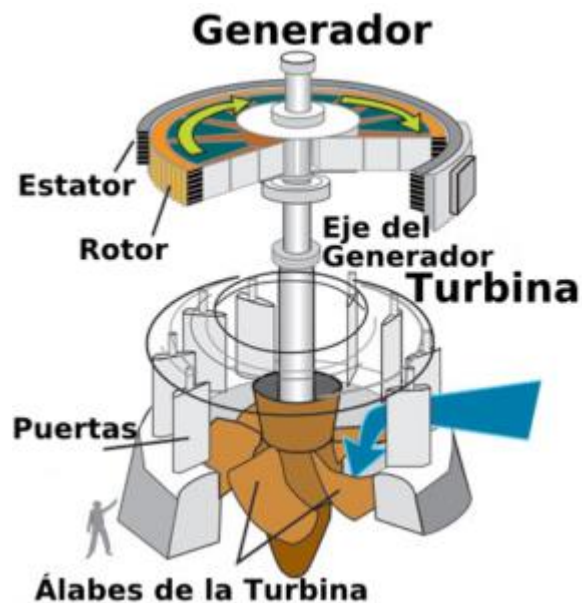


Ilustración 6 Partes de una turbina

Menna. (14 de Septiembre de 2018). (Morales, Corredor, Paba, & Pachecho, 2014) Obtenido de Como funciona una turbina hidraulica: <https://como-funciona.co/una-turbina-hidraulica/>

El estator es la parte fija de una maquina rotativa y uno de los elementos fundamentales para la transmisión de corriente eléctrica (en el caso de los generadores eléctricos), los modelos más sencillos de máquinas giratorias poseen una parte fija (estator) y una móvil (rotor). De acuerdo al diseño que se implemente, el estator de un generador puede funcionar como el imán permanente ante un sistema de bobinas móviles, o bien, puede ser un sistema de enbobinado fijo el cual es sometido a un campo magnético variable.

Las primeras máquinas eléctricas y también las más sencillas, como los dinamos y los motores de corriente directa empleaban estos sistemas: el estator cumplía la función de generar un campo magnético fijo y el rotor contenía el sistema generador de corriente, o bobinas de reacción, este modelo facilitaba el uso de los conmutadores (switches) los cuales permitían la transformación de corriente alterna en corriente directa.

El estator como fuente de campo magnético puede ser un imán permanente o un electroimán llamado bobina de campo, las bobinas se pueden fabricar de cualquier metal conductor, siendo usualmente usado cobre o aluminio. A nivel industrial se suele emplear más el cobre para reducir el costo de fabricación de los enbobinados, el aluminio por su parte se puede emplear en funciones más específicas.

Se realizaron desarrollos en modelos de generadores en los cuales el estator contenía el sistema de generación eléctrica, con una fuente de corriente alterna se puede alimentar a uno o más electroimanes conectados en paralelo, los cuales generarán los campos variables y entonces las

bobinas se instalarán en el estator, este diseño permite la implementación de los colectores para la transferencia de bajas corrientes a altos voltajes de una forma económica.

El rotor es el componente que gira en una maquina eléctrica, sea esta un motor o un generador eléctrico, este está formado por un eje que soporta un juego de bobinas arrolladas sobre un núcleo magnético que gira dentro de un campo magnético creado bien por un imán o por otro juego de bobinas, envueltas sobre unas piezas polares que permanecen estáticas y que constituyen lo que se denomina como estator de una corriente alterna o continua, dependiendo del tipo de máquina que se trate.

En máquinas de corriente alterna de mediana y gran potencia es común la fabricación de rotores con láminas de acero eléctrico para disminuir las pérdidas asociadas a los campos magnéticos variables, como las corrientes de Foucault y las producidas por el fenómeno llamado histéresis.

Una turbina también puede estar conformada por una tobera que es un dispositivo que convierte la energía potencial en energía cinética. Este dispositivo es utilizado en turbomáquinas, como inyectores, surtidores, en propulsión a chorros, etc. El fluido sufre un aumento de velocidad a medida que la sección de la tobera va disminuyendo, por lo que sufre una disminución de presión y temperatura al conservarse la energía.

Una parte básica de las turbinas son el tubo de aspiración, es un componente encontrado casi siempre en las turbinas de reacción, va instalado después del rotor y tiene forma de conducto divergente. Posee forma recta o acodada y se encarga de rescatar la altura que hay entre la salida del rotor y el nivel del canal de desagüe. También recupera parte de energía cinética perteneciente a la velocidad residual del fluido en la salida del rotor. Eventualmente puede encontrarse el tubo de aspiración en las turbinas de acción adoptando formas cilíndricas.

Estas turbinas funcionan bajo los principios de las leyes de la termodinámica, la ley que más determina estas máquinas es la primera a la cual se refiere a la cantidad total de energía en el universo y en la cual declara que esta cantidad total no cambia. Es decir, que la primera ley de la termodinámica dice que la energía no se puede crear ni destruir, solo puede cambiarse o transferirse.

Esta ley es algo abstracta pero se puede ejemplificar mediante ejemplos donde podremos encontrar transferencias y transformaciones de energía de todo índole y que ocurren a nuestro alrededor todo el tiempo, un ejemplo claro son los bombillos que transforman la energía eléctrica en luminosa, otro ejemplo podría ser una bola de billar que golpea a otra y transfiere energía cinética o también el mismo cuerpo humano que transforma la energía química de la comida en energía cinética cuando caminamos.

Entonces la primera ley de la termodinámica rige la actividad de las turbinas, se realiza un intercambio de energía cinética en energía eléctrica gracias al movimiento del fluido en las aspas de la turbina, esta energía cinética cambia al mover el rotor y luego el movimiento es captado en un motor que genera la energía eléctrica, pero no se cuenta con una eficiencia del 100% ya que se cuenta con una pérdida de energía que se genera en forma de calor, como dice la segunda ley de la termodinámica cierta cantidad de energía al ser transformada se vuelve inutilizable en forma de calor (que no genera trabajo), este calor se aplica al rotor que está en constante movimiento al realizar la conversión.

Si no tuviéramos esta generación de calor podríamos hablar de un proceso isotrópico el cual se refiere a que la entropía del proceso permanece sin cambios y a máxima transferencia de calor; la pérdida de energía en una turbina lo podemos relacionar a los siguientes factores: fricción del fluido en el estator (toberas), fricción del fluido en los pasajes del rotor (alabes), fricción entre el rotor y el fluido, energía cinética rechazada por el rotor.

El rendimiento o eficiencia de una turbina se define como el cociente entre la energía producida por la misma y la energía disponible, es por ello que el conocimiento del rendimiento de una central hidroeléctrica, dotada como uno o varios grupos turbina-alternador, se traduce en una mejor explotación de la misma mediante la optimización del aprovechamiento del agua disponible, adicionalmente sirve para realizar un seguimiento del estado de la unidad, cuyo desgaste y deterioro se traduce en una pérdida de rendimiento de la instalación.

El rendimiento de una turbina hidráulica de una central hidroeléctrica puede determinarse por dos métodos: primero, mediante la realización de ensayos sobre el modelo, aplicando las correspondientes leyes de semejanza y segundo, mediante la realización de los correspondientes ensayos sobre el prototipo, siendo este último el más generalizado. La realización de este tipo de ensayos se realiza habitualmente siguiendo los criterios marcados por alguna de las normas siguientes:

- IEC 60041 “Field acceptance tests to determine the hydraulic performance of hydraulic turbines, storage pumps and pump turbines”.
- ASME PTC 18 “Hydraulic turbines. Performance test codes”.

La diferencia fundamental entre ambas normas es que mientras el PTC 18 sigue considerando las unidades clásicas referentes a salto bruto, neto, etc.; en la IEC 60041 se definen como energías específicas (hidráulicas, mecánicas, etc.) expresadas en julios/kilogramos.

6. ESTADO DEL ARTE

Es difícil recurrir a hablar de generación de energía mediante vórtices sin referirnos al trabajo de Viktor Schaubberger. Schaubberger era australiano quien fue pionero en generación de ecotecnología.

Schaubberger inspiró sus estudios en base a la rápida circulación del agua en los ríos cuando fue guarda de un parque natural, sus diseños se basaron en turbinas para aviones hasta turbinas de energía hidroeléctrica, pero su enfoque era la generación de energía mediante vórtices. Su diseño de turbina de energía hidroeléctrica (mediante succión) la cual se asemeja más o menos de la misma forma y características de la turbina hidroeléctrica de vórtice que se conoce hoy en día.

Desde que se introdujo el concepto de la turbina de Schaubberger en 1930 no hubo un discurso o una investigación relevante hasta 1968 por parte del investigador Brown, Brown introdujo la idea de generar electricidad mediante la generación de un vórtice por caída libre en una superficie regular. Su patente describe el método por el cual se generaría energía mediante “energías verticales” contenidas en la generación del vórtice. En su estudio Brown hace uso de un canal rectangular con paredes verticales que contiene un deflector inclinado para determinar la

rotación del flujo en el tanque, por lo tanto, a medida que el agua se descarga a través de un orificio el vórtice generado hace girar un impulsor de tipo paleta colocado coaxialmente, la salida del orificio es guiada por paredes extendidas de tal manera que la salida del fluido sea subterránea.

Aunque la disposición de canales rectangulares es muy diferente a la de las centrales hidroeléctricas de vórtice, la colocación y ubicación de la barrera inclinada fue un gran paso para manipular la circulación del fluido y por lo tanto la circulación del vórtice, Brown también declaró que la posición axial del rotor en el eje vertical debe ajustarse para obtener las condiciones de eficiencia máxima.

Muchos investigadores adoptan sus diseños de acuerdo al afluente que pretendan aprovechar o sus recursos, una prueba de ello es un estudio realizado por investigadores de Bangladesh que percibieron la problemática de varias poblaciones sin este recurso, ellos realizaron sus modelos basados en una turbina tipo Pelton; su prototipo fue realizado con materiales reciclados y fueron ajustados de manera artesanal donde midieron con un osciloscopio la energía que la turbina producía.

Las turbinas tipo hélice son de fácil fabricación al no tener alabes ajustables y un ángulo de ataque más universal, puede servir para bastantes tamaños de caída de afluente o para diferentes presiones aunque funciona mejor con altas tasas de flujo, la turbina tipo hélice es conocida por tener hélices similares a las que empujan a los barcos y a los submarinos, la capacidad de esta turbina está estrechamente ligada a la velocidad del flujo y a la presión con la que esta ejerce su movimiento en la hélice.

