UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previa la obtención del Título de:

INGENIERO ELÉCTRICO

TEMA

"Estudio y simulación de una turbina hidrocinética para generar energía eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil"

AUTOR

Ángel Josué Pérez Pazmiño

DIRECTOR:

Juan Carlos Lata García, MSc

Guayaquil, Enero 2019

CERTIFICADOS DE RESPONSABLILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TIULACIÓN

Yo, Ángel Josué Pérez Pazmiño autorizo a la **Universidad Politécnica Salesiana** la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además, declaro que los conceptos, análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Guayaquil, Enero 2019

_____

Ángel Josué Pérez Pazmiño

Cédula: 1207096627

CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS

Yo, **ÁNGEL JOSUÉ PÉREZ PAZMIÑO**, con documento de identificación N° **1207096627**, manifiesto mi voluntad y cedo a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado titulado "**Estudio y simulación de una turbina hidrocinética para generar energía eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil**" mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de **INGENIERO ELÉCTRICO**, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos antes cedidos.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscrito este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, Enero 2019

_____

Ángel Josué Pérez Pazmiño

Cédula: 1207096627

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN SUSCRITO POR EL TUTOR

Yo, **JUAN CARLOS LATA GARCÍA**, director del proyecto de Titulación denominado "**Estudio y simulación de una turbina hidrocinética para generar energía eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil**" realizado por el estudiante, **ÁNGEL JOSUÉ PÉREZ PAZMIÑO**, certifico que ha sido orientado y revisado durante su desarrollo, por cuanto se aprueba la presentación del mismo ante las autoridades pertinentes.

Guayaquil, Enero 2019

……

Juan Carlos Lata García, MSc

DEDICATORIA

A Dios, ante todo, por acompañarme en cada paso que doy, dándome fortaleza para seguir adelante y por colocar en mi camino a cada persona y situación que de una u otra forma, directa o indirectamente, dieron su aporte en este proceso.

A mis padres quiénes me han enseñado, con su ejemplo, a ser perseverante y a luchar por lograr las metas, por su compañía y apoyo incondicional.

Ángel Josué Pérez Pazmiño

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por llenarme de bendiciones cada día y por ser mi guía en este camino que recorro y que me falta por recorrer.

A mis padres por ser siempre un punto de apoyo y por creer en mí. A mi hermano por acompañarme siempre que lo necesitar. A mis familiares y amigos por estar allí siempre, ofreciéndome su cariño y comprensión, impulsándome cuando más lo necesitaba.

A mi tutor por guiarme en este proceso con paciencia y dedicación, al resto de los profesores y profesoras que con sus exigencias y motivación me han demostrado que un profesional con conocimientos no tiene límites.

A mi querida universidad y a las personas que directa o indirectamente ayudaron a la realización de éste proyecto.

Ángel Josué Pérez Pazmiño

RESUMEN

El río Guayas es una fuente natural de agua que puede ser aprovechado para generar electricidad por medio de una turbina hidrocinética sin afectar al ambiente tanto marítimo como geográfico, la turbina hidrocinética dentro del río recibe el flujo de agua donde mueve la hélice convirtiendo la energía cinética en mecánica; dicho movimiento se incrementa a lo largo de una caja de engranaje para que, finalmente llegar a un generador el cual lo convierte en electricidad.

Todas las fuentes fluviales pueden ser utilizadas como fuentes de energías alternas como la presentada en éste proyecto. Para demostrar la vialidad del aprovechamiento del río Guayas, se realizará un conjunto de análisis que permitirá reunir los resultados de factibilidad de la generación eléctrica con el uso de una turbina hidrocinética.

Para el desarrollo del análisis cuenta con la aplicación de una herramienta informática HEC-RAS, la cual es utilizada para generar simulaciones y cálculos del flujo de ríos y aprovechamientos eléctricos.

Se logró determinar que la velocidad del río Guayas en cual podemos evaluar su potencial energético, dicha energía puede ser almacenada mediante de la aplicación del sistema de control y almacenaje, se debe contar con la información suministrada por el INOCAR y, aun así, se requiere modificar el elemento móvil de dicho mecanismo para que la generación eléctrica tenga los valores esperados.

Palabras clave: electricidad, energía limpia, generador, turbina, río.

ABSTRACT

The Guayas River is a natural source of water that can be harnessed to generate electricity by means of a hydrokinetic turbine without affecting the marine and geographical environment. The hydrokinetic turbine inside the river receives the flow of water where the propeller moves, converting the kinetic energy in mechanics; this movement increases along a gearbox so that, finally, it reaches a generator, which converts it into electricity.

All fluvial sources can be used as alternative energy sources such as the one presented in this project. To demonstrate the viability of the use of the Guayas River, a set of analyzes will be carried out to gather the feasibility results of the electric generation with the use of a hydrokinetic turbine.

For the development of the analysis has the application of a computer tool HEC-RAS, which is used to generate simulations and calculations of the flow of rivers and electrical uses.

It was possible to determine that the Guayas river speed in which we can evaluate its energy potential, this energy can be stored through the application of the control and storage system, it must have the information provided by the INOCAR and even so, it is necessary to modify the mobile element of said mechanism so that the electric generation has the expected values.

Keywords: electricity, clean energy, generator, turbine, river.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADOS DE RESPONSABLILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TIULACIÓN i
CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS ii
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN SUSCRITO POR EL TUTOR iii
DEDICATORIA iv
AGRADECIMIENTOS v
RESUMEN vi
ABSTRACT vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS viii
ÍNDICE DE FIGURAS x
ÍNDICE DE TABLAS xii
INTRODUCCIÓN 13
CAPÍTULO I 15
1. EL PROBLEMA 15
1.1. Descripción del Problema. 15
1.2. Importancia y Alcances 16
1.3. Delimitación 16
1.4. Objetivos 16
1.4.1. Objetivo General 16
1.4.2. Objetivo Especifico 16
1.5. Marco Metodológico 17
1.5.1. Hipótesis 17
CAPÍTULO II 18
2. MARCO TEÓRICO 18
2.1. Las fuentes eléctricas alternativas 18
2.1.1. Energía Eólica. 20
2.1.2. Energía solar. 21
2.1.3. Energía marítima. 21
2.1.4. Energía Biomasa. 22
2.2. Revisión de los tipos de energía renovable en el Ecuador. 23
2.3. Turbina hidrocinética 28
2.2.1. Turbinas hidrocinética de flujo axial. 29
2.2.2. Turbinas hidrocinética de flujo cruzado. 29
2.4. La Ley de Betz. 30
2.5. Producción hidroeléctrica. 30
2.6. Generadores eléctricos. 31
2.6.1. Partes del generador 31
2.6.2. Tipos de generadores eléctricos. 33
2.6.3. Principio del generador eléctrico. 33

2.7. Engranajes 35
2.7.1. Elementos básicos 35
2.7.2. Tipos de engranajes 36
2.7.3. Nomenclaturas de los engranajes 40
CAPÍTULO III 42
3. ESTRUCTURA DE LA SIMULACIÓN 42
3.1. Análisis dinámico del flujo de agua. 42
3.2. Análisis dinámico de la hélice. 43
3.3. Selección del área de estudio. 46
3.4. Realización de simulación. 49
CAPÍTULO IV 57
4. SIMULACIÓN EN SIMULINK & MATLAB 57
4.1. Generación de la simulación. 57
4.2. Análisis del resultado 61
CAPÍTULO V 63
5. CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS 63
5.1. Conclusiones 63
5.2. Futuros trabajos 63
CAPÍTULO VI 64
6. CONTRIBUCIONES 64
APENDICE A 82
APENDICE B 83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción de electricidad a nivel mundial. [5] *18*
Figura 2. Matriz energética de América Latina y Caribe. [6] *19*
Figura 3. Estadísticas de materias primas alternativas IEA. [7] *19*
Figura 4. Turbinas de energía eólica. [8] *20*
Figura 5. Componentes del sistema de energía eólica. [9] *20*
Figura 6. Celdas de energía solar. [10] *21*
Figura 7. Turbinas axiales. [11] *22*
Figura 8. Energía undimotríz. [11] *22*
Figura 9. Energía Biomasa. [12] *23*
Figura 10. Potencial nominal y efectiva por tipo de fuente - 2016. [13] *23*
Figura 11. Materias primas del proyecto. [14] *24*
Figura 12. Fruto de piñón. [15] *25*
Figura 13. Plantación de banano. [16] *25*
Figura 14. Planta solar de Imbabura. [17] *26*
Figura 15. Instalación de panel solar en un hogar. [18] *27*
Figura 16. Turbinas eólicas de Villonaco. [19] *27*
Figura 17. Generadores eólicos de Galápagos. [20] *28*
Figura 18. Clasificación de las hidroturbinas. [21] *28*
Figura 19. Variantes de las turbinas axiales. [22] *29*
Figura 20. Variantes de las turbinas de flujo cruzado. [22] *29*
Figura 21. Partes del generador eléctrico. [25] *32*
Figura 22. Detalles del rotor del generador eléctrico. [26] *33*
Figura 23. Gráficas de operación de un generador. [26] *35*
Figura 24. Detalles del engrane recto. [27] *36*
Figura 25. Detalles del engrane helicoidal. [27] *37*
Figura 26. Engranaje espina de pescado. [28] *37*
Figura 27. Engrane cónico. [29] *38*
Figura 28. Engrane de cara. [29] *38*
Figura 29. Engrane de diente ahusado. [27] *39*
Figura 30. Engrane helicoidales con ejes cruzados. [27] *40*
Figura 31. Detalles de los dientes de engranes. [30] *41*
Figura 32. Principio de Bernoulli. [27] *43*

Figura 33. Partes de una hélice. [28] *43*
Figura 34. Factores que afectan la eficiencia de una hélice. [29] *44*
Figura 35. Perfil de una pala. [30] *45*
Figura 36. Empuje en un perfil. [30] *45*
Figura 37. Perfiles en una pala. [31] *46*
Figura 38. Track longuitudinal del río Guayas. Google Earth. *46*
Figura 39. Valores máximos de velocidad del agua (de enero a junio). Autor. *48*
Figura 40. Icono del HEC-RAS. Autor. *49*
Figura 41. Pantalla de inicio del HEC-RAS. Autor *50*
Figura 42. Pantalla nuevo proyecto del HEC.RAC. Autor *51*
Figura 43. Ventana Geometric Data. Autor. *51*
Figura 44. Ventana para editar secciones ‘‘Cross section Data’’. Autor. *52*
Figura 45. Ejemplo de las coordenadas correspondientes a la simulación del RIO_GUAYAS. *53*
Figura 46. Sección transversal correspondiente la simulación del RIO_GUAYAS. Autor. *54*
Figura 47. Entrada de datos del caudal, pantalla Steady Flow Data. Autor. *54*
Figura 48. Editor de condiciones de entorno‘‘Steady Flow Boundary Conditions”. Autor. *55*
Figura 49. Ventana‘‘Steady Flow Analysis’’. Autor. *56*
Figura 50. Pantalla final de cálculos hidráulicos correctos. Autor. *56*
Figura 51. Parámetro velocidad del río. Autor. *57*
Figura 52. Bloque de turbina (izquierda) y sus bloques internos (derecha). Autor. *58*
Figura 53. Detalle del bloque de función de Ley de Potencia. *58*
Figura 54. Detalle del bloque de función de Logarítmico. *58*
Figura 55. Detalle del bloque de función de la Densidad del agua. *59*
Figura 56. Gráficas del simulador. Autor. *60*
Figura 57. Bloque medidor de energía (izquierda) y sus componentes internos (derecha). Autor. *60*
Figura 58. Simulador resultante. Autor. *61*
Figura 59. Consumo eléctrico por persona mensualmente. [33] *62*
Figura 60. Gráfica de comparación de producción de la turbina. Autor *62*

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I.PAÍSES CON ALTA GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA……31
Tabla II.DATOS DE LA PROFUNDIDA DEL RÍO GUAYAS ESTACIÓN ….....47
Tabla III.DATOS DE LA PROFUNDIDA DEL RÍO GUAYAS ESTACIÓN 50…..47
Tabla IV.DATOS DE LA PROFUNDIDA DEL RÍO GUAYAS ESTACIÓN 100….48

INTRODUCCIÓN

El rápido crecimiento de la economía mundial de 3.1% según el banco mundial [1], el uso del petróleo como combustible principal, sumado a las advertencias de la comunidad científica sobre los problemas del calentamiento global y el cambio climático, ha fomentado la búsqueda de un nuevo marco de política energética en el mundo, con el objetivo de descubrir y adoptar nuevas formas de energías, sobretodo de fuentes renovables.

La energía renovable es la producida por procesos naturales que, como su nombre lo indica, se renuevan constantemente, esto incluye el sol, el viento, el agua, así como varias formas de biomasa (residuos de materia orgánica). Esta no se agota y se renueva constantemente, por lo que es ideal para el desarrollo en los campos de calefacción, refrigeración, electricidad y transporte.

Una nueva forma de energía renovable está comenzando a tomar auge en los últimos años y es generada por corrientes de agua: la energía hidrocinética, que busca eliminar el requerimiento de una carga hidráulica y en su lugar tomar únicamente la energía de los flujos de agua. Es una de las fuentes más estables de energía "limpia" con un grado significativamente menor de incertidumbre y volatilidad y, por lo tanto, con muchas ventajas, incluyendo un bajo costo y un mínimo impacto ambiental.

El siguiente proyecto de investigación tiene como objetivo demostrar la vialidad del aprovechamiento del río Guayas para generación hidrocinética utilizadas en la conversión de la energía cinética de un río en electricidad, mediante la metodología investigativa se realiza el estudio y simulación de una turbina hidrocinética nos permite realizar un análisis de la evaluación del potencial de energía a lo largo del perfil trasversal del río como un nuevo insumo eléctrico alternativo con proyección a un beneficio social.

El presente proyecto se rige por medio de una aplicación metodológica investigativa descriptiva, esta identificación permite desarrollar el estudio realizado de una manera práctica y físicamente fundamentada por la obtención de resultados y de la realización de mediciones y cálculos los cuales una parte de los datos técnicos de la turbina utilizada son suministrados por el fabricante.

Antes de la selección de la turbina, se realiza una comparación de diversos fabricantes en distintos países como Alemania, Canadá y Argentina donde ya se cuenta con la fabricación de generadores hidrocinética. A diferencia de Ecuador donde dichos dispositivos son presentados por distribuidores internacionales existe una limitante económica de los generadores sin tomar en cuenta los trámites aduaneros y de traslado. Muchos de los fabricantes requieren la retroalimentación del uso de sus dispositivos para verificar la eficiencia mecánica y eléctrica, motivo por el cual se desarrolla un análisis previo. A pesar de la limitación nombrada, cada fabricante presenta los datos solicitados para estudiar la adaptación de su generador al proyecto facilitando la verificación de la adaptación del dispositivo.