A principios de la década de los noventa, las primeras potencias productoras de energía hidroeléctrica eran Canadá y Estados Unidos. Canadá obtiene un 60% de su electricidad de centrales hidráulicas. En todo el mundo, este tipo de energía representa aproximadamente la cuarta parte de la producción total de electricidad, y su importancia sigue en aumento. Los países en los que constituye fuente de electricidad más importante son Noruega (99%), Zaire (97%) y Brasil (96%). La central de Itaipú, en el río Paraná, está situada entre Brasil y Paraguay; se inauguró en 1982 y tiene la mayor capacidad generadora del mundo. Como referencia, la presa Grand Coulee, en Estados Unidos, genera unos 6500 Mw y es una de las más grandes.

En algunos países se han instalado centrales pequeñas, con capacidad para generar entre un kilovatio y un megavatio. En muchas regiones de China, por ejemplo, estas pequeñas presas son la principal fuente de electricidad. Otras naciones en vías de desarrollo están utilizando este sistema con buenos resultados. En Euskadi, debido a que los ríos son de curso corto y no conducen caudales importantes, existen bastantes minicentrales hidráulicas. En el resto de España hay problemas de escasez de agua y se han construido presas para riego. Posteriormente han sido aprovechadas para generar energía, y actualmente tenemos una fracción importante de energía hidroeléctrica instalada.

El uso de las energías renovables se potenció a partir de las crisis de los precios del petróleo de los años setenta. El temor a un hipotético desabastecimiento o a que los precios energéticos crecieran de forma excesiva motivó la puesta en marcha de programas nacionales e internacionales de investigación y desarrollo de tecnologías de estas energías, así como del fomento de su aplicación.

En el ámbito internacional fue la Agencia Internacional de la Energía, IEA, quien hizo realidad ese primer impulso. En España se creó el Centro de Estudios de la Energía, posteriormente transformado en Instituto de Diversificación y Ahorro Energético, IDAE, quien se responsabilizó de las tareas de promoción. A lo largo de la década de los noventa han sido criterios ambientales los que han impulsado el desarrollo de las energías renovables.

El aumento de la concentración de gases de efecto invernadero en capas altas de la atmósfera, en especial CO2 proveniente del uso de combustibles fósiles, que son causa del cambio climático es hoy la primera razón para impulsar estas energías. Así lo propugnan diferentes organizaciones ecologistas.

Entre los diversos tipos de turbinas utilizados por las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, las más utilizadas son las tipo Francis (el 31,61% de las centrales utilizan esta turbina) y las tipo Pelton (utilizadas por el 27,98% de las centrales). La siguiente tabla muestra el tipo, número de pequeñas centrales y potencia instalada por tipo de turbina utilizadas en Colombia. Las turbinas Kaplan son las menos comunes; solo una pequeña central cuenta con este tipo de turbina; las bombas centrífugas son utilizadas como turbinas especialmente en las microcentrales. 195 196 197 12 Las turbinas Francis son las utilizadas en las centrales pequeñas y minicentrales, en tanto que, las turbinas Michell-Banki son las más utilizadas en las centrales tipo minicentrales.

Tipo de Turbina	Nº Centrales	Potencia Instalada en Kw
PELTON	48	33.926
FRANCIS	52	68.249
MICHELL-BANKI	4	100
COMBINADOS (Pelton-Francis)	8	13.231
KAPLAN	1	1.500
OTROS	1	-
SIN INFORMACIÓN	87	52.656,9
TOTAL	197	168.162,9

Ilustración 7 tipos de centrales hidroeléctricas en Colombia.

INEA, 1. E. (11 de Noviembre de 2019). Obtenido de <http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista-12/ar9.pdf>

1. SANTA RITA	52. GUACAICA	102. GIGANTE	154. SANTA ROSA
2. CAICEDO	53. ARANZAZU	103. GUADALUPE	155. CALICHAL
3. REMEDIOS	54. BELEN DE	104. IQUIRA I	156. ZARAGOZA
4. ABEJORRAL	UMBRIA	105. IQUIRA II	157. PALMAS
5. AMAGA	55. INTERMEDIA	106. LA PITA	158. SERVITA
6. AMALFI	56. MARULANDA	107. LAS DELICIAS	159. CASCADA
7. ANGOSTURA	57. MUNICIPAL	108. BONDA	160. CHITOZA
8. ANTIÓQUIA	58. PACORA	109. GAIRA	161. LA COMODA
9. ARMENIA	59. PENSILVANIA	110. MACHOSOLO	162. CERRITO
10. BARBOSA	60. PINZON HOYOS	111. MIGUEL MEDINA	163. LA CASCADA
11. BOLIVAR	61. SAN LORENZO	112. PALESTINA	164. MALAGA
12. CALERA	62. SALAMINA	113. PALMOR	165. PIEDECUESTA
13. CARACOLI	63. SAN CANCIO	114. PAUCEDONIA	166. SAN GIL
14. CAÑASGORDAS	64. STA. R. DE	115. RÍO PIEDRAS	167. SOCORRO
15. SAN JUAN	CABAL	116. SACRAMENTO	168. ZAPATOCA
16. EL LIMON	65. SUPIA	117. SIERVO ARIAS	169. RÍO RECIO I
17. CONCORDIA	66. MANZANARES	118. CORRALES	170. RÍO RECIO II
18. FREDONIA	67. GUACAMAYAS	119. EL CALVARIO	171. VENTANAS
19. GRANADA	68. ISLA GORGONA	120. SAN JUANITO	172. MIROLINDO
20. GUARNE	69. FLORIDA I	121. COLORADOS	173. GUALI
21. ITUANGO	70. INZA	122. CONVENCION	174. LAGUNILLA
22. JERICO	71. OVEJAS	123. OCAÑA	175. PASTALES
23. LA REBUSCA	72. SILVIA	124. PAMPLONA	176. CAJAMARCA
24. OLAYA	73. ASNAZU	125. SALAZAR	177. LIBANO
25. PIEDRAS	74. CALOTO	126. JULIO BRAVO	178. VENADILLO
26. PUEBLO RICO	75. COMODA	127. RÍO BOBO	179. RIVERA
27. RÍO ABAJO	76. RÍO PALO	128. RÍO INGENIO	180. NIMA I
28. SALGAR	77. MONDOMO	129. RÍO SAPUYES	181. NIMA II
29. SAN ANDRES	78. SAJANDI	130. SAPUYES	182. RUMOR
30. SAN JOSE	79. TORIBIO	131. ALTAQUER	183. CONSOTA I
31. SAN PEDRO	80. ZIPAQUIRA	132. RÍO MAYO I	184. CONSOTA II
32. EL CAIRO	81. GUATICA	133. MAYO I	185. GUADALAJARA
33. SANTUARIO	82. APULO	134. POTOSI	186. CALI I
34. SONSON	83. CAQUEZA	135. SANDONA	187. CALI II
35. SOPETAN	84. LA SALADA	136. MULATO	188. CARTAGO
36. RÍO FRIO	85. ANOLAIMA	137. COLON	189. CUMBRE
37. TITIRIBI	86. CHOACHI	138. MOCOIA	190. EL HOMIGUERO
38. TOLOMBO	87. FUSAGASUGA	139. SAN FRANCISCO	191. LA PUERTA
39. URRAO	88. GACHETA	140. MONTENEGRO	192. PRADERA
40. EL SALTO	89. MUÑA	141. PIJAO	193. RÍO FRÍO
41. MICOAHUMADO	90. NEUSA	142. EL BOSQUE	194. RÍO FRÍO II
42. PTE. GUILLERMO	91. PACHO	143. LA UNION	195. PATICO - LA
43. SOATA	92. PANT.	144. ARMENIA	CABRERA
44. TEATINOS	REDONDO	145. BAYONA	196. COCONUCO
45. CHIQUINQUIRA	93. RIONEGRO	146. CALARCA	197. SANTA ANA
46. LABRANZA	94. SALTO	147. CAMPESTRE	
GRANDE	ANTIGUO	148. EL CAIMO	
47. PAJARITO	95. SESQUILE	149. SANTUARIO	
48. PASCA	96. TOCAIMA	150. NUEVO LIBARE	
49. PAYA	97. LA VUELTA	151. NUEVA	
50. PISBA	98. JURIBIDA	152. BELMONTE	
51. ANSERMA	99. CARACOLI	153. DOS QUEBRADAS	
	100.		
	FORTALECILLA		
	S		
	101. LA VICIOSA		

Tabla 1 Pequeñas centrales hidroeléctricas de Colombia en operación, año 2012

E. Torres, G. P. (s.f.). *INVESTIGACIÓN EN PEQUEÑAS CENTRALES EN COLOMBIA*. Obtenido de <http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista-12/ar9.pdf>

La importancia de las turbinas Hélice y Kaplan en pequeños saltos con grandes caudales, las hacen idóneas tanto en posición horizontal como en vertical; por su similitud con las turbinas Bulbo, empleadas tanto en centrales mareomotrices como en lagunas mini centrales hidráulicas, presentamos este somero estudio que permite comprender su funcionamiento y campos de aplicación. La tendencia a la construcción de turbinas cada vez más rápidas, para velocidades específicas n_5 mayores de 450, conduce a las turbinas hélice y Kaplan, ya que en las turbinas Francis con n_5 del orden de 400, el agua no se puede guiar y conducir con precisión (Reyes, D., & Peña, C. (15 de septiembre de 2019). *Universidad Católica de Colombia*. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22838/1/TRABAJO%20DE%20GRADO%20-%20DISE%C3%91O%20DE%20TURBINA%20KAPLAN.pdf>)

La impresión 3D se refiere a las tecnologías que crean un objeto, modelo tangible o prototipo desde un archivo digital 3D; se imprime una fina capa con gran precisión, capa por capa a la vez desde la parte inferior hasta arriba, expresando una gran cantidad de detalles, utilizando un proceso de inyección de material utilizando entre otros insumos plástico, madera, resina, cerámica, metal e incluso chocolate.

En consecuencia, se hace necesario analizar los posibles valores educativos de la impresora 3D. Según los expertos, es susceptible de que todo lo que pueda ser creado a través de un software de 3D, puede existir en la vida real. Las posibilidades con fines educativos son infinitas desde el diseño hasta la producción, ofreciendo un abanico de propuestas didácticas variadas. Se puede facilitar acceso a elementos de forma fácil y rápida, permitiendo a los estudiantes manipular libremente replicas para complementar sus conocimientos y estimular la imaginación. Algunas posibilidades podrían ser: salud, mecánica, geografía, diseño gráfico, historia, arte, construcción y moda.