Junto con la selección de la turbina, se realizan los cálculos y análisis de producción eléctrica con el uso del programa HEC-RAS, y demás datos del fabricante. A partir de dichos resultamos se pueden obtener los valores promedios de generación eléctrica y a su vez, se presenta la factibilidad de la aplicación de la tecnología alternativa eléctrica. Para lograrlo, se han desarrollado cuatro capítulos, en el primero se analiza el motivo de la investigación, el problema y sus limitantes, en el segundo el estado del arte de las energía aprovechable en el país, el tercero abarca los métodos, estrategias y técnicas que permiten analizar las características del río, en el cuarto sus resultados donde se evidencia el potencial eléctrica para generación de dicha fuente natural.

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA

1.1. Descripción del Problema.

En la sociedad moderna, la demanda del consumo de energía es mayor que en el pasado y cada día sigue en aumento a medida que incrementa la economía y la calidad de vida. La generación de electricidad para los hogares, empresas e industrias y el transporte son los principales sectores de consumo.

En la actualidad, la mayor parte de la energía utilizada proviene de fuentes fósiles y convencionales a base de carbón. Sin embargo, estos recursos (lignito o carbón, petróleo y gas natural), suponen un importante problema de sostenibilidad, tanto por motivos ambientales, como económicos (los recursos del planeta son limitados y algún día se agotaran) [2]. Esto conlleva a dos grandes problemas que la sociedad debe resolver: el agotamiento de los recursos y la contaminación ambiental, sin contar que existen comunidades alejadas que cuentan, o bien con un déficit en el servicio eléctrico o este no existe.

Las fuentes renovables de energía o energía verde son fuentes alternativas que se renuevan a través del ciclo de la naturaleza y es prácticamente inagotable, también se les llama energía “limpia” porque su impacto ambiental es bajo en comparación con la no renovable. Las formas renovables son energía solar, eólica, biomasa, hidroeléctrica e hidráulica.

La ciudad de Guayaquil cuenta con un río homónimo que mantiene un caudal cuya corriente podría permitir la generación de energía con la implementación de una turbina hidrocinética, la cual busca disminuir la carga hidráulica utilizando únicamente la energía producida por el flujo de agua [3]. Esto permitirá estudiar y analizar el aprovechamiento energético a una pequeña escala con una fácil proyección de ser ampliado, siendo ejemplo para otras instituciones y comunidades e incentivar la investigación de energías alternas en el Ecuador.

1.2. Importancia y Alcances

La evaluación energético eléctrico del Río Guayas con el uso de una turbina hidrocinética marcará un precedente que puede incentivar a la investigación de aplicación de nuevas medidas de generación energética autosustentables.

La investigación y el desarrollo de la conversión de energía de las corrientes fluviales y marítimas, aunque significativa, es reciente y limitada; en Latinoamérica y especialmente en el Ecuador no hay grandes avances en este tema, tomando en cuenta que existen grandes caudales de agua que pueden usarse para este fin.

El 70% del planeta está compuesto por agua [4] y el hecho de generar energía por medio de las corrientes del agua, tanto marítima como fluvial sin necesidad de embalses, represas ni desviación de ríos puede ser de gran importancia para la preservación del planeta. Esto, además beneficiaria a las comunidades aisladas o que posean un déficit en el servicio eléctrico y cuenten con una fuente de agua cerca.

1.3. Delimitación

Mediante una turbina hidrocinética se evaluará el potencial energético del rio guayas, ubicado frente de la universidad salesiana sede Guayaquil.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Generación de energía eléctrica, a través de una turbina hidrocinética.

1.4.2. Objetivo Especifico

1. Determinar la ubicación óptima que nos permita identificar la velocidad máxima que puede alcanzar el flujo de agua a lo largo del rio Guayas.
2. Demostrar la viabilidad en la generación eléctrica tomando como recurso natural el Río Guayas.
3. Evaluar el potencial energético de las corrientes del rio Guayas.
4. Incentivar a la creación de una nueva alternativa para la generación eléctrica mediante la utilización de turbinas hidrocinética.

1.5. Marco Metodológico

Debido a que el presente proyecto constituye en la evaluación del potencial de generación de energía eléctrica utilizando el río Guayas como elemento natural y fuente de energía cinética, se establece la aplicación de la metodología descriptiva debido a los siguientes motivos:

Se tomarán las referencias técnicas de la características del río Guayas suministrados por el INOCAR, a su vez se cuentan con un conjunto de medidas de velocidad que han sido recopiladas a lo largo de un año. Basados en la información suministrada por el fabricante del generador, se tendrán las características de la hélice y den generador para contar con la eficiencia y valores de velocidades adecuados. Se utilizará el programa HEC-RAS para generar las estimaciones necesarias de las características del río en función de la ubicación óptima de la turbina.

Al ser una investigación se realizará la estimación de eficiencia de la turbina para la generación eléctrica incluyendo la demostración de su funcionabilidad.

1.5.1. Hipótesis

Al estudiar la efectividad de la instalación de una turbina hidrocinética que convierta la energía dinámica del río Guayas, permitirá obtener un provecho energético renovable que puede servir como alternativa ecológica al sistema convencional eléctrico.

Se demostrará la eficiencia de un sistema eléctrico alterno como nuevo método de ahorro de energía y beneficio social de interés comunal.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Las fuentes eléctricas alternativas

Actualmente la tecnología está involucradas en múltiples procesos y de diversas áreas que puede notarse la alta influencia de ésta en el desarrollo cotidiano de cada ciudadano durante las 24 horas del día, el uso de dicha tecnología requiere de un consumo eléctrico que se encuentra acumulado en una batería o que depende directamente de un sistema de alimentación eléctrica, bajo éste aspecto se debe reconocer que la frase “la materia no se crea ni se destruye, sólo se transforma” de Antonie Laurent de Lavoisier (Francia 1743-1793), científico pionero de la química, que demostró su aplicación para la energía.

Para reforzar lo anterior, se debe tomar el panorama mundial, las tasas de natalidad y mortalidad contra los promedios de producción eléctrica de cada país para realizar una balanza y deducir que cantidad de energía es requerida para que sea convertida en electricidad y así abastecer a toda la humanidad. En la figura 1 se aprecia gráficamente la cantidad de energía hidroeléctrica generada por cada país con las estadísticas del 2015 perteneciente a la Agencia Internacional de la Energía (IEA), donde destacan países como Japón, Estados Unidos y Brasil.

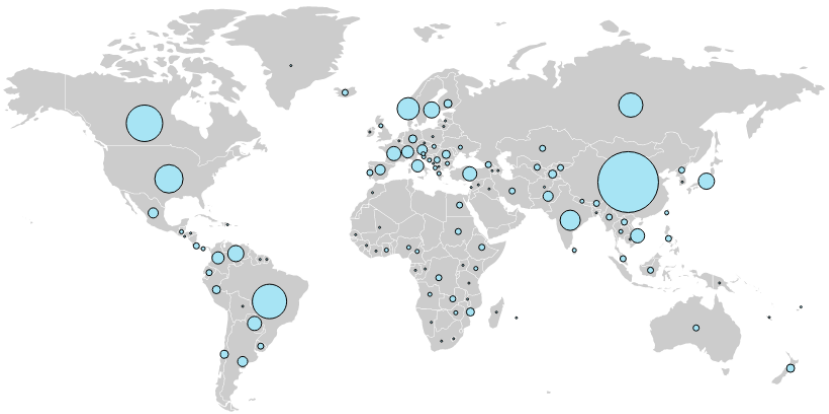


Figura 1. Producción de electricidad a nivel mundial. [5]

En la figura 2, se presenta las gráficas de los porcentajes de existencia de energías renovables en Latinoamérica en comparación con el mundo, según las estadísticas de la Organización Latinoamericana de Energía del año 2012.

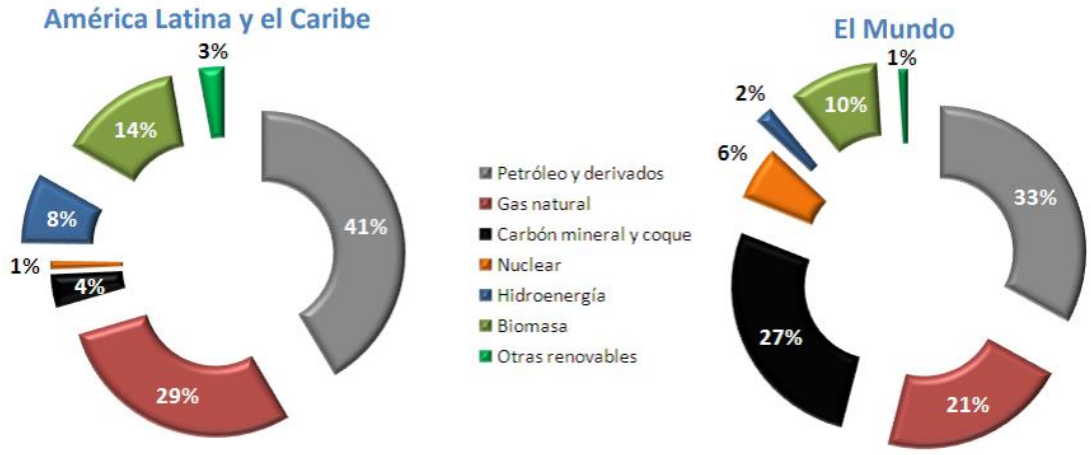


Figura 2. Matriz energética de América Latina y Caribe. [6]

En la figura 3, se expone el porcentaje de las materias primas y origen de la producción alternativa de electricidad según la IEA con sus datos del 2015.

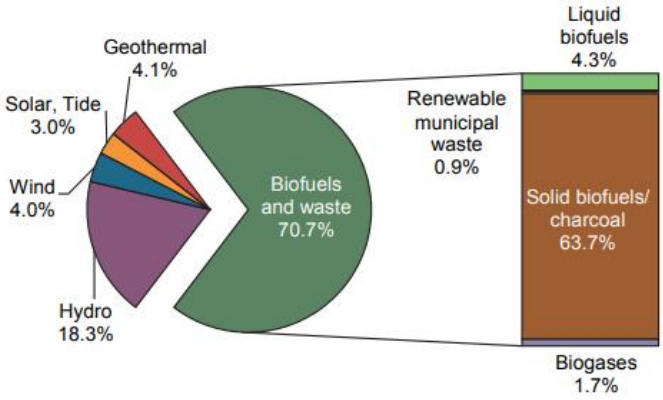


Figura 3. Estadísticas de materias primas alternativas IEA. [7]

2.1.1. Energía Eólica.

Es la energía obtenida por la explotación del viento de una localidad para realizar su conversión a electricidad por medio del uso de turbinas eólicas. Se debe tomar en cuenta que la energía eólica ha tenido un uso desde hace mucho tiempo generalmente en molinos y graneros, además en la movilización de barcos.

Figura 4. Turbinas de energía eólica. [8]

Para la transformación de la energía se captura el viento con un conjunto de hélice, éste transmite su movimiento a un eje, esto se le considera como una etapa mecánica hasta llegar al generador, éste elemento se encarga de desarrollar la energía eléctrica a partir del movimiento circular. En estos sistemas se incorporan baterías, controles, cableados entre otros.

La energía eólica es considerada como una inagotable fuente de energía debido a que depende de un elemento natural que siempre está presente, por tal razón hay muchos países que han desarrollado áreas de aprovechamiento del viento y leyes para su regulación.

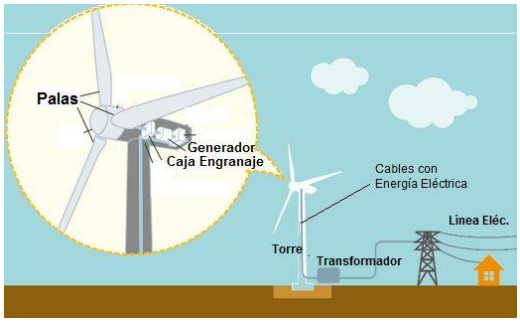


Figura 5. Componentes del sistema de energía eólica. [9]

2.1.2. Energía solar.

Corresponde con todos los mecanismos que utilizan el sol como elemento principal de la conversión de la energía. Su base de empleo está estructurado por el aprovechamiento de la radiación solar que generalmente es absorbido por un colector solar, esto puede ser algún líquido o una placa solar para desarrollar la energía requerida. Una de las maneras más simples del uso de ésta energía es como calefactor, en otros casos se obtiene energía eléctrica para almacenarse o aplicarse instantáneamente.

Figura 6. Celdas de energía solar. [10]

En muchos de los países asiáticos, debido a la tecnología de punta, se desarrollan diversas maneras de aprovechamiento del sol, durante diversos niveles educativos se gestiona la apreciación de diversas tecnologías alternativas como ésta.

2.1.3. Energía marítima.

Además de la energía eólica, se le considera como una de las fuentes energéticas inagotable que poseen diversas maneras de ser explotadas, actualmente existen maneras de aprovechar el oleaje, la corriente y la temperatura marítima para la obtención de energía eléctrica.

Muchos de los países desarrollados como Francia e Inglaterra, han desarrollado mecanismos productivos de electricidad por éste tipo de energía.

Figura 7. Turbinas axiales. [11]

Figura 8. Energía undimotríz. [11]

2.1.4. Energía Biomasa.

Éste tipo de energía tiene su fundamento de la descomposición o quemado de algunas materias específicas, en la actualidad se consideran dos tipos de biomasa: Natural y Residual. La primera contiene los productos vegetales, incluyendo la fotosíntesis y la aplicación de madera para obtener energía de su combustión. Entre los productos residuales se encuentran aquellos de origen animal, comprendidos específicamente por los excrementos que son explotados para generar metano; otro producto considerado en éste renglón son aquellos residuos de origen industrial que permiten su combustión y aprovechamiento.

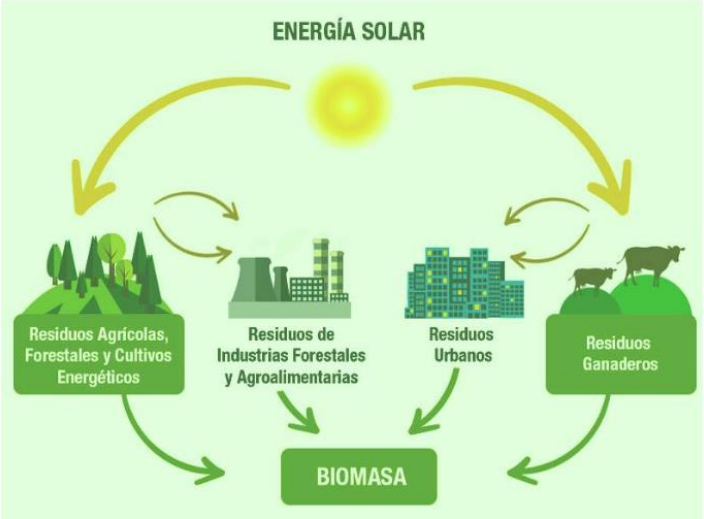


Figura 9. Energía Biomasa. [12]

2.2. Revisión de los tipos de energía renovable en el Ecuador.

Ecuador posee diferentes tipos de energías alternativas que recientemente está tomando importancia debido al apoyo establecido por el gobierno nacional. Basados en los datos oficiales respecto a la producción eléctrica alternativa se tienen los siguientes datos:

Tipo Fuente	Tipo de Central	Tipo de Unidad	Potencia Nominal (MW)	Potencia Efectiva (MW)
Renovable	Hidráulica	Hidráulica	4.446,36	4.418,18
	Térmica Biomasa	Turbovapor	144,30	136,40
	Fotovoltaica	Fotovoltaica	26,48	25,59
	Eólica	Eólica	21,15	21,15
	Térmica Biogás	MCI	2,00	1,76
Total Renovable			**4.640,29**	**4.603,07**
No Renovable	Térmica	MCI	2.005,43	1.611,63
		Turbogás	1.118,85	969,43
		Turbovapor	461,87	422,74
Total No Renovable			**3.586,14**	**3.003,80**
Total			**8.226,42**	**7.606,88**

Figura 10. Potencial nominal y efectiva por tipo de fuente - 2016. [13]

Los sistemas y proyectos actuales que cuentan con un promedio de registros de productividad energética son los siguientes:

- **Energía biomasa**. Ecuador por ser un país de gran producción agrícola, con producciones de arroz y plátano principalmente, posee una gran oportunidad de aprovechamiento de recursos naturales de energía por biomasa. Entre los proyectos actuales de éste tipo de energía se encuentran:

- ***Bagazo de caña de azúcar.*** En el país se cuenta con un alto nivel de cultivos del cual la caña de azúcar posee un interesante papel en el futuro energético a nivel nacional. Se está desarrollando la aplicación de un 5% del volumen de la gasolina vehicular conformado por el bioetanol extraído del bagazo de la caña de azúcar, y cuenta con una proyección del 10% para el 2020. De manera paralela se cuenta con la quema del bagazo en las plantas azucareras para aprovechas la combustión de un material residual del proceso.

- ***Planta de Biomasa Cuesco de Palma Africana***. Ubicada en la parroquia Plan Piloto, la Concordia, provincia Santo Domingo de los Tsáchilas. Cuenta con una producción energética de 240 kW por el uso del cueco de palma africana como materia prima junto con el raquis y fibra de la planta. También cuenta con el aprovechamiento de los residuos de arroz y el uso de la caña guadua. A partir de un material anual de aproximadamente 3183,8 ton/año de palma africana, 2233,72 kilo ton/año de desechos de arroz, y 1587,5 kilo ton/año de caña guadua, la planta energética puede producir 3595,32 GWh/año.

Figura 11. Materias primas del proyecto. [14]

- ***Aceite de piñón***. Desde el año 2011 se inició un plan piloto en las Islas Galápagos como sustitutas alternativas del diésel, se han desarrollado un incremento productivo de la siempre del piñón en 22 cantones de dicha provincia. Hasta marzo del 2017 se había reemplazado 41744,86 galones de diésel por dicho aceite vegetal. Existen otras primicias como Manabí donde también se desarrollan éste tipo de proyectos energéticos. En la Parroquia Julio Moreno de la Provincia de Santa Elena, también cuenta con la extracción del aceite vegetal del piñón, al igual que en la Isla Puná de la provincia de Guayas, que cuenta con una producción mensual de 250 MW-h.

Figura 12. Fruto de piñón. [15]

- ***Producción de hidrógeno con residuo de banano***. Ecuador como uno de los mayores productores de banano a nivel mundial, se encuentra en estudios y análisis del uso de los residuos del banano como materia prima de la producción de hidrógeno. El proyecto principalmente se desarrolla en la Universidad de Cuencas y cuenta con el apoyo del Instituto Nacional de Energías Renovables, INER. Éste proyecto se estima que promoverá la mayor fuente de energía del próximo siglo.

Figura 13. Plantación de banano. [16]

- ***Algas y su energía***. Desde el año 2004, se han desarrollado un conjunto de laboratorios y proyectos de análisis de las algas como productoras de energía,

uno de las investigaciones se trata de la producción de un biodiesel a base de algas, inaugurado en Cumbayá y con convenio con la Corporación para la Investigación Energética y la Empresa Eléctrica Quito, se desarrollan métodos de producción alternativa energética con algas endémicas. La Universidad de las Américas (UDLA) se encuentra colaborando con dicho proyecto. También se cuenta con la producción de un carbono vegetal a partir de las algas, el Centro de Investigación y Estudios Avanzados (Cinvestav) del IPN, se encuentra desarrollando dicho proyecto. El proceso se basa con un proceso de quemado de las algas en un horno carente de oxígeno para obtener un carbón natural.

- **Energía Solar.** En éste tipo de tecnología se presentan pocos proyectos de gran magnitud y de beneficio social, los altos costos de las placas solares limitan su aplicación.

- ***Primera planta solar***. Ubicada en el cantón Pimampiro, provincia Imbabura, físicamente es un área formada por tres hectáreas y 4160 paneles solares que poseen una producción de 998 kW, resultando de 28 MW mensual. El proyecto contó con el financiamiento y permisos del Estado, su implantación presenta un beneficio a la comunidad con el ahorro energético.

Figura 14. Planta solar de Imbabura. [17]

- **Paneles solares**. Se trata de un proyecto de ocho localidades del Golfo de Guayaquil: Santa Rosa, Vella Vista, Puerto Arturo, Libertad, Puerto Roma, San Vicente, Cerritos y Puerto Salinas. El objetivo principal es la de crear un abastecimiento eléctrico con la aplicación de paneles solares estableciendo un servicio básico. Éste proyecto logró beneficiar a un conjunto de familias.

Figura 15. Instalación de panel solar en un hogar. [18]

- **Energía Eólica**. En Ecuador existen sólo dos instalaciones de aprovechamiento de la energía eólica.

- ***Central Eólica Villonaco***. Ubicada en las provincias de Loja y creada en el 2013, es un desarrollo tecnológico que cuenta con una serie de turbinas eólicas capaces de generar entre 59,79 y 90,92 GWh al año, convirtiéndose en uno de los proyectos ecológicos emblemáticos de Ecuador y posee reconocimiento mundial, cuenta además con un parque de atracción turística

Figura 16. Turbinas eólicas de Villonaco. [19]

- ***Planta eólica de Galápagos***. Ubicada en la isla Santa Cruz de la provincia de Galápagos, cuenta con tres generadores eólicos de 750 kW cada uno, con un total de 2,4 MW soportando 21,4% de la exigencia energética de la isla.

Figura 17. Generadores eólicos de Galápagos. [20]

2.3. Turbina hidrocinética

Entre las diferentes turbinas que existen a nivel mundial, las hidrocinética son aquellas que están diseñadas para aprovechar el movimiento o energía cinética del agua para obtener un suministro eléctrico continuo, esto es logrado por la transmisión del movimiento hacia un eje que se conecta con un generador eléctrico adecuado al flujo de corriente. Esto último permitirá que la turbina posea un buen rendimiento.

Las turbinas poseen una clasificación que es mostrada por Jasveer Kaurde una manera muy simple como se muestra en la figura 18. [21]

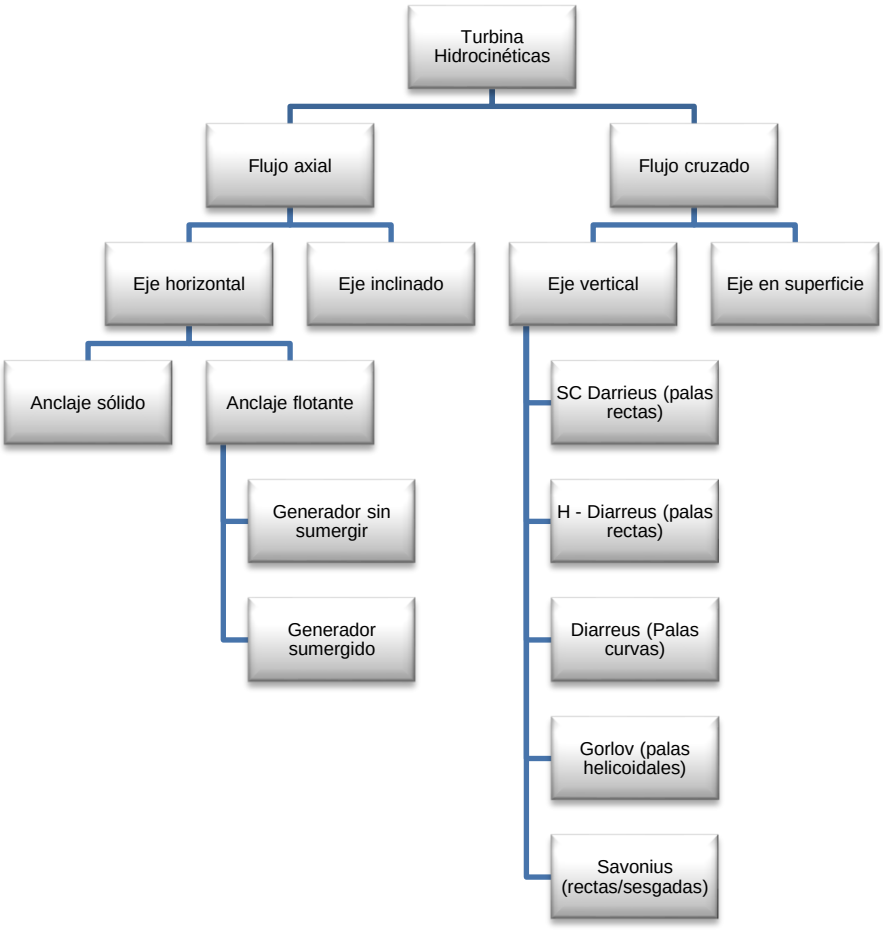


Figura 18. Clasificación de las hidroturbinas. [21]

2.2.1. Turbinas hidrocinética de flujo axial.

Su característica física sobresaliente es que el paso de la corriente de agua es a lo largo del eje longitudinal de acción de las hélices. Aun en el caso del eje inclinado, éste tipo de turbinas poseen un mayor uso debido a su práctico diseño y facilidad de armado.

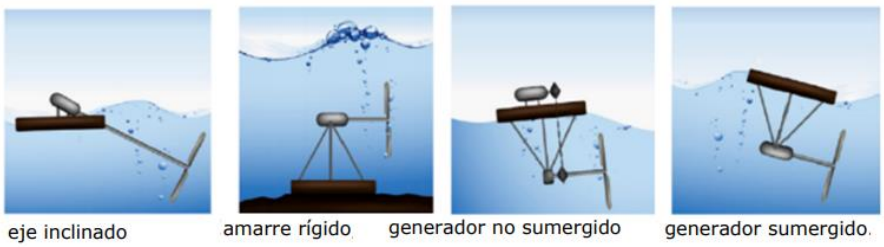


Figura 19. Variantes de las turbinas axiales. [22]

2.2.2. Turbinas hidrocinética de flujo cruzado.

En éste tipo de turbinas se denotan ya que generalmente el eje de acción de las hélices es perpendicular respecto al flujo de agua. También existe una variante en el diseño y en algunos casos complejidades en el diseño de las hélices.

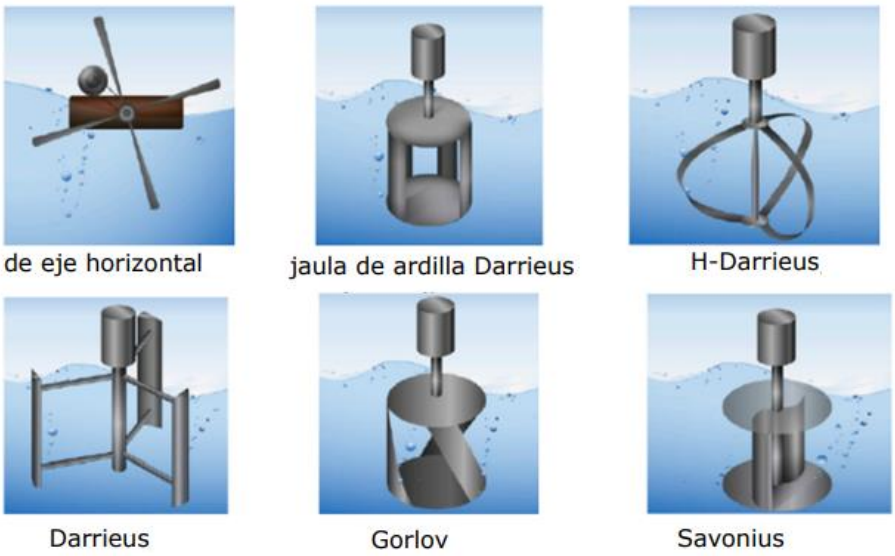


Figura 20. Variantes de las turbinas de flujo cruzado. [22]

2.4. La Ley de Betz.

Desde los inicios de los estudios de la física aplicados a los fluidos, el científico alemán Albert Betz (1885-1968), durante el año 1919 logró determinar que para todo flujo de viento que pasa por una turbina, se desarrolla una disminución de su flujo para obtener el movimiento de la turbina, durante sus estudios determinó que toda turbina desarrolla una eficiencia de 59,3% como límite, y que éste valor no es alcanzado en la realidad donde se obtienen valores promedios de 35-45%. En vista de que en la física el viento es considerado un fluido, la Ley de Betz se aplica a las hidroturbinas cinéticas pero en aquellas de tipo de flujo axial.