En suma, posibilidades de autofabricación de múltiples objetos de uso, en todas las variantes del diseño: autodiseño, diseño único, o diseño público.

La impresión 3D es la tecnología que permite crear piezas y objetos en tres dimensiones, convirtiéndolo desde el modelado en una computadora en un objeto real, esta tecnología también conocida como Prototipaje rápido, debido a que en el proceso de impresión la impresora va añadiendo material capa a capa, se considera una revolución debido que se pasará de tener impresoras láser y de inyección de tintas tradicionales que sólo hacen marcas en el papel a tener impresoras 3D que acumulan objetos sólidos en un gran número de capas muy delgadas, con lo cual las personas serán capaces de crear su propios objetos como joyas, gafas de sol, obras de arte, juguetes y partes de vehículos.

Las impresoras 3D toma archivos de objetos, como por ejemplo archivos CAD, creados en la computadora y los imprime en materiales que pueden ser, también, muy económicos; plástico, escayola en inclusive se afirma que llegarán aleaciones metálicas asequibles. Actualmente esta tecnología es usada en campos como la arquitectura, ingeniería, odontología, medicina, entre otras. En áreas como el arte es común ver personas creando sus diseños e imprimiendo en 3D tales diseños, porque tienen la posibilidad de pedir a un tercero imprimir su diseño y enviárselo o comprar su propia impresora. Por menos de 650 euros una persona puede tener una Reprap 3D-printer, esta impresora usa una cabeza de impresión que calienta un filamento de plástico a alrededor de 180 grados centígrados que lo funde. Al mover la cabeza, se forman las capas de plástico que forma la figura final (Reprap, 2011).

Desde el año 2007 la unión europea ha invertido aproximadamente 50 millones de euros destinados a proyectos de innovación e investigación, beneficiando al 3,3% de la economía europea representada en las industrias creativas. Empresas pioneras en el campo de la impresión 3D aseguran que sin esos apoyos recibidos no habrían alcanzado avances relevantes en la materia. Materialise una empresa internacional referente en fabricación aditiva adaptada a campos como la medicina, ha utilizado la impresión 3d para ayudar a cirujanos a reconstruir cuerpos de personas y fabricar piezas de ingeniería (Viki, 2013).

Sin duda es una tecnología que proporciona un poder de creación inmenso y con el paso del tiempo se ha vuelto progresivamente más accesible, debido a que ya se está desarrollando en muchos países como es el caso de Japón donde se ha formado un interesante mercado de juguetes que se adaptan a los deseos de los niños como: caras para colocarlas en muñecas y en figuras de una sola pieza de poco tamaño; que a su vez sirve como punto de partida para la impresión de rostros humanos utilizando piel generada a partir de células madres, destinada a la reconstrucción facial en personas que han sido víctimas de accidentes o cáncer en la piel.

En el área de la salud, investigaciones realizadas en la universidad de Princeton en Nueva Jersey Estados Unidos han arrojado resultados sorprendentes, como es el caso de un oído biónico impreso en 3d, el cual permite captar frecuencias imperceptibles para el oído humano (Sullivan, 2013); igualmente en Chile se han logrado imprimir partes del cuerpo humano de tamaño real acorde a las necesita del paciente, hechas de material compatible con el tejido orgánico; la técnica incluso está llegando al campo de la alimentación. Investigadores de la Universidad de Exeter (Inglaterra) fueron los primeros en crear un aparato capaz de imprimir chocolate. La agencia espacial estadounidense NASA ya ha mostrado interés en el área y anunció que creará un dispositivo similar que imprima carbohidratos y proteínas en polvo.

Nombrándola “*Liberator*”, un joven estadounidense defensor del libre porte y uso de armas, desarrollo una pistola plástica que tiene 17 piezas, de las cuales 16 fueron creadas en una impresora 3D. Dispara solo un tiro, usando una bala convencional de calibre 9 mm. Su creador, distribuyó los planos de manera gratuita a través de Internet en mayo y hoy ya se consiguen versiones mejoradas del arma, lo que obligó al gobierno de Estados Unidos a intentar frenar la distribución de estos planos digitales.

Aunque la tecnología de impresión 3D nació en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), algunos de los proyectos más sobresalientes en impresión 3D provienen de la Universidad de Stellenbosch, en Sudáfrica. El profesor de Ingeniería Industrial de esta universidad Dimitri Dimitrov, jefe del laboratorio de la Universidad para el Desarrollo Rápido de Producto (LRPD), está dirigiendo proyectos investigativos que permitan evaluar el valor de la impresión 3D en sectores como la fabricación, el prototipado, la arquitectura, la medicina y la educación . Fruto de estas investigaciones se ha publicado una detallada matriz de diferentes combinaciones de materiales para impresión y sus efectos en la precisión, rugosidad de la superficie, volumen de producción y tiempo necesario para cada combinación. La Universidad compró su primera impresora 3D en el año 2000, y en el año 2004 adquirió la DESIGNmate Mx. Actualmente sus docentes y estudiantes han completado más de 800 proyectos diferentes en distintos departamentos y disciplinas, como es el caso del modelo físico de la Torre Durban Millennium, monumento insignia de Sudáfrica; y modelos de productos en general como

teléfonos celulares, controles remotos, cámaras acuáticas, modelos de complejos perfumes, o innovadores conectores eléctricos.

Otros proyectos e investigaciones relevantes a nivel internacional, fueron las realizadas por los científicos de la Universidad de Harvard e Illinois, los cuales lograron imprimir microbaterías del tamaño de un grano de arena capaces de alimentar pequeños dispositivos electrónicos, con resultados similares a los de las pilas de iones de litio comerciales. Esto es un avance clave porque en los últimos años se han desarrollado microdispositivos de uso médico como marcapasos, sensores y cámaras que necesitarían dichas baterías.

La universidad de Harvard claramente quiere aprovechar todas las bondades que ofrece la impresión 3D, por cual, previo a los logros obtenidos con la elaboración de microbaterías, su Semitic Museum inicio el proceso de reconstruir un león de cerámica que se utilizaba en la ciudad de Nuzi en la adoración de Ishtar, el cual se estrelló hace unos 3.000 años, cuando los asirios atacaron una antigua ciudad, de la actual Irak. De esta estatua, de dos metros de largo, solo quedaron las patas delanteras, un trozo de la grupa y la espalda. Para llevar a cabo esta complicada impresión, los expertos Joseph Greene y Adam Aja, realizaron escaneando en 3D de alta calidad, a un león similar, que está en la Universidad de Pennsylvania, luego crearon las piezas que faltaban con las estructuras de apoyo impresas en 3D y espuma de alta densidad.

Las aplicaciones y ventajas de la impresión 3D son innumerables, siendo las relacionadas con el Marketing, la medicina y la educación las de más proyectos e investigaciones realizadas y en curso. Por esta razón empresas como Staples, la mayor vendedora de productos de oficina del mundo, ha anunciado su intención de vender impresoras 3D en Estados Unidos, convirtiéndose en la primera empresa de este país que apuesta por la impresión 3D a gran escala. La impresora costará 1.300 dólares cuando llegue a los establecimientos durante el mes de junio (Bilton, 2013).

Por otra parte, en Argentina, la empresa pionera en esta tecnología es Kikai Labs, compañía que en noviembre de 2012 fue galardonada con el premio Innovación en el BAIT 2012. Para Marcelo Ruiz Camauër, CEO de Kikai Labs, la impresión 3D en el sector educativo, sobre todo a nivel universitario o superior.

En la universidad EAFIT de Medellín, los docentes Juan Felipe Isaza y Mauricio Naranjo realizaron estudios en el campo de la medicina logrando describir cómo utilizar esta tecnología en los problemas craneoencefálicos, al lograr construir modelos en 3D, toda esta investigación fue plasmada en el artículo Prototipaje Rápido de Estructuras Craneofaciales. Además lograron construir prótesis dentales a través de esta tecnología.

Durante los últimos años en Colombia se han ido incorporando a la educación nuevas estrategias de enseñanzas como el uso de tecnologías de la información para ayudar el aprendizajes de estudiantes, esto nos manifiesta que la educación debe ir de la mano con los avances tecnológicos y lo anterior nos muestra que con la implementación de impresoras 3D en el ámbito educativo, daría un vuelco total a la forma tradicional de enseñanza (Cartagena, U. d. (20 de octubre de 2019). *Estado del Arte 3D*. Obtenido de <http://impresion3dusodidactico.blogspot.com/p/estado-del-arte-3d.html>)

Las turbinas no son excepción de la innovación de la impresión 3D, estas también pueden ser fabricadas a escala gracias a una impresora 3D, el investigador T Kamimura desarrolló un modelo 3D mediante la aplicación 3D-CAD en el 2017, realizó una turbina con semejanza a un tornillo de 3 inicios y le genero una extrusión para darle la profundidad deseada. La aplicación de esta tecnología facilita bastante el modelado, diseño y fabricación, estamos en una era donde contamos con soluciones bastantes factibles de fabricación y de usos de materiales renovables y alternativos; la problemática actual hace referencia al uso de materiales y prácticas que no permiten un desarrollo sustentable, por ende se busca el uso de materiales alternativos que suplan estas necesidades eco ambientales, una de estas alternativas es la realización de las turbinas mediante una impresora 3D para reducir el uso de materiales a base de carbono aunque aun así el diseño de esta aplicación puede ser dispendioso ya que hay que relacionar una dinámica de fluidos con el diseño.

En conclusión, la impresión 3D tiene usos y aplicaciones bastantes extensas que va desde la realización de piezas hasta una escultura de nuestros personajes favoritos de alguna serie o película, entonces esta herramienta es utilizada para nuestro beneficio al abaratar costos de fabricación y así mismo imprimir una turbina con una densidad adecuada que permita más fácil el paso del fluido y el movimiento de la turbina, para nuestra investigación podemos tomar este ejemplo como un camino a seguir para la construcción de un prototipo funcional que permita su uso y su medición sin invertir en piezas altas en carbono.

7. METODOLOGÍA.

Al tener en cuenta los objetivos planteados se realiza una metodología general como se demuestra en la ilustración 8, allí se ve de manera generalizada el procedimiento que se empleó.