Magdi Ragheb, indica que la Ley de Betz permite el cálculo de la potencia de la turbina por la ecuación: [23]

$$P = {}^{1}/_{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v^{3} \qquad (1)$$

De ésta ecuación se debe considerar que, **S** es el área de acción de las hélices de la turbina, **v** es la velocidad del fluido, y **ρ** la densidad del mismo. Del mismo modo se puede extraer el coeficiente de desempeño de la turbina que se representa por la relación:

$$C_p = \frac{P}{W} \qquad (2)$$

De la fórmula 2, **W** equivale a la potencia disponible en el flujo sin interrumpir, P equivale a la potencia aprovechada de la turbina.

2.5. Producción hidroeléctrica.

A nivel mundial existen diversas organizaciones que rigen el uso de la electricidad y el medio de explotación del mismo para delimitar el daño ambiental de dicha industria. Marko Hočevar ha representado una tabla, donde expone algunos países con altos índices de generación eléctrica por sus plantas hidroeléctricas, esto quiere decir que

son instalaciones que utilizan un conjunto de turbinas que son movidas por grandes cantidades de flujos de agua.

Tabla I.
Países con alta generación hidroeléctrica. [24]

Nombre	Estado	Río	Poder instalado (MW)	Producción anual (TW/h)
Three Gorges	China	Jangce	22500	98,1
Itaipu	Paraguay y Brasil	Parana	14000	98,3
Xiloudu	China	Jinsha	13860	57,1
Guri	Venezuela	Caroní	10200	53
Tucurui	Brasil	Tocantins	8370	41
Grand Coulee	USA	Columbia	6809	20
Xiangjiaba	China	Jinsha	6448	30,7

En ésta investigación no se pretende la generación de grandes cantidades de electricidad sino la demostración práctica de que una simple turbina puede fácilmente generar una conversión de energía capaz de beneficiar a un consumo eléctrico común.

2.6. Generadores eléctricos.

Estos dispositivos son mecanismos electromagnéticos que son capaces de transformar una energía mecánica en eléctrica, prácticamente de forma inversa que el impulso eléctrico aplicado a un motor para generar un movimiento mecánico. Un generador está formado por dos partes principales: Estator y Rotor.

2.6.1. Partes del generador

Estator. Está compuesta por el conjunto sólido llamada carcaza que se establece como una base del inductor, es decir, el conjunto de bobinas o imanes que generan el campo magnético impulsor. Las bobinas generalmente están conformadas con un conductor de cobre que rodean al núcleo de hierro en la cantidad de vueltas necesarias para generar el giro de diseño.

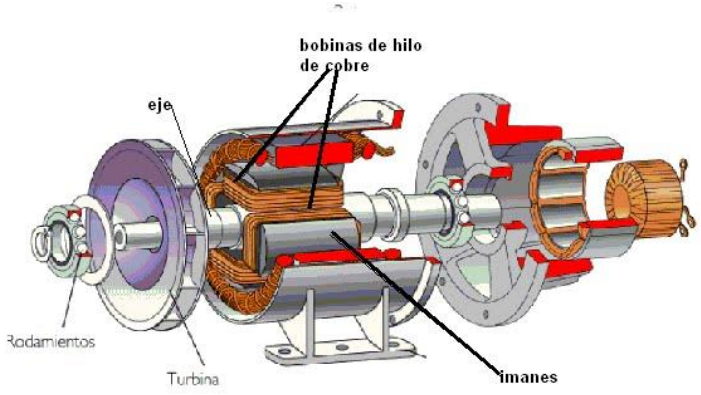


Figura 21. Partes del generador eléctrico. [25]

Rotor. Corresponde a la unidad móvil que permanece interna al estator, es la sección que recibe al campo magnético impulsor causando una reacción que lo hace girar constantemente. Posee las siguientes partes:

- **Núcleo.** Corresponde con la base y soportes de las bobinas del rotor y permite el aprovechamiento del campo magnético reduciendo su pérdida.
- **Bobinas.** Son un conjunto de espiras de cobre aislados por el cual circula la corriente eléctrica y a su vez genera un campo magnético que se opondrá al campo generado por el estator. En éste elemento se establece la fuerza del giro en base a la cantidad de corriente suministrada y el campo magnético inducido.
- **Colector.** Son una serie de lámina de cobre que reposan en un tambor concéntrico al eje que permite la alimentación eléctrica de cada par de bobinas que por reacción magnética producirán el giro del eje.
- **Escobillas.** Son pequeños elementos metálicos o de grafito que facilitan la aplicación de la corriente hacia el colector.
- **Cojinetes.** En algunos casos también chumaceras que sirven como una estructura de apoyo que facilita el giro del eje.

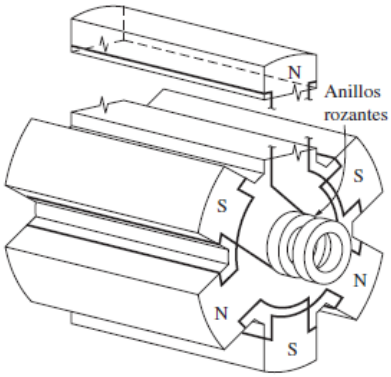


Figura 22. Detalles del rotor del generador eléctrico. [26]

2.6.2. Tipos de generadores eléctricos.

La diferencia principal que permite clasificar inicialmente a los generadores es el tipo de energía eléctrica que es capaces de producir, corriente alterna o directa, por lo tanto actualmente existen dos tipos:

- **Dinamos.** Éste tipo de generador es capaz de desarrollar una corriente continua o directa, su tamaño es relativamente pequeño y algunos casos pueden alcanzar hasta 4 pulgadas de diámetro. Los avances tecnológicos actuales han permitido el desarrollo de diversas aplicaciones de los dínamos como cargadores de baterías de uso común tipo AA y AAA.

- **Alternadores.** Comprenden motores de mayor peso y eficiencia debido a que puede generar corriente alterna, entre los mejores ejemplos de aplicación se encuentra el alternador de un vehículo, éste elemento permite alimentar constantemente la batería y el sistema eléctrico de la máquina.

2.6.3. Principio del generador eléctrico.

Tanto los motores y generadores eléctricos deben cumplir con la Ley de Faraday que dispone que el flujo magnético que es recibido por una bobina, genera una corriente

inducida. Por lo tanto, con la disposición adecuada de bobinas y el campo magnético enfocado directamente a las anteriores crean el movimiento por inducción.

Seguidamente la Ley de Lenz completa la ecuación indicando el signo de la corriente inducida tomando en cuenta el sentido del campo magnético suministrado, ambas leyes establecen que la fuerza electromotriz (fem) producida corresponde con la ecuación:

$$fem = -N\frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \tag{3}$$

Dónde N es la cantidad de espiras de la bobina, φ es el flujo magnético recibido, y t es el tiempo que dicho flujo es recibido por la bobina.

Pero en cuanto al voltaje interno generado por el movimiento del eje del generador se obtiene que corresponde con:

$$E_A = K\varphi\omega \tag{4}$$

La dependencia de la velocidad corresponde directamente hacia la velocidad del giro del eje ω, del flujo magnético que es inducido desde el rotor hasta el estator φ, y de la constante K que representa los parámetros de construcción del generador.

En cuanto a las gráficas siguientes se puede apreciar que el flujo magnético depende directamente de la corriente, gráfica a, y que la gráfica de magnetización también depende directamente de la corriente.

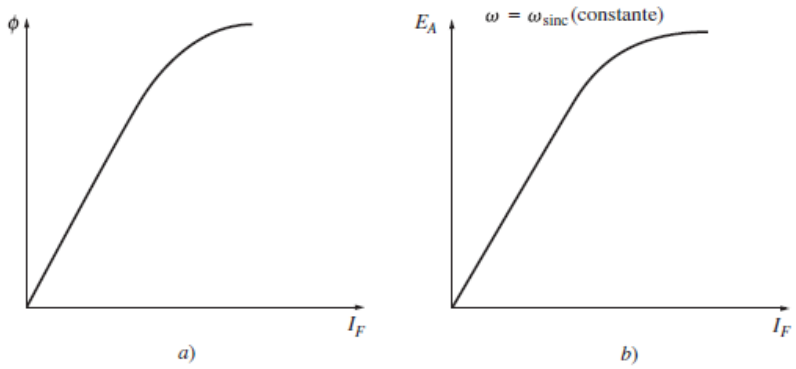


Figura 23. Gráficas de operación de un generador. [26]

2.7. Engranajes.

El engrane es un elemento mecánico en forma básica de disco o cilindro, en la mayoría de los casos está compuesto por un metal y en otros de plástico, según su exigencia de potencial, y está formado por una serie de dientes que permite el acople entre ellos, de ésta manera son capaces de transmitir un movimiento circular de relación potencial que puede ser ampliado, mantenido o reducido.

2.7.1. Elementos básicos

- Un engranaje de dimensiones pequeñas recibe el nombre de piñón, es el elemento que obtendrá mayor velocidad angular.
- En engranaje mayor recibe el nombre de engrane o corona, generalmente produce la reducción o multiplicación de la velocidad angular cuando se acopla con un piñón.
- Eje, es la barra que posee un engranaje y permite asegurar el mismo en una posición adecuada.
- Engranaje, es una pieza única o compuesta por dos engranes que pueden poseer dimensiones diferentes.
- Tren de engranajes, Corresponde con la unión de tres o más engranes para la producción de diferentes velocidades.

2.7.2. Tipos de engranajes

La característica bajo la cual la ingeniería clasifica a los engranajes, se relaciona exactamente con el ángulo existente entre los ejes de los mismos: paralelos, cónicas y aquellas donde no se cruzan ni se cortan. [27]

- De ejes paralelos.
  - Engranes rectos: Son los engranajes más comunes y con muchas aplicaciones, su forma es cilíndrica o de disco donde los dientes son paralelos entre sí y respecto al eje. Poseen dos variantes que dependen de la ubicación de los dientes: Externos e internos.

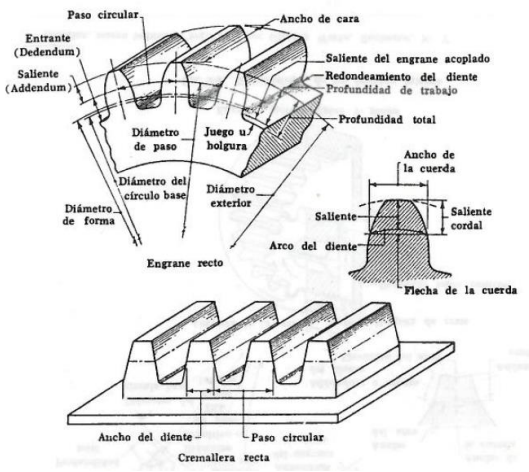


Figura 24. Detalles del engrane recto. [27]

  - Engranes helicoidales: Externos e internos. En éstos engranajes en particular se puede observar que los dientes poseen un ángulo respecto a su eje que por norma permanece entre 15 y 35°, conservan una forma helicoidal, éste engrane se acopla según su sentido, es decir, un engrane derecho con izquierdo y viceversa, otra de las cualidades que éste engrane es que el ruido generado durante su operación es menor que del engranaje recto.

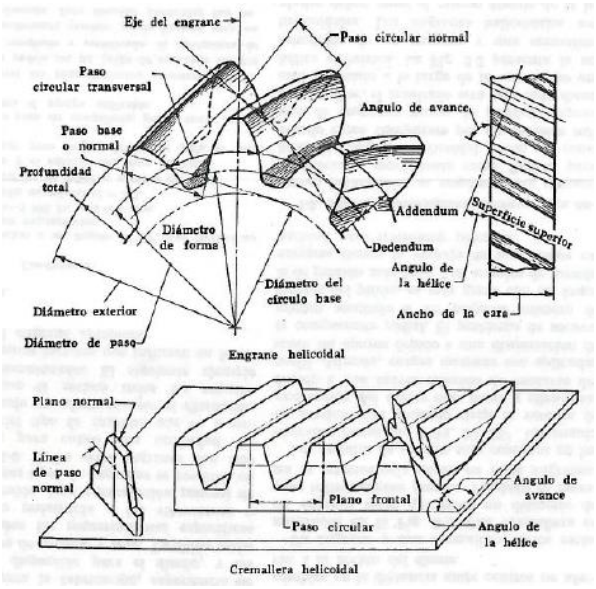


Figura 25. Detalles del engrane helicoidal. [27]

- Engranes espina de pescado: Éste tipo de engranajes es un variante de la helicoidal pero posee una doble formación de dientes, durante su operación se presenta un empuje axial que puede ser corregido por la formación alterna de los dientes. Sus características son similares a las anteriores, también poseen dientes internos y externos.

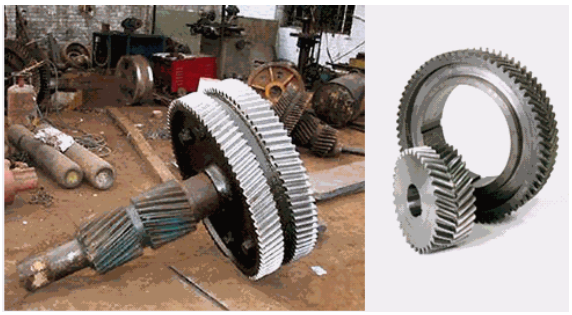


Figura 26. Engranaje espina de pescado. [28]

- Ejes que se cortan.
  - Engranes cónicos: Su forma primitiva correspondiente es la de un cono truncado y en su cara se encuentran los dientes. El acople de los engranajes permiten obtener generalmente un ángulo de 90° para trasladar la potencia,

éste tipo de engranaje posee tres variantes: Engrane cónico recto, Dientes Zerol y dientes espirales.

Figura 27. Engrane cónico. [29]

- De cara. Presentan sus dientes en la cara superior de su pieza, es de poco uso industrial.

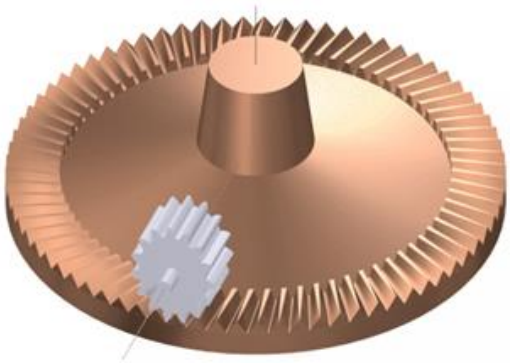


Figura 28. Engrane de cara. [29]

- De diente ahusado. Son los engranes que poseen un ahusamiento y por ello puede obtenerse un adaptación de diversos ejes aunque la coincidencia de dichos ejes se cumpla sólo en pares.

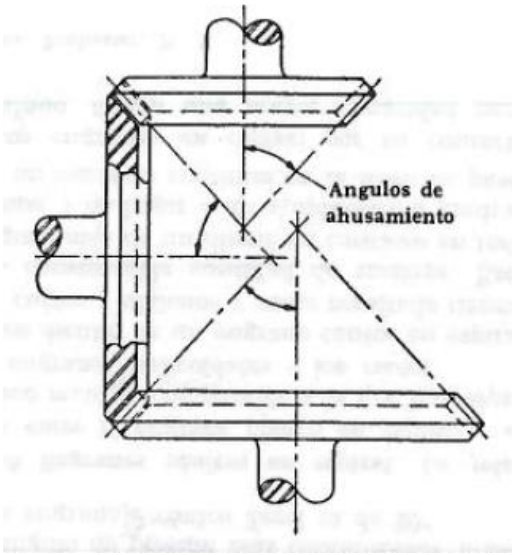


Figura 29. Engrane de diente ahusado. [27]

- Con ejes que no se cruzan ni se cortan. Son un conjunto de engranajes que se acoplan de tal forma que sus ejes realmente no coinciden permitiendo obtener una transmisión de potencia con una adaptación de altura asociada.
  - Helicoidales con ejes cruzados.
  - Sinfín simple
  - Sinfín doble
  - Hipoides
  - Espiroides
  - Planoides
  - De diente ahusado
  - De cara
  - Helicones.

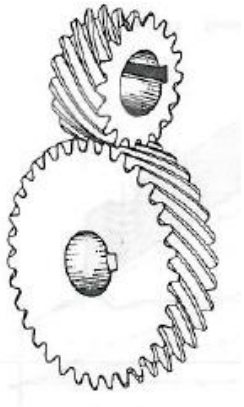


Figura 30. Engrane helicoidales con ejes cruzados. [27]

2.7.3. Nomenclaturas de los engranajes

Para comprender la estructura de un engrane, se toma como ejemplo básico el engrane recto, así mismo se indican sus partes fundamentales. El circulo máximo de la composición de un engrane se le conoce como círculo de paso, teóricamente los círculos de paso entre dos engranes acoplados son tangentes entre sí.

El paso es aquella distancia comprendida des un punto de un primer diente hasta el próximo, por lo cual dicha distancia abarca el ancho del diente y el espacio libre.

El módulo m es la relación numérica existente entre el diámetro de paso y la cantidad de dientes,

El pasó diametral P, es prácticamente la inversa del módulo m, por lo tanto es la relación entre la cantidad de dientes y el diámetro de paso.

El círculo de claro es aquel que corresponde tangencialmente con la raíz de los dientes del engrane acoplado.

A partir de {estas relaciones se tienen las siguientes ecuaciones y figura.

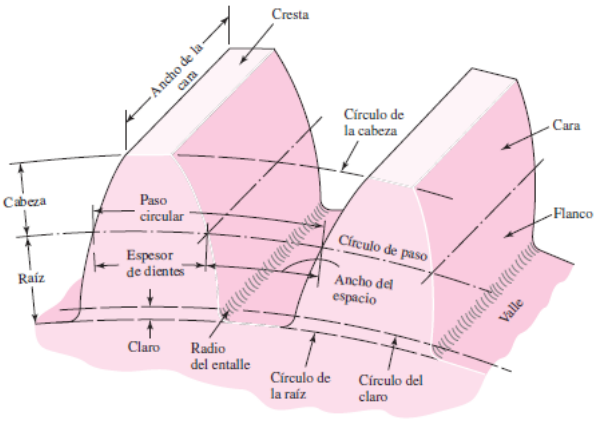


Figura 31. Detalles de los dientes de engranes. [30]

$$P = \frac{N}{d} \tag{5}$$

$$m = \frac{d}{N} \tag{6}$$

$$p = \frac{\pi d}{N} = \pi m \tag{7}$$

$$pP = \pi \tag{8}$$

Del cual: P es el paso diametral, N es el número de dientes, d corresponde con el diámetro de paso, y p es el paso circular.

CAPÍTULO III

3. ESTRUCTURA DE LA SIMULACIÓN

3.1. Análisis dinámico del flujo de agua.

Para comprender el potencial dinámico existente en el agua del curso de un río, se debe recordar que el agua es considerada como un fluido y por ello se puede calcular su movimiento, inicialmente con la ecuación de continuidad.

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \tag{9}$$

En la siguiente ecuación se puede visualizar que se toma en cuenta la densidad de la sustancia estudiada:

$$\rho_1 \cdot A_1 \cdot V_1 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot V_2 \tag{10}$$

Pero Bernoulli desarrolló su ecuación que permite tomar en cuenta que todo fluido posee otras características y variables como su altura y presión.

$$P_1 + \rho_1 \cdot g \cdot h_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho_1 \cdot {v_1}^2 = P_2 + \rho_2 \cdot g \cdot h_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho_2 \cdot {v_2}^2 \tag{11}$$

Para ésta ecuación se puede apreciar que, en un tubo de área variable existen dos puntos de estudios; en el primero, al poseer un área mayor frente al flujo de agua que circula dentro del tubo, luego debe reducirse su sección de área, su velocidad de incrementa y la presión se reduce en comparación al punto anterior. Ver figura 32.

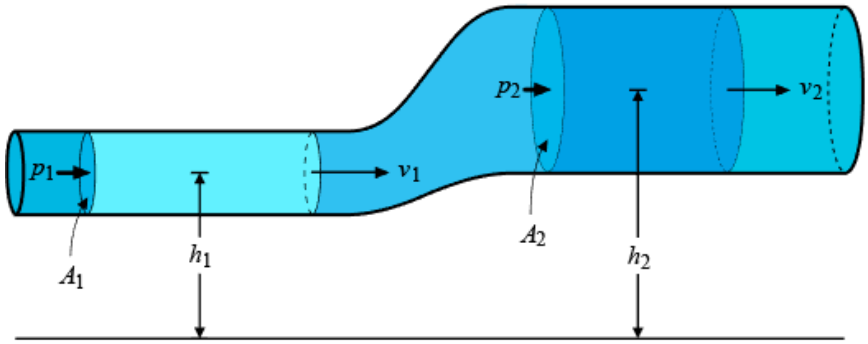


Figura 32. Principio de Bernoulli. [31]

La aplicación de ésta teoría podrá permitir el incremento de la velocidad del flujo del agua para extraer la mayor cantidad de giro de la hélice.

3.2. Análisis dinámico de la hélice.

La hélice es el dispositivo mecánico que permite convertir la acción dinámica del flujo de agua en un giro rotativo de un eje conectado a éste. En la ingeniería náutica se puede apreciar las partes que lo componen, como se presenta en la figura siguiente:

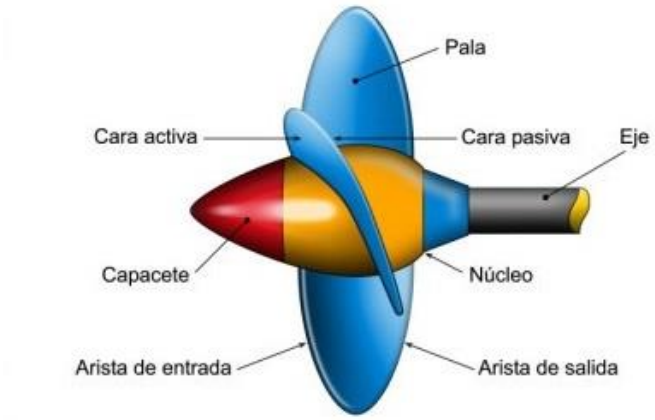


Figura 33. Partes de una hélice. [32]

Para desarrollar la turbina hidrocinética del presente proyecto, se realiza una comparación de velocidades y operación de diversas turbinas y dispositivos acuáticos. Los fabricantes de las hélices toman en cuenta una diversidad de factores para maximizar la eficiencia del elemento.

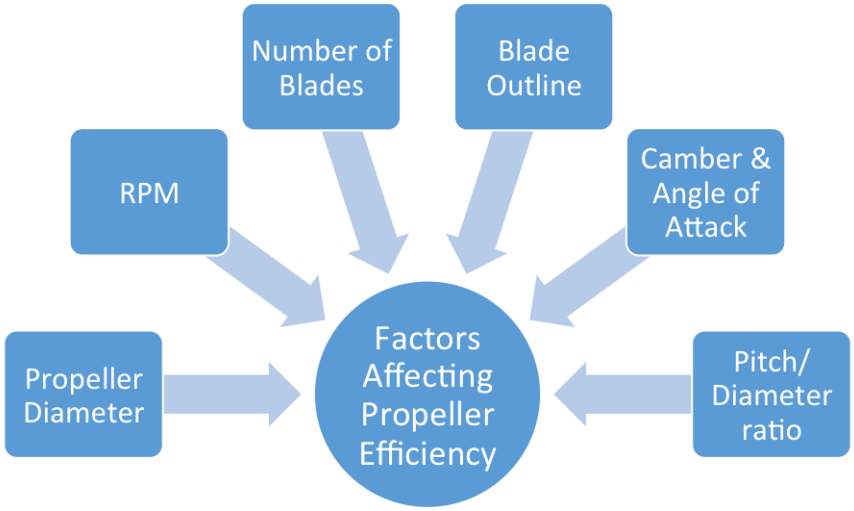


Figura 34. Factores que afectan la eficiencia de una hélice. [33]

De la imagen anterior se puede presentar que:

a) El diámetro de la hélice se convierte en una característica que puede afectar directamente al giro del eje. Un diámetro mayor puede movilizar al eje con gran rapidez pero se puede presentar un incremento del torque con posibilidades de rotura de la pieza.
b) RPM, demuestra que con mayor giro, se produce una gran velocidad del generador y a su vez una gran cantidad de electricidad.
c) El número de palas puede generar el frenado del dispositivo evitando su movimiento. Debido a esto, para el caso del agua como fluido de estudio, las hélices de las turbinas hidrocinética se presentan en pocas cantidades: 2, 3, 4 y 5 en algunos casos de mayor tamaño.
d) La forma de cada pala se diseña según el arrastre presentado contra el flujo de agua, la disminución de éste factor permite una mayor libertad de giro de la hélice.

e) En ángulo de corte del agua respecto al diseño del perfil de la pala permite obtener una variación de la velocidad de giro del eje, incluso en el caso de los barcos se puede obtener un cambio de dirección.
f) Existe una relación entre en ángulo de corte respecto al diámetro de la hélice, dicha relación expresa la facilidad en que una hélice corta el agua para ganar el movimiento.

También se debe comprender que las hélices poseen un empuje asociado con su diseño de un perfil dinámico.

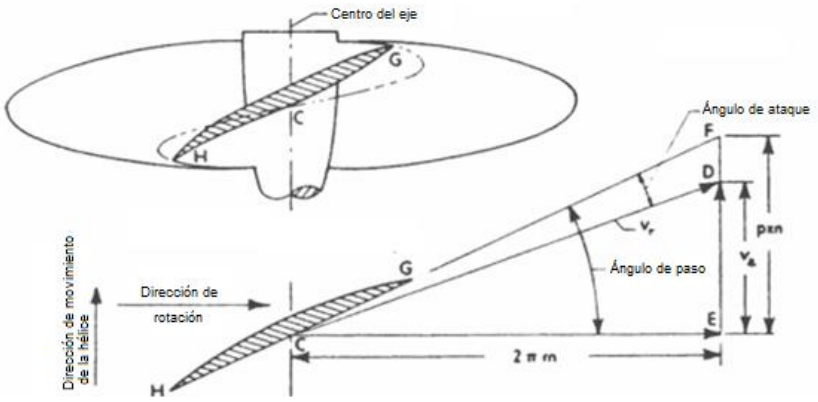


Figura 35. Perfil de una pala. [34]

El perfil dinámico es utilizado en diversas máquinas como en el caso de los aviones, específicamente en sus turbinas. En las hélices acuáticas, a lo largo de una pala se presentan diversos tipos de perfiles, la variación se presenta por la densidad del agua y de la rigidez estructural de la hélice para soportar el torque de giro.

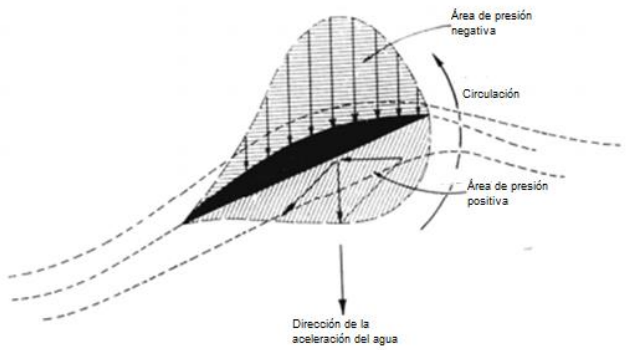


Figura 36. Empuje en un perfil. [34]

La diferencia de presión en ambas partes del perfil dinámico es lo que genera el empuje de un barco y para las turbinas hidrocinética, la rapidez del giro del eje.

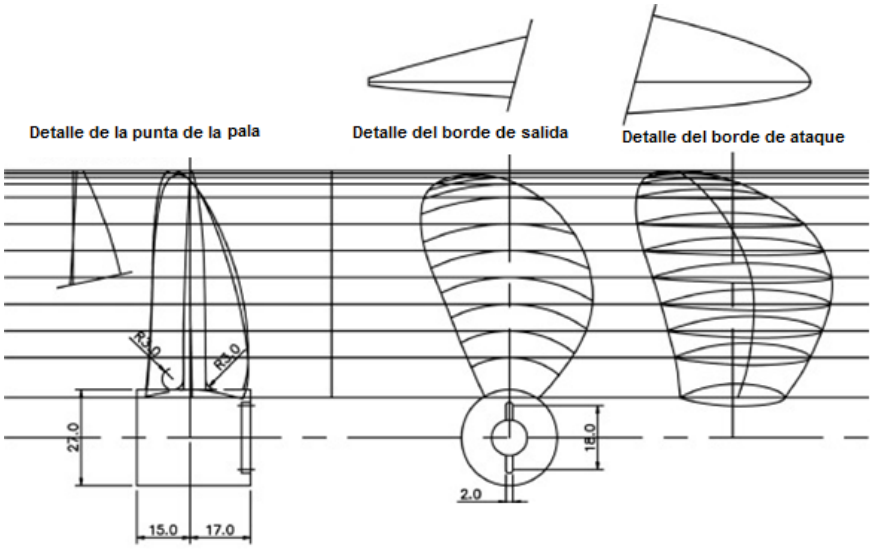


Figura 37. Perfiles en una pala. [35]

3.3. Selección del área de estudio.

El presente proyecto de base en el estudio del potencial energético de un sector del Río Guayas, específicamente el tramo más corto con la Isla Santay como indica la figura 38. El trayecto posee una longitud aproximada de 800 m, los datos de velocidad y profundidad son obtenidos a través del Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR) según los datos registrados.