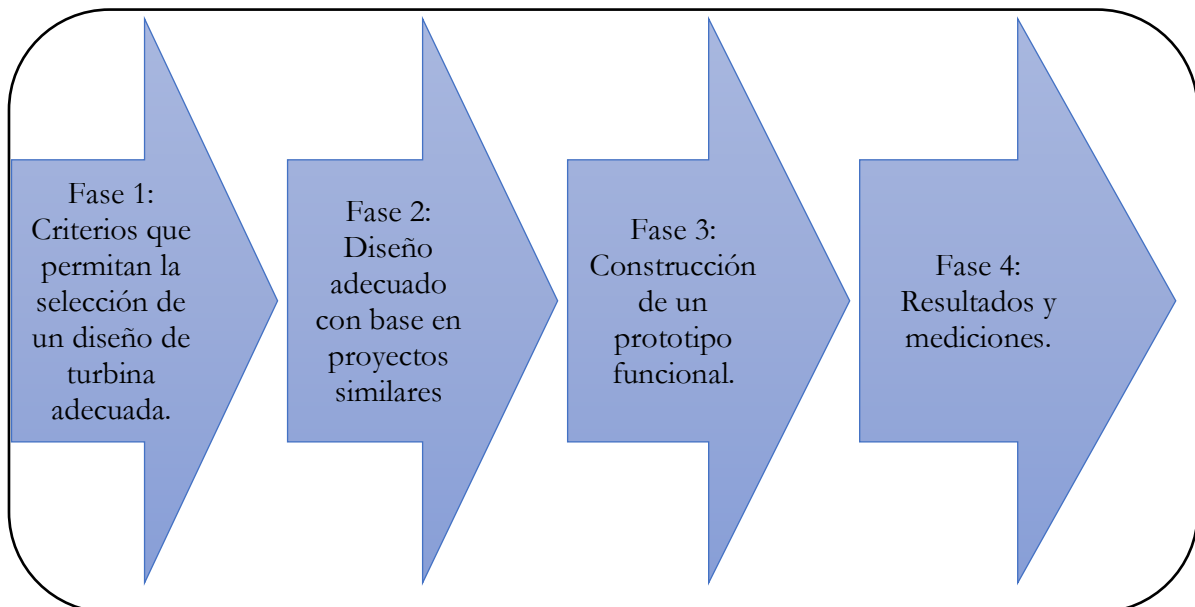


Ilustración 8 metodología a realizar.

Diseño del autor.

Se pensó en realizar 4 fases donde las fases iniciales 1 y 2 corresponden al dimensionamiento y diseño de la turbina; luego de tener estas etapas finalizadas y en base a la información allí obtenida se procedió con la fase 3, allí se procede a hacer el prototipo de la turbina para seguir en la fase 4 donde se mide y se generan resultados de fluido eléctrico generado en la turbina, con dichos resultados se realizará una comparación con otros medios de generación eléctrica.

7.1 Criterios para la selección de la turbina.

Para la construcción de micro centrales eléctricas se puede diseñar un modelo de construcción sencilla como lo son las turbinas de tipo axial (hélice, Kaplan o semi-Kaplan). Para aprovechar de manera efectiva los saltos más elevados se pueden trabajar sobre diseños de turbinas Pelton y para grandes caudales las turbinas tipo Francis.

Un criterio de selección puede ser la capacidad en KW (Kilowatts) que se requiere producir según la turbina, se trabajara con una caída de un máximo de 10 metros y un caudal de aproximadamente $15 \text{ m}^3/\text{min}$, la fórmula de KW es: $S = n * H * Q$.

Donde:

n: Eficiencia según el tipo y tamaño de la turbina.

H: Altura neta del salto en metros.

Q: Caudal en m^3/seg .

Pero se puede seleccionar la turbina adecuada sin entrar a realizar cálculos matemáticos, para ello podemos usar la información obtenida en la figura 1 donde se puede observar que para la información de altura y caudal lo más prudente es realizar una turbina tipo Kaplan, hélice o semi-Kaplan (ya que se encuentran relacionadas en su forma de construcción y diseño).

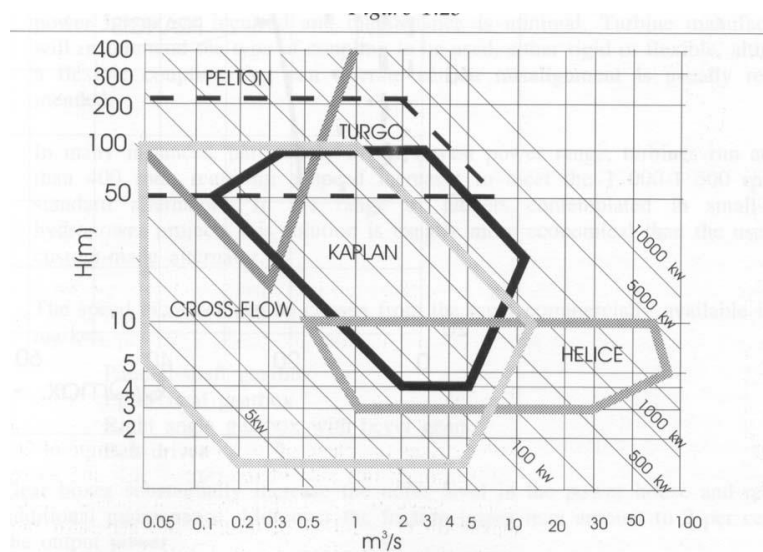


Ilustración 9 Carta de aplicación de turbinas

Morales, S., Corredor, L., Paba, J., & Pachecho, L. (25 de Febrero de 2014). *Portal de revistas UN*. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/39757/53963>

7.2 Diseño de la turbina y componentes.

Al realizar la investigación se tiene en cuenta que para la fabricación de la turbina debemos escoger un modelo eficaz para una caída de aproximadamente 10 metros de caída y un caudal variable y se encontró según la ilustración anterior que el tipo hélice abarca un área mayor de dinamismo altura/caudal.

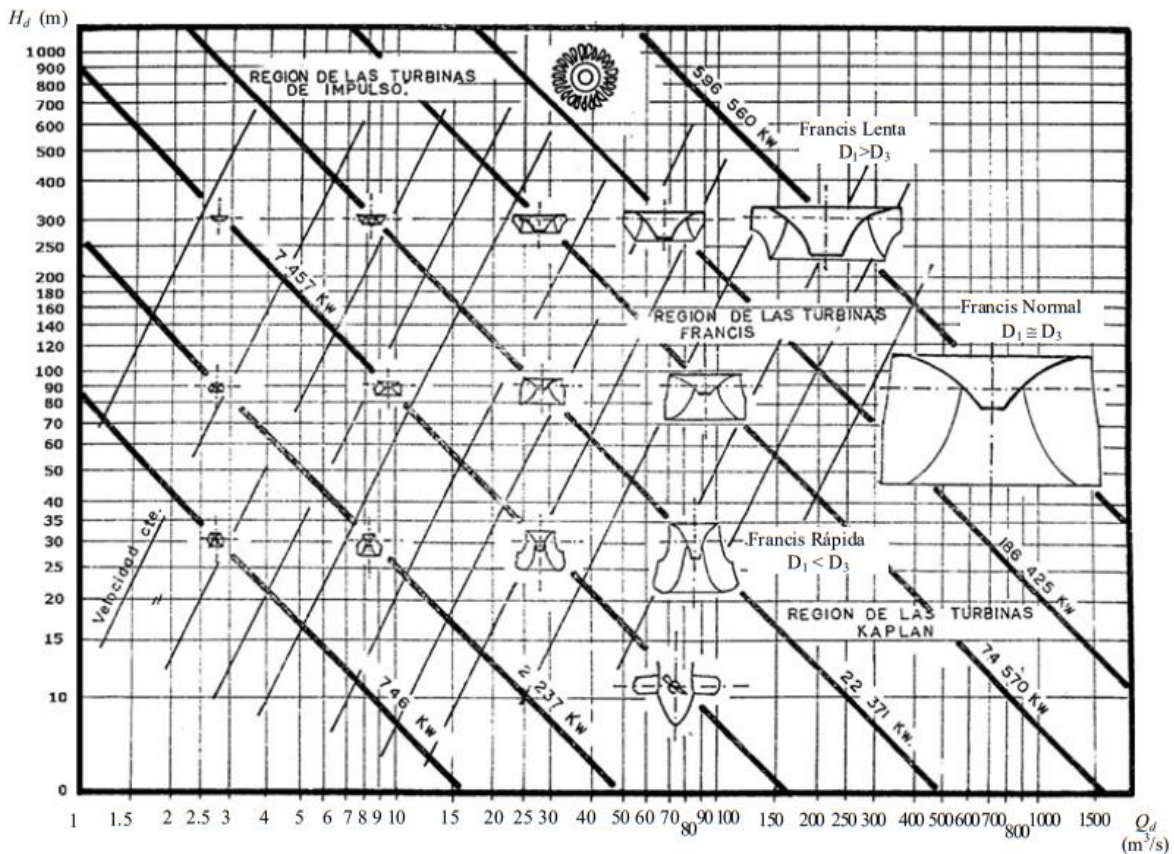


Ilustración 10 Selección del tipo de turbina en función del gasto y la carga de diseño Q_d y H_d

García, H. N. (1 de Abril de 2014). *SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE*. Obtenido de

http://www.ingenieria.unam.mx/~deptohidraulica/publicaciones/pdf_publicaciones/SELECyDIMENSIONAMIENTOdeTURBINAS.pdf

Por consiguiente se determinan el número de hélices en la turbina, el ángulo de ataque y el tamaño a realizar; el número de hélice varía según la altura y caída del caudal, como el caudal a valorar es de aproximadamente $15 m^3/m$ (metros cúbicos por minuto) se llega al resultado de

utilizar 4 hélices con un ángulo de 25 grados, un grosor por hélice de 0.2 cm y un largor de 5 cm, la turbina tendrá una altura de 11 centímetros y un ancho de 7 cm y será en forma de bala para generar la menor fricción y pérdida de energía con el líquido.

n_s	400-500	500-600	600-750	750-900	> 900
Z	7 a 8	6	5	4	3
H_n (metros)	60	50	40	20	5
Relación de cubo	0,6	0,55	0-5	0,4	0,3

Tabla 2 Número de hélices Z en función del número específico de revoluciones n_s .