Figura 38. Track longitudinal del río Guayas. Google Earth.

Los datos de profundidad del tramo de estudio se encuentran presentados en la siguiente tabla.

Tabla II.
Tabla de datos de profundidad del río Guayas estación 1

Estación	Profundidad	Estación	Profundidad	Estación	Profundidad	Estación	Profundidad
-400	0,3	**-200**	-2,9	**20**	-1,8	**220**	-1,9
-380	0,4	**-180**	-2,4	**40**	0,7	**240**	-0,8
-360	0,5	**-160**	-1,3	**60**	0,6	**260**	1,4
-340	-1,8	**-140**	-1,2	**80**	0,3	**280**	1,6
-320	-2,4	**-120**	-1,1	**100**	-2,7	**300**	1,7
-300	-3,6	**-100**	-0,9	**120**	-3,1	**320**	2,4
-280	-3,7	**-80**	-1,8	**140**	-3,4	**340**	3,3
-260	-3,9	**-60**	-1,7	**160**	2,9	**360**	3,7
-240	-2,8	**-40**	-1,4	**180**	-2,6	**380**	4,5
-220	-2,4	**-20**	-2,6	**200**	-1,3	**400**	4,6

Tabla III.
Tabla de datos de profundidad del río Guayas estación 50

Estación	Profundidad	Estación	Profundidad	Estación	Profundidad	Estación	Profundidad
-400	0.7	**-200**	-2.9	**20**	-1.8	**220**	-1.9
-380	0.8	**-180**	-2.4	**40**	0.7	**240**	-0.8
-360	0.5	**-160**	-1.3	**60**	0.6	**260**	1.4
-340	-1.7	**-140**	-1.2	**80**	0.3	**280**	1.6
-320	-2.7	**-120**	-1.1	**100**	-2.7	**300**	1.7
-300	-3.2	**-100**	-0.9	**120**	-3.1	**320**	2.4
-280	-3.7	**-80**	-1.8	**140**	-3.4	**340**	3.3
-260	-3.9	**-60**	-1.7	**160**	-2.9	**360**	3.7
-240	-2.9	**-40**	-1.4	**180**	-2.6	**380**	4.5
-220	-2.4	**-20**	-2.6	**200**	-1.3	**400**	4.6

Tabla IV.
Tabla de datos de profundidad del río Guayas estación 100

Estación	Profundidad	Estación	Profundidad	Estación	Profundidad	Estación	Profundidad
-400	0.7	**-200**	-2.9	**20**	1.8	**220**	-1.9
-380	0.8	**-180**	-2.4	**40**	1.7	**240**	-0.8
-360	-0.5	**-160**	-1.3	**60**	1.6	**260**	1.4
-340	-1.4	**-140**	-1.2	**80**	1.3	**280**	1.6
-320	-2.7	**-120**	-1.1	**100**	-2.7	**300**	1.7
-300	-3.1	**-100**	-0.9	**120**	-3.1	**320**	2.4
-280	-3.2	**-80**	0,8	**140**	-3.4	**340**	3.3
-260	-3.4	**-60**	0.7	**160**	-2.9	**360**	3.7
-240	-2.9	**-40**	1.4	**180**	-2.6	**380**	4.5
-220	-2.4	**-20**	1.6	**200**	-1.3	**400**	5.6

Además de los datos anteriores, también se cuenta con las mediciones directas de la velocidad del flujo durante el primer semestre del año en curso representados en la figura 39.

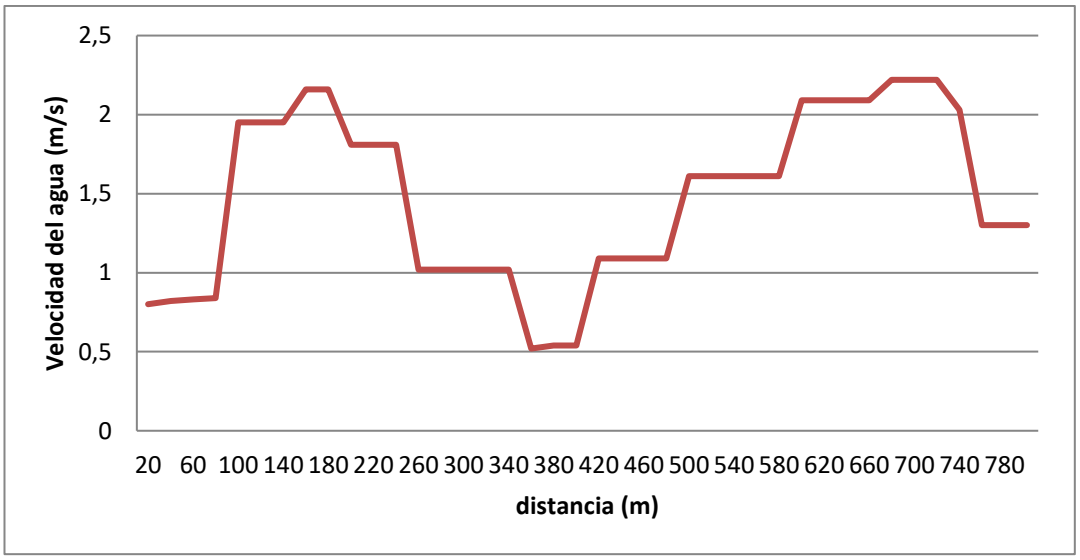


Figura 39. Valores máximos de velocidad del agua (de enero a junio). Autor.

3.4. Realización de simulación.

Una vez que se posee seleccionada toda la data requerida, se procede a crear la simulación con el HEC-RAS estableciendo los parámetros necesarios, el sistema de unidad a utilizar es el internacional. Seguidamente se ingresan los datos geométricos de la sección de estudio. El primer paso es el desarrollo de los datos geométricos del área de estudio del río. Se establece un tramo de estudio compuesto por tres secciones transversales con una separación de 150 m.

Los pasos básicos para un modelo de simulación con HEC-RAS:

- Inicio del programa HEC-RAS.
- Selección del sistema de unidades.
- Creación de un nuevo proyecto.
- Ingresar los datos de la geometría de las secciones.
- Ingresar los datos del caudal y las circunstancias del contorno.
- Ejecutar los cálculos hidráulicos.
- Visionar y validar los resultados.

Previo se instala el programa HEC-RAS automáticamente se crea un icono llamado HEC-RAS. Suele aparecer en el menú de inicio bajo la sección "Programas". El beneficiario de igual forma tiene la elección de establecer un icono en el escritorio.

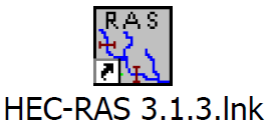


Figura 40. Icono del HEC-RAS. Autor.

Antes de crear un nuevo proyecto se debe seleccionar las unidades, el programa trabaja por falla con el sistema inglés, por lo que hay que cambiarlo. Esta operación se puede ejecutar para una tarea, o predefinirlo para todos las tareas. Una vez seleccionado HEC-RAS, seleccionando el menú OPTIONS (figura 41)

Sistema de unidades

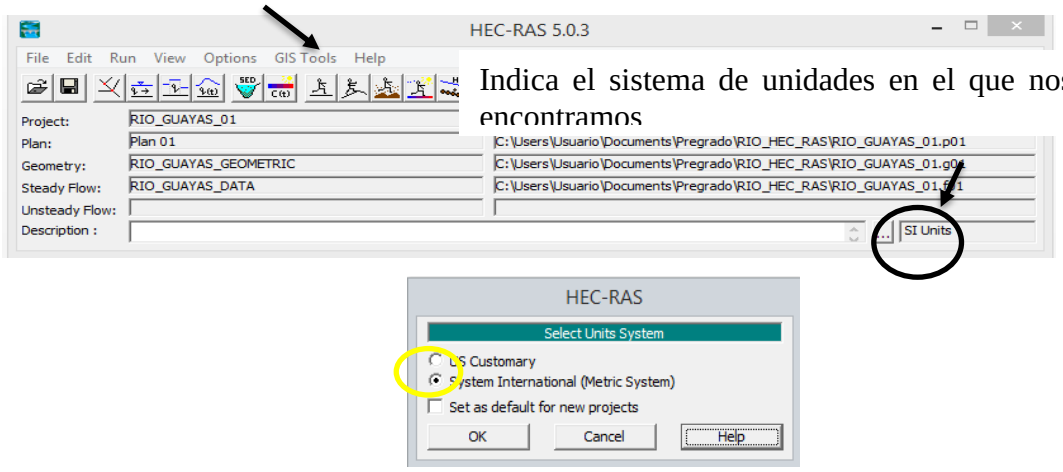


Figura 41. Pantalla de inicio del HEC-RAS. Autor

Una vez definido las unidades adecuadas, procedemos a crear nuestro proyecto. Este programa, a diferencia del HEC-HMS, no crea un directorio por cada proyecto, por lo que, para trabajar de una forma ordenada, es conveniente (no necesario) crear un directorio con el nombre de nuestro proyecto, y en él, guardar todos los archivos que vayamos generando.

En este ejemplo, se propone la creación del directorio RIO GUAYAS en el directorio HEC-RAS.

Desde el menú **File,** seleccionamos **New Project,** y en la esquina inferior derecha aparece el botón **Create Folder.** Pulsamos en él y creamos el directorio ARLANZA especificado anteriormente. Posteriormente, damos a nuestro proyecto un título, (Por

ejemplo: "RÍO GUAYAS") y damos un nombre a nuestro archivo de proyecto (Por ejemplo: RIO_GUAYAS_01.prj) (figura 24).

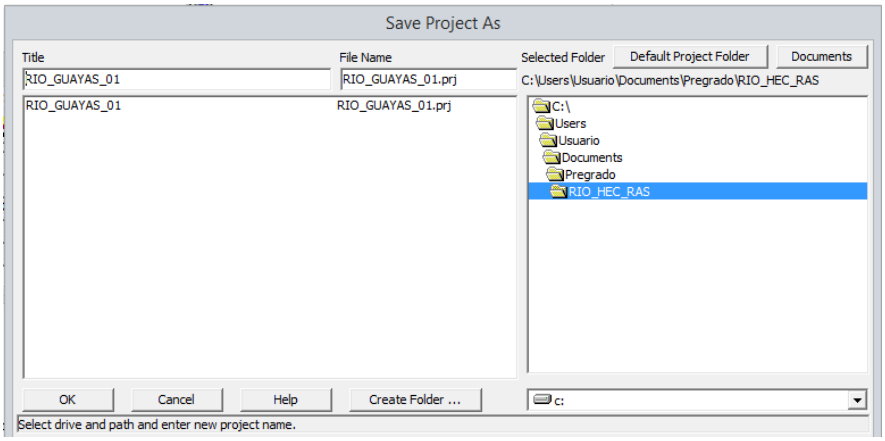


Figura 42. Pantalla nuevo proyecto del HEC.RAC. Autor

Después el programa nos informa de que va a crear este proyecto en el directorio señalado y en unidades internacionales. Una vez creado el proyecto, en la pantalla principal aparece en el ítem PROJECT, el título del proyecto y la ubicación del archivo.

El siguiente paso para desarrollar el modelo de flujo estacionario (Steady flow) en el programa HEC-RAS es introducir los datos geométricos. En el menú **EDIT**, seleccionamos **GEOMETRIC DATA.** Aparece entones el editor de datos geométrico.

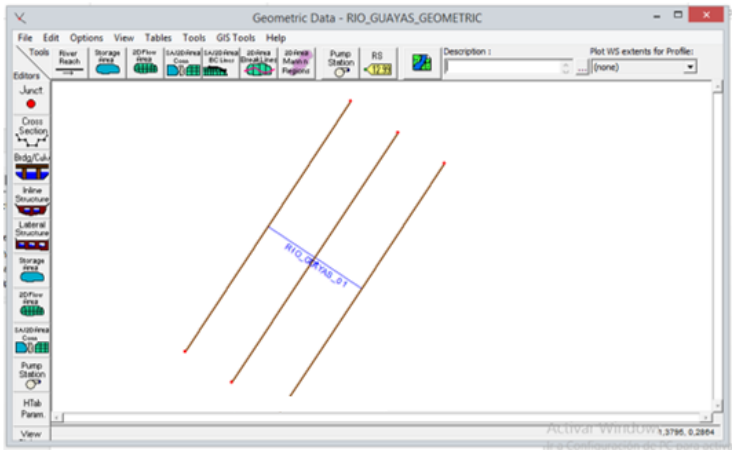


Figura 43. Ventana Geometric Data. Autor.

A continuación, vamos a dibujar un esquema del río en la zona de estudio, damos clic en River Reach, nos aparece un lápiz con el que dibujamos de forma aproximada un croquis del río.

El sentido del dibujo debe ser de AGUAS ARRIBA hacia AGUAS ABAJO, y al final del dibujo, nos pide el nombre del río y el nombre del tramo de estudio, por ejemplo "RIO_GUAYAS_GEOMETRIC" y el tramo "Salas". Si lo hemos realizado bien, aparecerá una flecha que nos indica el sentido del flujo. Comprobaremos que ese es el sentido deseado, y si no lo es, lo borramos y comenzamos de nuevo (figura 43).

Una vez creado nuestro croquis del tramo de estudio, pasaremos a definirlo geométricamente mediante las secciones transversales seleccionadas y las distancias entre ellas. Para ello, presionamos el Botón CROSS SECTION, nos aparecerá el siguiente Editor (figura 44).

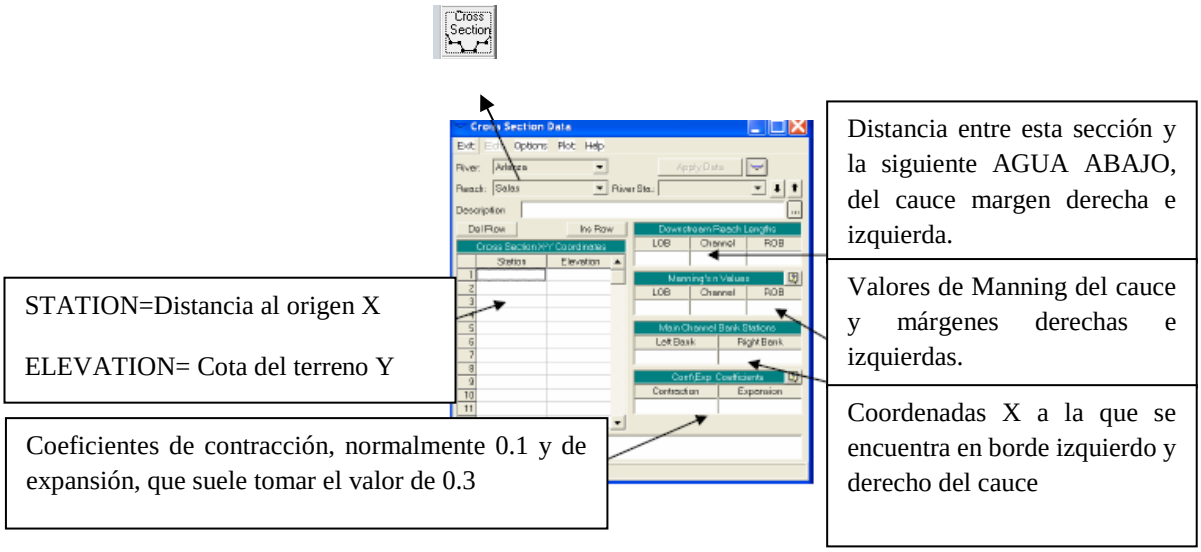


Figura 44. Ventana para editar secciones ''Cross section Data''. Autor.

Cada perfil transversal debe ir acompañado de los coeficientes de fricción de Manning el cual toma en cuenta el tipo de terreno, la vegetación y el uso dado a la zona, el coeficiente puede tener un valor distinto para cada una de las tres zonas que conforma la sección transversal left overband (LOB), main cannel (Channel), right overband (ROB). Como parte final de la geometría de un canal se indican las constantes Contraction and expansión coeficientes que tiene el valor 0.1 y 0.3. Para el esquema

básico del modelo se debe definir la planta del rio esquematizando el curso principal, para obtener la geometría del canal se crearon tres secciones con intervalos de 150m por ser la información proporcionada sin embargo la distancia entre secciones depende del tipo de flujo y de la geometría del canal, mientras que el orden de magnitud está entre 1 y 5 veces la anchura del río. La distancia de cada estación representa la coordenada X mientras que los datos de batimetría y elevación representan a las coordenadas Y (figura 45).

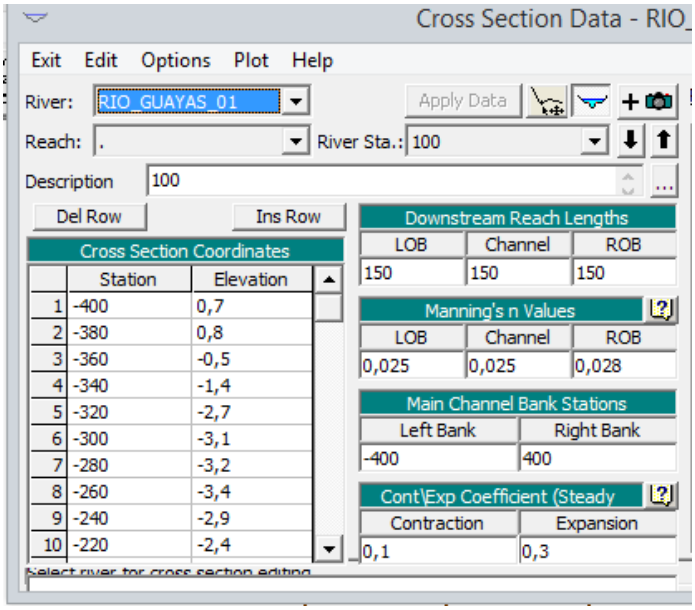


Figura 45. Ejemplo de las coordenadas correspondientes a la simulación del RIO_GUAYAS.

Una vez introducidos todos los datos correspondientes a una sección, esta se puede visualizar a través del Menú PLOT, y desde ese menú, se puede imprimir, copiar a portapapeles, y numerosas otras opciones. (Figura 46).

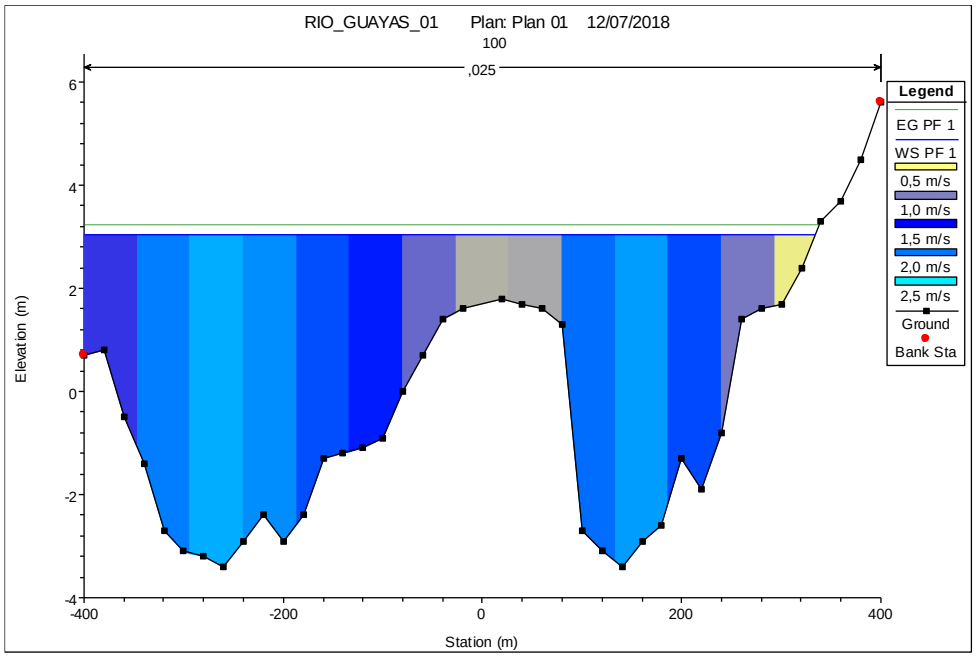


Figura 46. Sección transversal correspondiente la simulación del RIO_GUAYAS. Autor.

Una vez descrito el tramo de estudio, vamos a continuación a describir los datos del flujo que necesita HEC-RAS. En el menú EDIT seleccionamos STEADY FLOW DATA. Se nos abrirá una pantalla (figura 47).

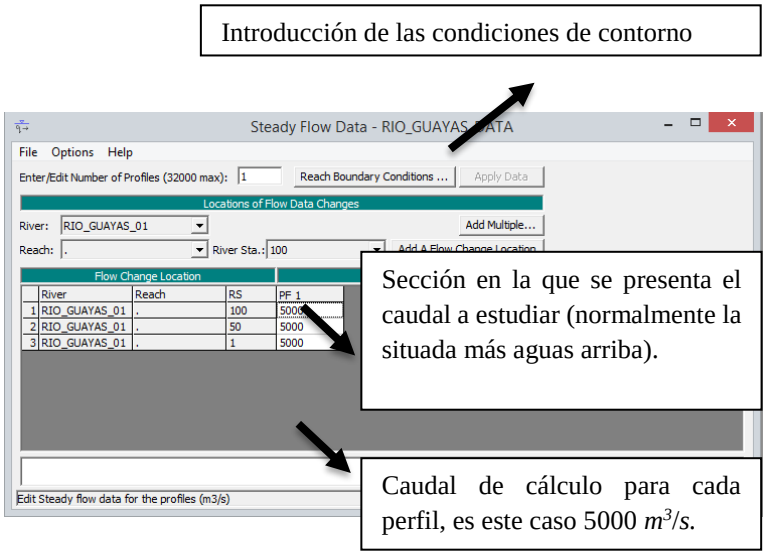


Figura 47. Entrada de datos del caudal, pantalla Steady Flow Data. Autor.

Una vez seleccionados los caudales, debemos introducir las condiciones de contorno, pulsando el botón: REACH BOUNDARY CONDITIONS (figura 48).

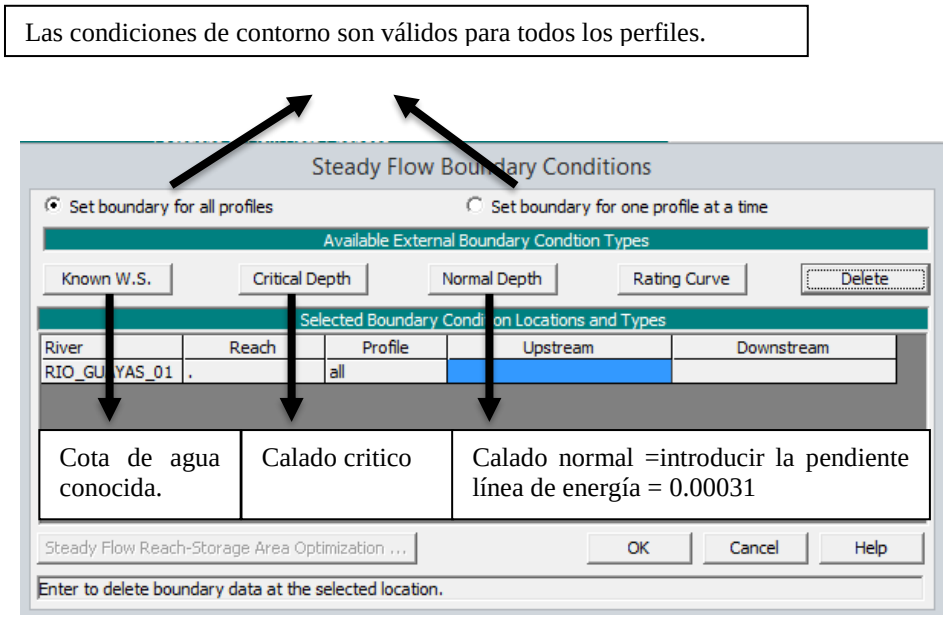


Figura 48. Editor de condiciones de entorno''Steady Flow Boundary Conditions". Autor.

Posteriormente guardamos estos datos en **FILE**: SAVE FLOW DATA debiendo dar una descripción de los datos de flujo, por ejemplo RIO_GUAYAS_DATA.

Una vez guardado selecciona el menú principal, seleccionando RUN: STEADY FLOW ANALYSIS, entramos en el menú de simulación y un Short ID, que no es más que un nombre de identificación del plan, por ejemplo RIO_GUAYAS.A continuación, seleccionamos el tipo de régimen, SUBCRITICAL, y presionamos el botón de COMPUTE. (Figura 49).

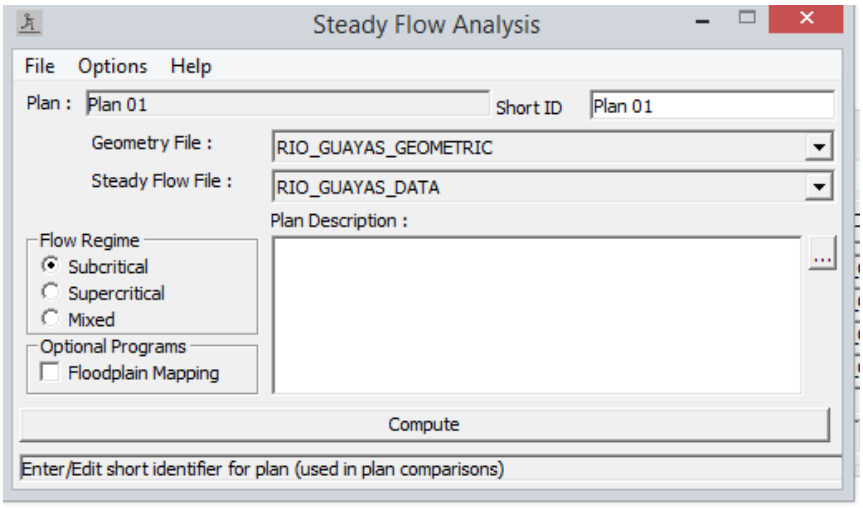


Figura 49. Ventana ''Steady Flow Analysis''. Autor.

Se abrirá una ventana de MS-DOS, que al final nos indicará que el programa ha acabado correctamente. Salvamos el plan y cerramos el editor. Ya estamos en condiciones de ver los resultados (figura 50).

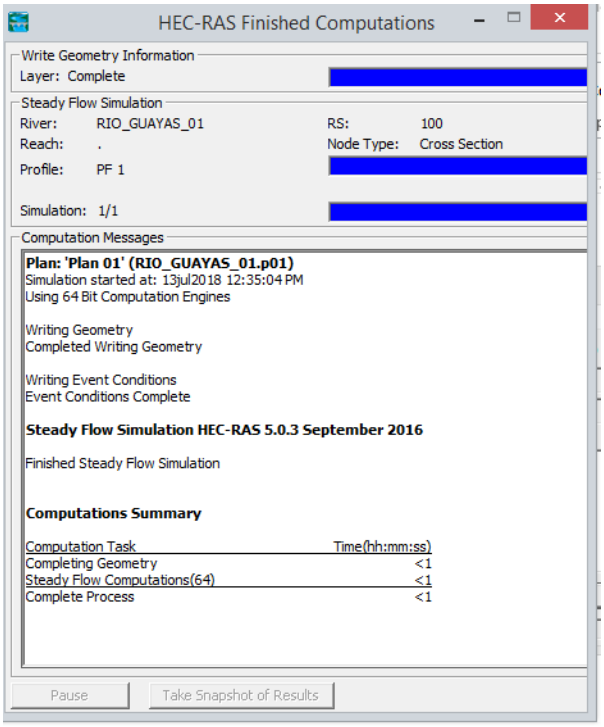


Figura 50. Pantalla final de cálculos hidráulicos correctos. Autor.

CAPÍTULO IV

4. SIMULACIÓN EN SIMULINK & MATLAB

4.1. Generación de la simulación.

Para la creación y el uso de la simulación se establece la aplicación SIMULINK & MATLAB, éste forma un componente de vital importancia para el desarrollo de simulaciones a través de bloques de elementos con funciones implícitas que son seleccionadas de su librería.

Por medio del bloque de parámetros se inicia la simulación con el ingreso de los valores de la velocidad del río Guayas que han sido tomados. MATLAB se encarga de leer los datos como una variable de nombre *H_Rio*.

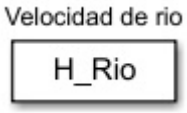


Figura 51. Parámetro velocidad del río. Autor.