TURBINAS KAPLAN Y BULBO. (12 de Noviembre de 2019). Obtenido de <http://kimerius.com/app/download/5780666733/Turbinas+Kaplan+y+Bulbo.pdf>

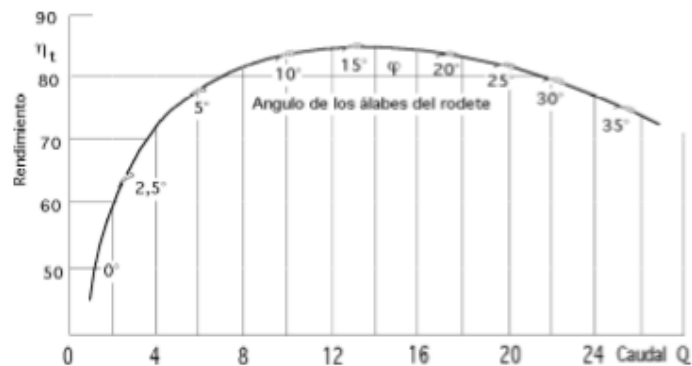


Ilustración 11 Curva de rendimiento para turbina Kaplan.

TURBINAS KAPLAN Y BULBO. (12 de Noviembre de 2019). Obtenido de <http://kimerius.com/app/download/5780666733/Turbinas+Kaplan+y+Bulbo.pdf>

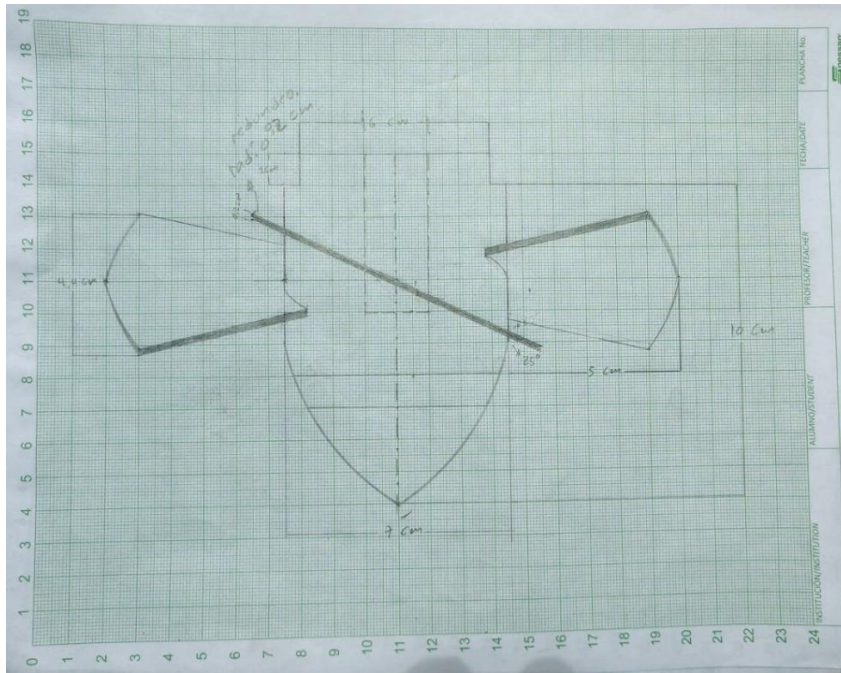


Ilustración 12 Diseño turbina tipo hélice, vista lateral.

Diseño del autor.

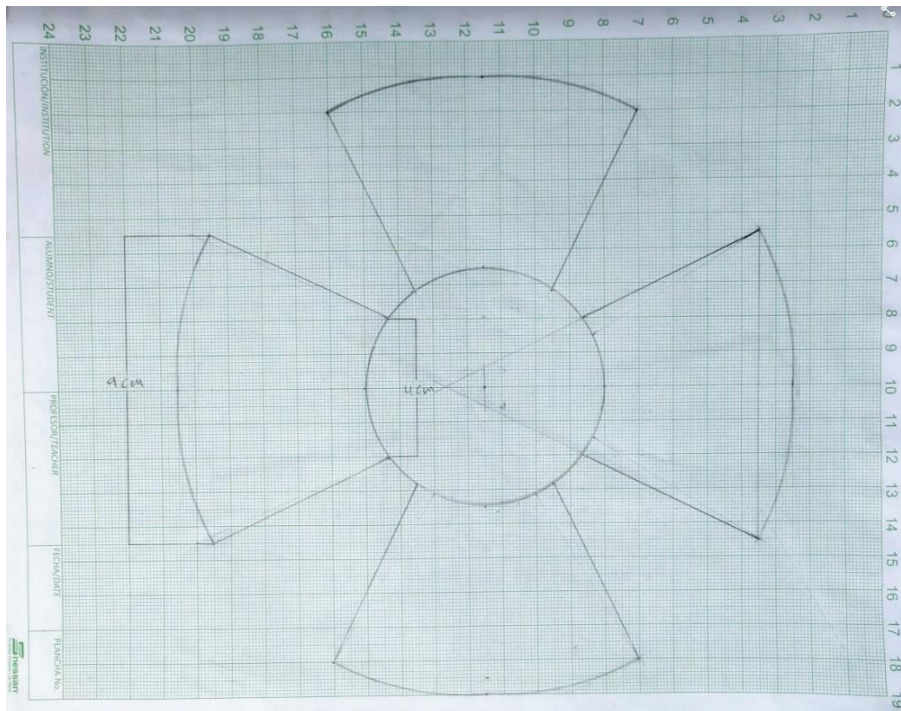


Ilustración 13 Diseño de turbina tipo hélice, vista superior.

Diseño del autor.

Al tener una idea básica sobre el diseño de la turbina se pasa a generar el modelo 3D de la misma en el programa SolidWorks y de las respectivas partes conectadas para un posterior ensamble de las piezas y por consiguiente la fabricación del proyecto.

La primera pieza que se realizó fue la turbina tomando en cuenta correcciones de diseño, por ejemplo, las aspas se hicieron más gruesas para que soportaran la presión del fluido, también se adicionaron redondeados a los ángulos rectos que permitan facilitar el paso del fluido y genere menos resistencia, además de una muesca en el cabezal para ensamblar con un cilindro que va directamente al motor, una modificación sustancial al diseño fue el haber realizado la turbina a escala 1:4 ya que la pieza iba a ser desarrollada con el fin de ser impresa en una impresora 3D Makerbot, cabe resaltar que el material que utiliza la impresora es PLA (ácido poliláctico o poliláctico). El modelo 3D de la turbina se desarrolla en las medidas establecidas en el bosquejo para más adelante realizar el escalamiento.

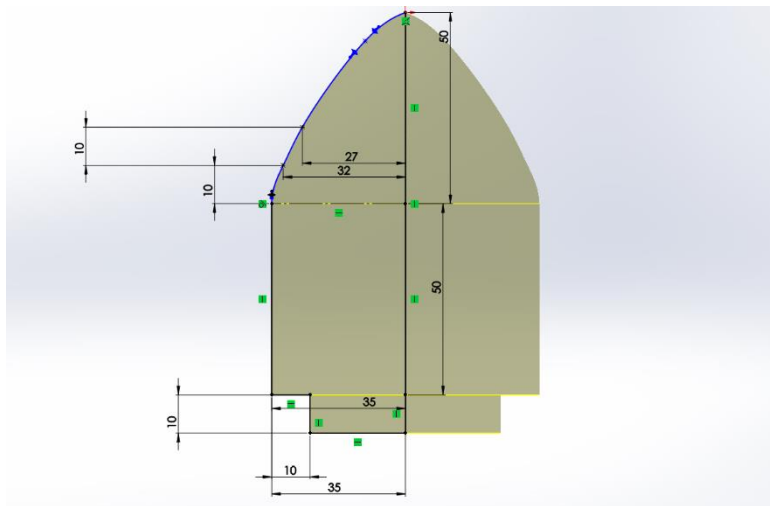


Ilustración 14 croquis para generar la revolución del sólido.

Diseño del autor.

El croquis se basó en la mitad vertical de la bala de la turbina según el bosquejo inicial, se generó un plano donde se dibujó la forma y luego se realizó una revolución de sólido para dar la forma completa. El siguiente paso fue la elaboración de una pequeña saliente dentro de la bala donde se va a alojar una aspa (posteriormente se realiza una matriz para generar las otras aspas), esta saliente tiene los ángulos que permita realizar una extrusión de la aspa.

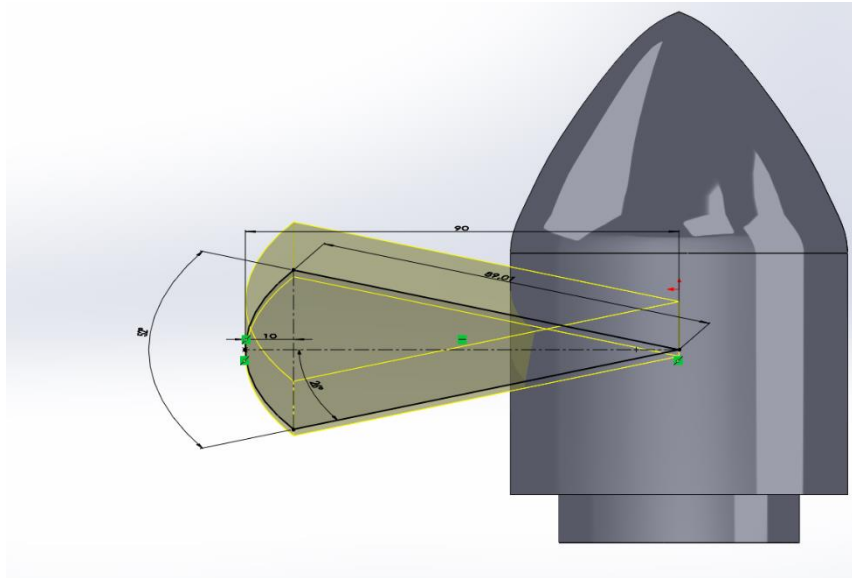


Ilustración 15 croquis aspa.

Diseño del autor.

Como se puede apreciar en esta vista posterior se realiza el croquis donde se origina la saliente, se calcula la distancia desde la saliente hasta el cuerpo de la bala para así adicionar el largo de la aspa.

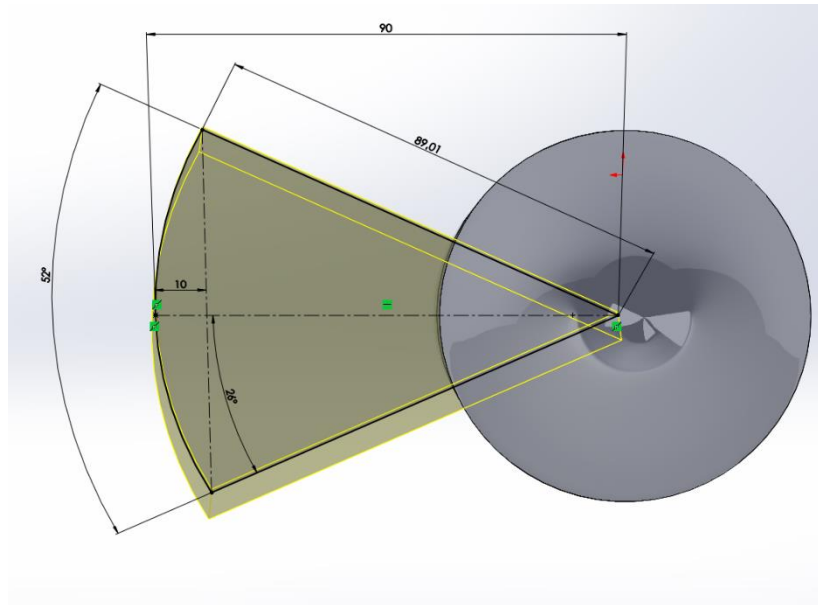


Ilustración 16 croquis aspa vista superior.

Diseño del autor.

En esta vista superior se aprecia de mejor manera las medidas establecidas anteriormente en el bosquejo. Para generar las 4 aspas se genera una matriz que replique el aspa inicial con las mismas dimensiones, además de un leve redondeo a uno de los ángulos rectos, los redondeos aplicados en los ángulos rectos permiten un mejor movimiento al chocar el flujo con la turbina, así se

pretende que la pérdida de energía sea menor, luego se realiza una muesca en la parte inferior que llega hasta la mitad de la turbina, su función es la de permitir ingresar una barra de forma vertical que transforme el movimiento de la turbina en energía eléctrica, además, se realiza dos muescas más que facilite asegurar la barra en la turbina.

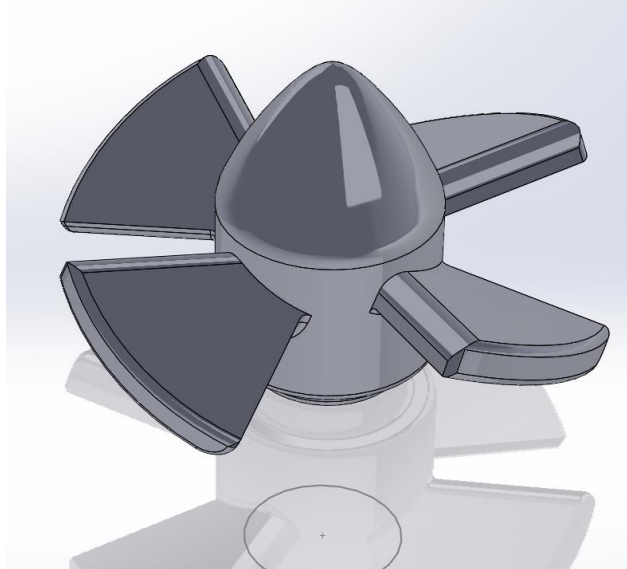


Ilustración 17 redondeados a ángulos de 90°.

Diseño del autor.

En la siguiente ilustración se puede apreciar las medidas de la turbina.

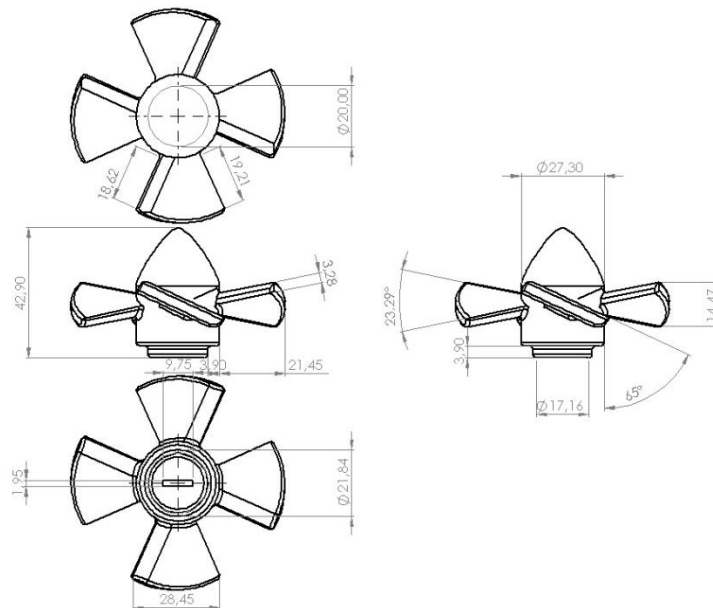


Ilustración 18 plano de la turbina en milímetros escala 1:4.

Diseño del autor.

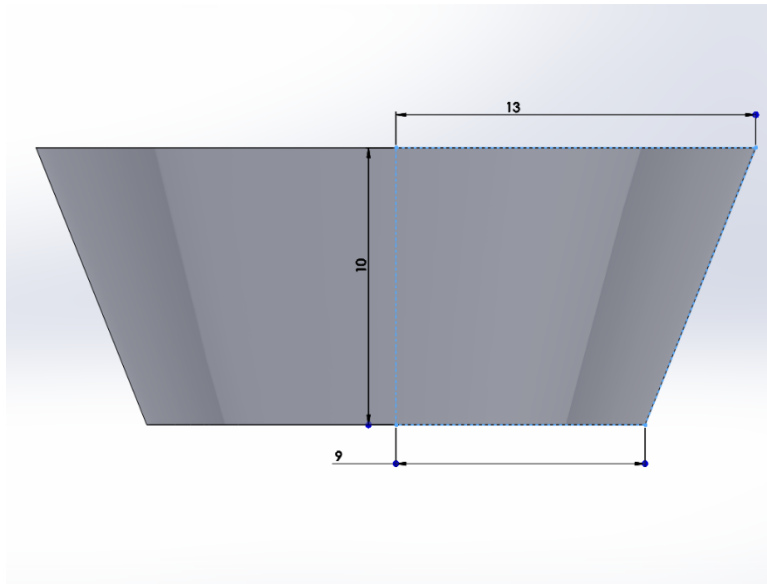


Ilustración 19 croquis del embudo.

Diseño del autor.

La siguiente pieza a modelar es el embudo donde se empieza con un plano y se realiza el dibujo de la mitad de un trapecio al cual se le va a realizar una revolución para generar el sólido

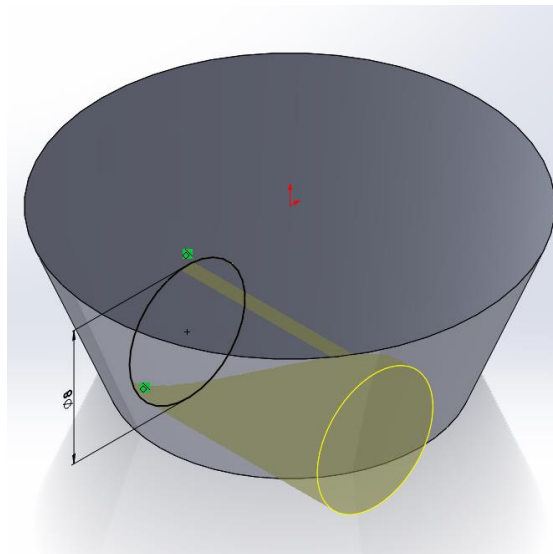


Ilustración 20 boquilla del embudo.

Diseño del autor.

Después de realizar la revolución, se genera el croquis de la boquilla en un plano transversal y así generar la saliente.

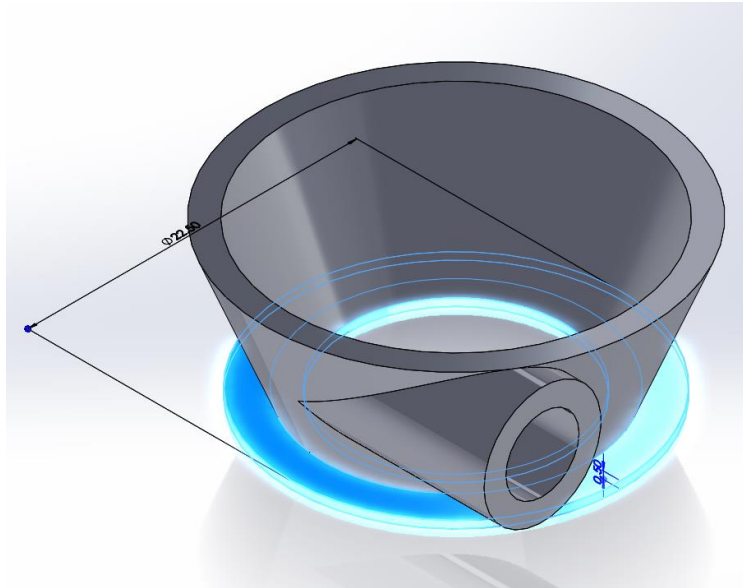


Ilustración 21 vaciado del embudo.

Diseño del autor.

Después de la generación del saliente se procede a generar un vaciado que abarca la saliente y la revolución anterior, así se estructura la forma de la boquilla y un cono que permita apreciar el efecto remolino al desplazarse el líquido, además se genera una saliente en la parte superior y una plataforma en la parte inferior para su ensamblaje con la cámara en la cual va a ir la turbina, a continuación se podrá evidenciar las medidas y la forma final (en milímetros) al escalar la pieza en formato 1:4.

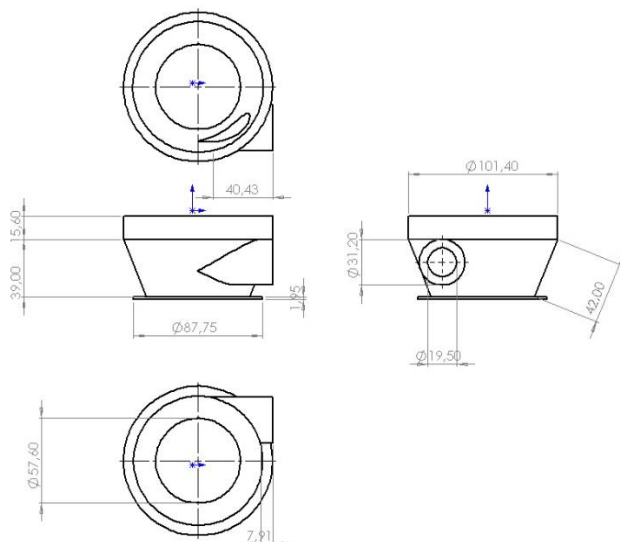


Ilustración 22 plano del embudo en milímetros escala 1:4.

Diseño del autor.

La tercera y última pieza es la cámara donde estará alojada la turbina, aquí la turbina se moverá libremente y el líquido pasara desde el embudo para caer con facilidad en la turbina, para realizar esta primero se realiza un plano con el croquis de un cuadrado donde se le añade a un lado una saliente semicircular, esto se calcula desde el centro de la turbina hasta el punto máximo de la aspa y se adiciona un área donde la turbina tendrá más campo de acción, luego de generar el croquis se pasa a revolucionar para generar el sólido.

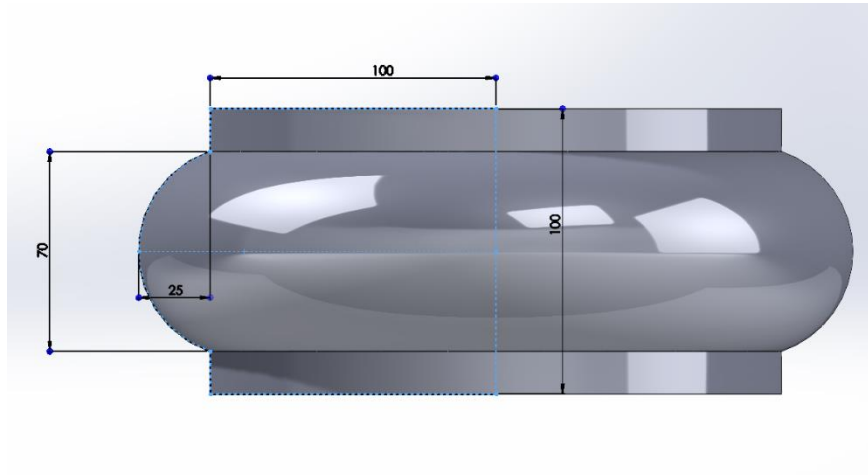


Ilustración 23 croquis de la cámara de la turbina.

Diseño del autor.

Al realizar la revolución y tener el sólido se procede con el vaciado de la figura y la adición de una saliente en la parte superior para acoplar con pegamento el embudo, las mediciones de la cámara se pueden apreciar mejor en la ilustración 25.

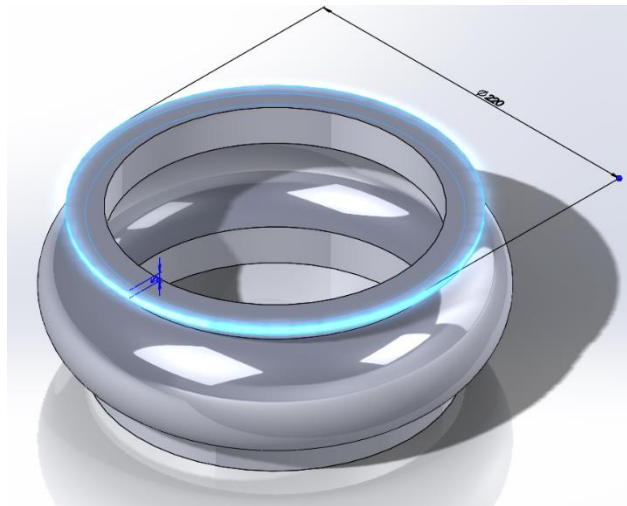


Ilustración 24 cámara de la turbina.

Diseño del autor.

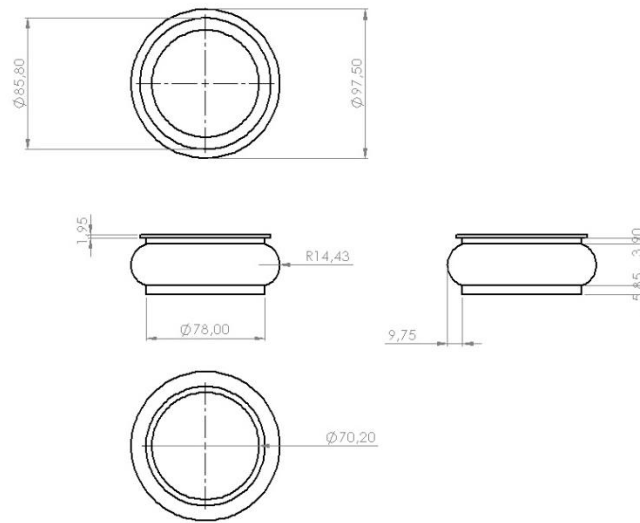


Ilustración 25 plano de la cámara de la turbina en milímetros escala 1:4.

Diseño del autor.

7.3 Construcción de un prototipo.

La construcción del prototipo empieza con la impresión de las piezas hechas en Solidworks en las impresoras Makerbot que la universidad Politécnico Grancolombiano presta para el servicio de los estudiantes, para ello se exporto los archivos originales a “.Thing” para su impresión; la turbina gasto aproximadamente 27.06 gramos de PLA, una densidad del 10% y un tiempo aproximado de 3 horas y 6 minutos.

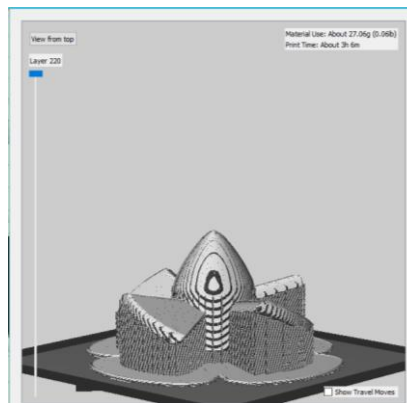


Ilustración 26 turbina lista para impresión.

Diseño del autor.

Para la fabricación de la cámara de la turbina se utilizó un aproximado de 39.52 gramos de material, una densidad del 10% y un aproximado de 4 horas y 40 minutos en su impresión.

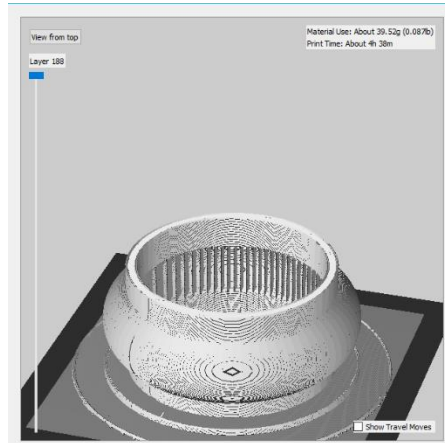


Ilustración 27 cámara de turbina lista para impresión.

Diseño del autor.

Para la última pieza (embudo) se utilizó un aproximado de 18.1 gramos, una densidad del 10% y un aproximado de 2 horas y 33 minutos.

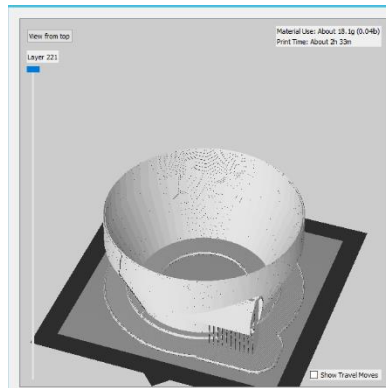


Ilustración 28 embudo listo para impresión.

Diseño del autor.

Al tener las piezas impresas se procede al ensamble y montaje de la estructura que soportara el motor y las piezas impresas, para ello se utilizaron 2 módulos de MDF de 35 x 25 x 0.6 cm (fibropanel de densidad media) y 2 barras de madera 3 x 3 x 100 cm de baja densidad para su fácil manejo; los módulos MDF fueron cortados por medio de impresión láser aproximadamente en la mitad para así alojaren la lámina inferior la cámara de la turbina y en el otro modulo el motor, una lámina fue cortada con un diámetro de 5 cm y la otra con 8; la lámina cortada con el

diámetro de 8 cm va a alojar la cámara y la otra tendrá el motor encima sosteniendo la turbina de manera vertical para que con la caída de fluido esta se mueva sin dificultad dentro de la cámara.

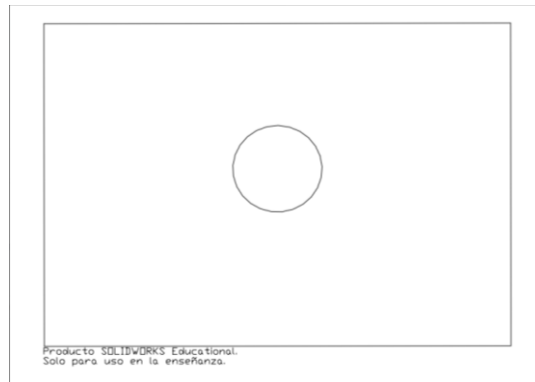


Ilustración 29 imagen de referencia corte laser.

Diseño del autor.

Se procede entonces a cortar las barras de aglomerado en 8 partes de 17.7 cm para que la turbina encaje de buena forma en la cámara, esta medición se basa en la distancia que hay desde la base del motor hasta la altura de las aspas o punto medio que estas tienen (contando la altura de las láminas) y así mismo teniendo en cuenta la medida que va desde la mitad de la cámara hasta la parte inferior de la misma, al tener en cuenta estas variables damos con la medida establecida.

Al tener las barras cortadas se procede con el ensamble, 4 barras van en cada esquina de las láminas uniendo la estructura, la unión se hace mediante tornillos, luego las 4 láminas restantes van a servir para darle altura y así generar un espacio para que el líquido salga sin complicaciones de la cámara que alberga a la turbina.



Ilustración 30 estructura para la turbina.

Diseño propio.

Las piezas impresas en 3D van en la lámina inferior, la primera pieza es la cámara de la turbina que encaja con la circunferencia de la lámina, encima se deposita el embudo pegando las dos piezas con silicona, la turbina entra en la cámara y la barra vertical va depositada en la parte superior conectada al motor; el motor está anclado en una superficie hecha en PVC.



Ilustración 31 construcción completa prototipo.

Diseño del autor.

En total se utilizaron más de 100 gramos de PLA, el PLA se distribuye en paquetes de 100 gramos y estos tienen un costo de 35 mil pesos colombianos, los módulos MDF tuvieron un costo de 3500 la unidad y las barras de aglomerado tienen un costo de 3500 el metro y con 20 centímetros.

7.4 Resultados y mediciones.

Para medir la energía generada se utilizaron dos motores, el primero es un motor de 24 voltios sin RPM (revoluciones por minuto) máximas especificadas y el segundo motor utilizado tiene una capacidad de 9 V y un máximo de 5600 a 6000 RPM el cual tiene una menor resistencia al movimiento, se realizaron varias pruebas con el embudo y sin el embudo haciendo que el agua diera directamente en las aspas.

El primero motor no fue favorable para la primera prueba, al realizar la primera prueba conectando una manguera en el embudo no se logró generar energía debido a que la presión del líquido no fue suficiente para lograr mover las aspas, esto es una debido a que el líquido perdía presión al pasar por el embudo; se realizó un segundo intento sin el embudo haciendo que el líquido que salía de la manguera diera directamente a las aspas y tampoco fue posible generar movimiento dado que la resistencia al movimiento del primer motor es demasiada alta para ser movida por la presión de una llave de agua estándar en un hogar bogotano (una presión aproximada de 11.4 litros por minuto según el EAAB) (El Tiempo., R. e. (26 de 11 de 2019). *BOGOTÁ: NIVEL DE AGUA SIGUE EN DESCENSO*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-231573>), y se requiere de más energía

hidráulica aplicada, entonces se le aplicó más presión a la manguera tapando la salida del agua parcialmente y se logró generar un máximo de 4.5 V y un amperaje de 0.06.



Ilustración 32 prueba primer motor

Diseño del autor

Para la primera prueba del segundo motor tampoco fue posible generar fluido eléctrico debido a la pérdida de presión por el embudo, ya en la segunda prueba al tener la presión dicha anteriormente se generó un voltaje promedio de 0.3 voltios y una corriente de 0.02 amperios; luego tapamos la salida de agua parcialmente en la manguera nuevamente y realizando aquella acción el voltaje paso de 0,3 a un promedio de 1,9 Voltios y de una corriente de 0,02 a 0,1 amperios encendiendo por momentos un pequeño led de 3 Voltios convencional.



Ilustración 33 prueba segundo motor.

Diseño del autor.

Dada la naturaleza de este tipo de turbina se puede diferir que a mayor afluente no siempre es igual a mayor energía eléctrica, la presión juega un papel fundamental para llevar una eficiencia

mayor en las turbinas, es decir, que a mayor presión se puede presentar mayor movimiento en la turbina y que este movimiento se transforme en energía eléctrica dependiendo del motor al que se le aplique tal fuerza y la resistencia de las aspas.

8. CONCLUSIONES:

Al realizarse la investigación, la construcción del modelo en escala y medir sus datos se llega a la conclusión de que puede ser favorable su instalación; recordemos que el prototipo se realizó a una escala 1:4, es decir reducir 4 veces el tamaño real, entonces, si se logra un voltaje máximo de 4.5 y una corriente de 0,06 amperios con el primer motor a una presión de 11,4 litros por minuto (0,0114 metros cúbicos por minuto) a una presión de 15 metros cúbicos por minuto (datos generados por la planta de trata de aguas negras) tendremos un voltaje de 5921,052 y una corriente de 78,947 amperios en promedio si se mantuviera la presión en un ejemplo ideal, esto también utilizando el diseño en el tamaño original, además se puede generar más energía al ejercer mayor presión pero el desgaste de la turbina aumentaría.

Entonces al tener en teoría 5921,052 voltios de energía podríamos dividir el voltaje en fases para agrupar allí componentes electrónicos de uso estándar colombiano (110 V) y así poder conectar la turbina a una red eléctrica como puede ser el de la Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano y darle un alivio económico en el uso de la red eléctrica y así conectar la turbina con la red además de darle un uso más a la planta de trata de aguas negras o bien usar un sistema de baterías que almacenen el fluido eléctrico generado.

La fabricación de la turbina podría realizarse en acero inoxidable ya que es una aleación resistente a grandes presiones y vibraciones (dos grandes condiciones de fabricación), además de ser un material relativamente liviano y que tiene una excelente resistencia a la corrosión, también se ha de tener en cuenta un motor que soporte el voltaje y el amperaje generado en el ejemplo.

CRONOGRAMA

CRONOGRAMA		SEMANAS																
FASES	ACTIVIDADES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ESTABLECIMIENTO DE OBJETIVOS	IDENTIFICAR EL PROBLEMA	■	■															
	GENERAR PASOS PARA AFRONTAR EL PROBLEMA	■	■	■														
EXPLORAR CONCEPTOS	ESTABLECER LA INTENCIONALIDAD DEL PROYECTO		■	■	■													
	APROPIACION DE CONCEPTOS			■	■	■												
RECONOCIMIENTO DEL CONTEXTO	RECONOCIMIENTO DE PROYECTOS SIMILARES					■	■											
DISEÑO Y CONVERGENCIA	DISEÑAR LAS PIEZAS Y ESTRUCTURAS						■	■	■									
	DETERMINAR MATERIALES A UTILIZAR							■	■	■								
PROTOTIPADO	REALIZACION DE LAS PIEZAS										■	■	■	■				
	ENSAMBLE DE LAS PIEZAS											■	■	■	■			
IMPLEMENTACION	PRUEBAS DE LA CAPACIDAD															■	■	
	ORGANIZACIÓN DE DATOS																■	■
VISITAS CON EL ASESOR METODOLOGICO		■		■		■	■	■	■		■		■	■	■		■	■

Tabla 3 cronograma.

Diseño del autor.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Academy, K. (20 de octubre de 2019). *Las leyes de la termodinámica*. Obtenido de <https://es.khanacademy.org/science/biology/energy-and-enzymes/the-laws-of-thermodynamics/a/the-laws-of-thermodynamics>
- [2] Cartagena, U. d. (20 de octubre de 2019). *Estado del Arte 3D*. Obtenido de <http://impresion3dusodidactico.blogspot.com/p/estado-del-arte-3d.html>
- [3] Criollo, X., & Quezada, C. (19 de octubre de 2019). *Diseño de una mini central de energía hidroeléctrica en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cuenca*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1096/13/UPS-CT002113.pdf>
- [4] E. Torres, G. P. (s.f.). *INVESTIGACIÓN EN PEQUEÑAS CENTRALES EN COLOMBIA*. Obtenido de <http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista-12/ar9.pdf>
- [5] Empresa ZECO. (21 de Abril de 2019). Obtenido de Turbina Kaplan: <https://www.zeco.it/zeco-turbinas/turbina-kaplan?lang=es>
- [6] Espitia, S. (7 de noviembre de 2019). *DISEÑO DE UNA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA A ESCALA LABORATORIO UTILIZANDO AGUAS LLUVIAS DEL BLOQUE A DE LA UNIVERSIDAD LIBRE, SEDE BOSQUE POPULAR*. Obtenido de <https://cutt.ly/6e6ahFg>
- [7] Garcia, H. N. (1 de Abril de 2014). *SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE*. Obtenido de http://www.ingenieria.unam.mx/~deptohidraulica/publicaciones/pdf_publicaciones/SELECYDIMENSIONAMIENTOdeTURBINAS.pdf
- [8] INEA, I. E. (11 de 11 de 2019). Obtenido de <http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista-12/ar9.pdf>
- [9] Jorge, S. (07 de Agosto de 2017). Obtenido de El Espectador: <https://www.elespectador.com/economia/en-penumbras-25-millones-de-colombianos-no-tienen-energia-electrica-articulo-706892>
- [10] Menna. (14 de Septiembre de 2018). Obtenido de Como funciona una turbina hidraulica: <https://como-funciona.co/una-turbina-hidraulica/>
- [11] Morales, S., Corredor, L., Paba, J., & Pachecho, L. (25 de Febrero de 2014). *Portal de revistas UN*. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/39757/53963>
- [12] Multiservicios MC ingenieria. (21 de Abril de 2019). Obtenido de Turbinas Hidroeléctricas de Helice: www.multiserviciosingenieria.com/productos/turbina-hidroelectrica/helice
- [13] Ossberger. (21 de Abril de 2019). Obtenido de Tecnología Hidráulica: <https://ossberger.de/es/tecnologia-hidraulica/turbina-original-ossbergerr-de-flujo-cruzado>
- [14] Perú, P. U. (25 de septiembre de 2019). *TESIS PUCP*. Obtenido de <https://cutt.ly/Pe6as1E>
- [15] Quaranta, E. (12 de noviembre de 2019). *Stream water wheels as renewable energy supply in flowing water: Theoretical considerations, performance assessment and design recommendations*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.esd.2018.05.002>

- [16] Rebeca, M. (8 de octubre de 2019). *DISEÑO DE MINICENTRALES HIDROELÉCTRICAS. MODELO DE APROVECHAMIENTO EN EL RÍO BERNESGA (LEÓN)*. Universidad de Salamanca. Obtenido de <https://drive.google.com/file/d/1DRrrlwVs-uROoBwNswQOS1Oh4ihd3Gqx/view>
- [17] Reyes, D., & Peña, C. (15 de septiembre de 2019). Universidad Católica de Colombia. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22838/1/TRABAJO%20DE%20GRADO%20-%20DISE%C3%91O%20DE%20TURBINA%20KAPLAN.pdf>
- [18] Sebastián, E. U.-S. (12 de septiembre de 2019). *ENSAYO DE TURBINAS DE ACCION. CURVAS CARACTERISTICAS*. Obtenido de <http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/TURBINA.htm>
- [19] tecnobasicplace. (25 de Agosto de 2019). *CENTRAL ELÉCTRICA > .* Obtenido de <https://sites.google.com/site/tecnobasicplace/central-electrica/turbina>
- [20] tiempo., R. e. (26 de 11 de 2019). *BOGOTÁ: NIVEL DE AGUA SIGUE EN DESCENSO*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-231573>
- [21] Timilsina, A., Mulligan, S., & Bajracharya, T. (03 de octubre de 2019). *Water vortex hydropower technology: a state-of-the-art review*. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s10098-018-1589-0>
- [22] *TURBINAS KAPLAN Y BULBO*. (12 de Noviembre de 2019). Obtenido de <http://kimerius.com/app/download/5780666733/Turbinas+Kaplan+y+Bulbo.pdf>
- [23] turbine, O. s. (11 de septiembre de 2019). *Optimal shape of thick blades for a hydraulic Savonius turbine*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.11.037>
- [24] YoIngeniero. (21 de Abril de 2019). Obtenido de Turbina Pelton – Partes, aspectos de trabajo y diseño: <https://www.yoingeniero.xyz/civil/turbina-pelton-partes-aspectos-de-trabajo-y-diseno/>