A partir de dicho valor se establece un bloque que simula a la turbina hidrocinética al inicio de su operación; seguidamente se obtiene una potencia de salida como datos de entrada al simulador. Este bloque es gobernado por ecuaciones metamatemática en este caso la potencia generada por la turbina, por lo tanto es un bloque compuesto por otros elementos internos como se muestra a continuación.

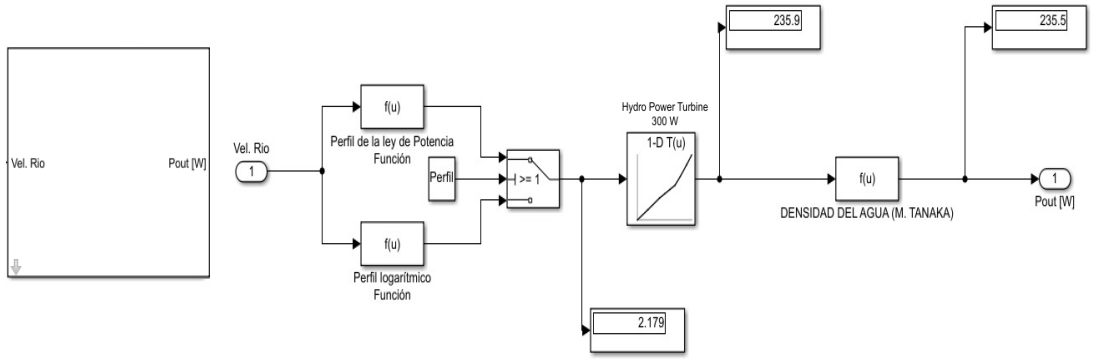


Figura 52. Bloque de turbina (izquierda) y sus bloques internos (derecha). Autor.

Cada dato correspondiente a la velocidad del río ingresa al bloque de la turbina, internamente se aplican dos funciones Perfil de la Ley de Potencia y Perfil Logarítmico según las siguientes imágenes.

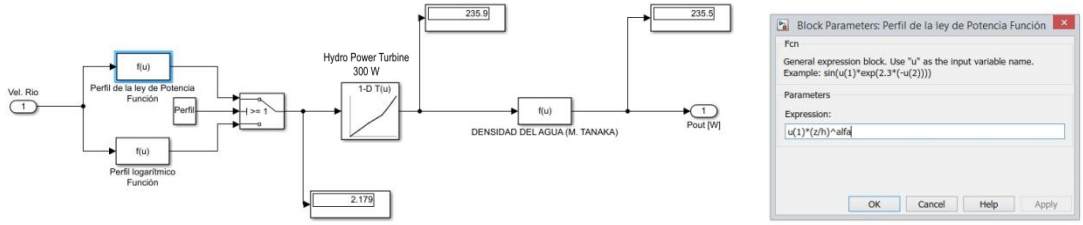


Figura 53. Detalle del bloque de función de Ley de Potencia.

$$f(u) = (u(1) \cdot (z/h)^{alfa}) \qquad (12)$$

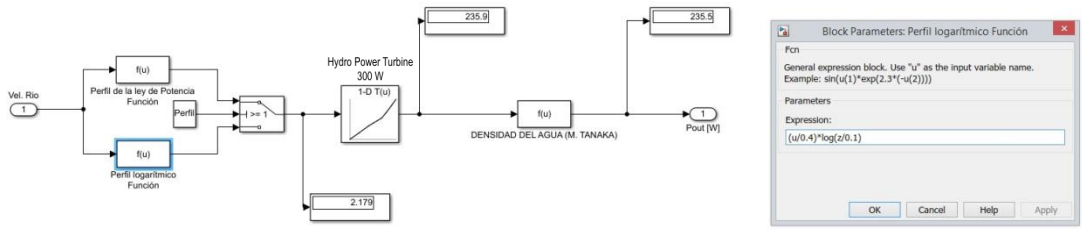


Figura 54. Detalle del bloque de función de Logarítmico.

$$f(u) = \frac{u}{0{,}4} \cdot Log\left(\frac{z}{0{,}1}\right) \tag{13}$$

Los valores son ingresados en el bloque de la curva de potencia de la turbina, de aquí se obtiene la conversión del movimiento del eje de la turbina por la cinética del agua, el cual por medio de una función toma en cuenta la densidad del agua del río.

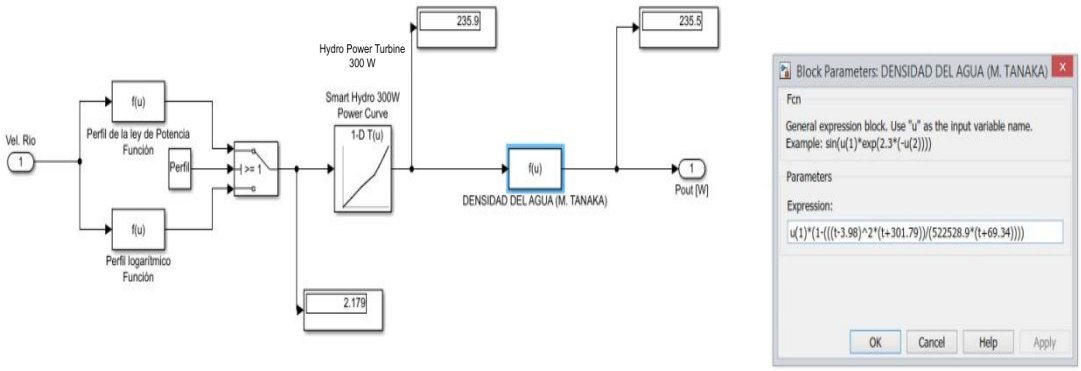


Figura 55. Detalle del bloque de función de la Densidad del agua.

La densidad del agua afecta al giro del eje en base a la ecuación:

$$f(u) = u(1) \cdot \left(\frac{(t - 3{,}98)^2 \cdot (t + 301{,}79)}{522528 \cdot (t + 69{,}34)}\right) \tag{14}$$

Para visualizar los resultados del simulador se utilizan dos bloques graficadores; los resultados obtenidos en ellos son netamente similares ya que su relación es directa: a mayor velocidad de giro de la hélice, mayor es el voltaje obtenido.

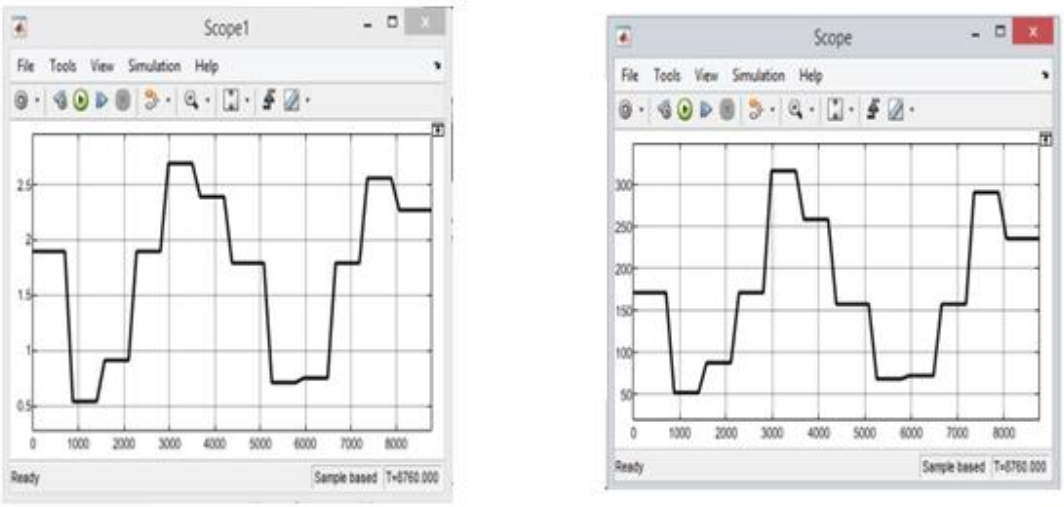


Figura 56. Gráficas del simulador. Autor.

Posteriormente se incluye un bloque que permite medir y sumar la energía que genera la turbina. Su representación y bloques internos se muestran a continuación.

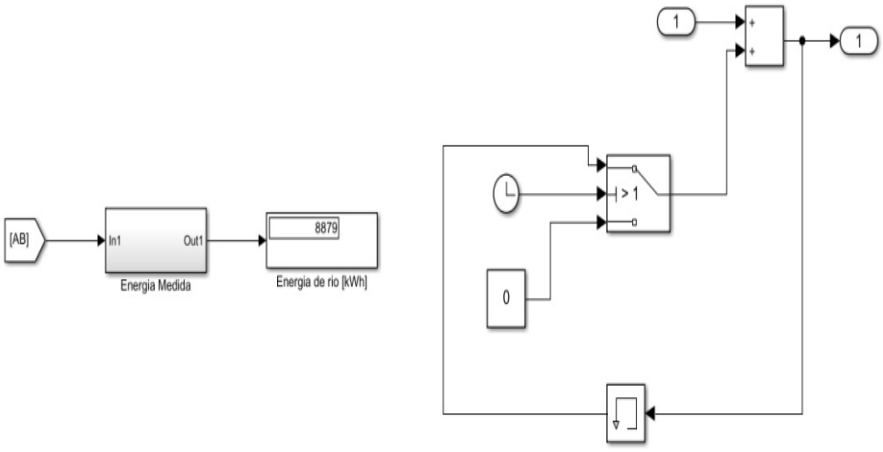


Figura 57. Bloque medidor de energía (izquierda) y sus componentes internos (derecha). Autor.

A continuación se muestra la imagen del simulador resultante con todos sus componentes:

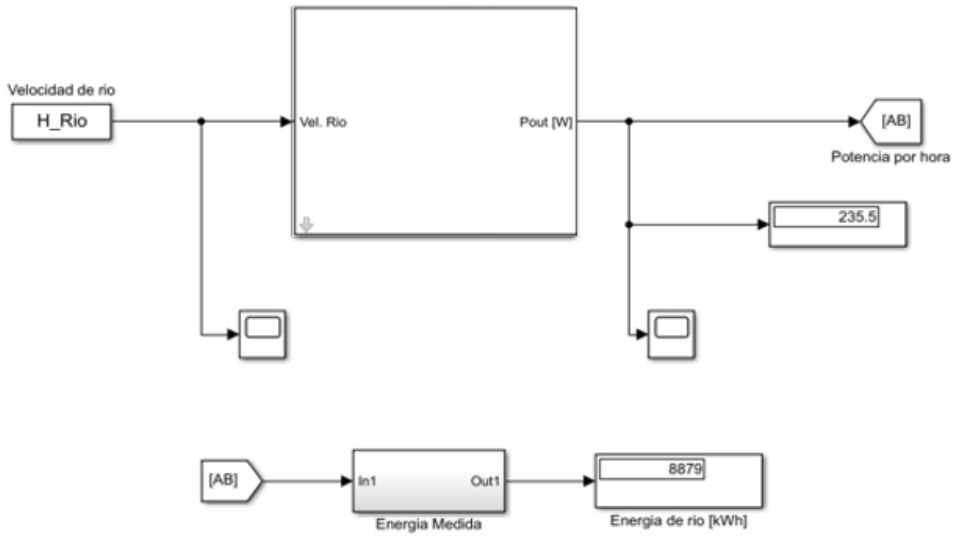


Figura 58. Simulador resultante. Autor.

4.2. Análisis del resultado

Podemos observar de la simulación que la generación eléctrica resultante es de 8879 kWh; éste valor equivale a la producción anual, por lo tanto, al cinética del flujo del agua, durante un año, podrá generar dicho valor eléctrico. Junto a dicha producción se debe tomar en cuenta que la turbina debe estar conectada a un sistema de control y almacenaje eléctrico.

Existen diversas organizaciones internacionales que mantienen bajo control las estadísticas de consumo eléctrico a nivel mundial, todo esto con el objetivo de establecer las comparativas de generación y consumo energético. Además se cuentan con una serie de estadísticas que muestran los indicativos de la exigencia eléctrica del hogar en valores promedios anuales desde 6000 hasta 14000 kWh, con un consumo mensual de 867 kWh mensual [36].

También se cuentan con otras comparativas de interés. Cada persona en Latinoamérica durante un año, tiene un consumo promedio equivalente 500 kWh, a partir de éste valor se puede realizar estimaciones de consumo eléctrico del grupo familiar presente en un hogar promedio.

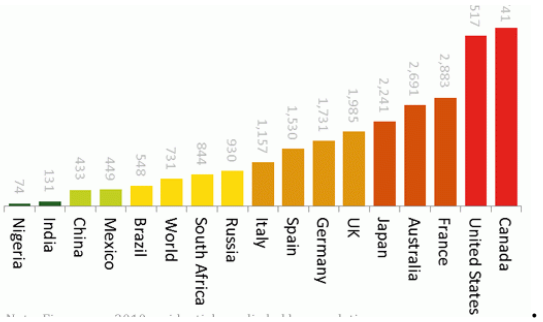


Figura 59. Consumo eléctrico por persona mensualmente. [37]

Para establecer valores más específicos del consumo eléctrico en el hogar, existen múltiples páginas web que facilitan la estimación en base a la sumatoria de los valores promedios de exigencia eléctrica de cada artefacto en el hogar.

En la siguiente gráfica se presentan los valores promedios aplicables para Latinoamérica y la producción obtenida por la turbina.

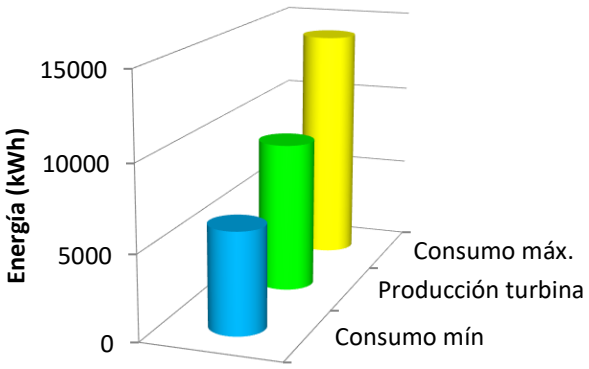


Figura 60. Gráfica de comparación de producción de la turbina. Autor

Como el resultado de la simulación se encuentra en un punto medio de los límites del consumo, esto puede indicar que en los casos donde la exigencia energética es menor, con la aplicación de una sola turbina hidrocinética, dicho hogar tendrá el abastecimiento necesario para cubrir sus necesidades; en cambio, para los casos de mayor consumo energético, se requerirá la instalación de más turbinas.

Cuando se requiere de la instalación de más turbinas se debe velar por obtener las mismas condiciones de las demás aunque en la realidad es imposible, las condiciones geográficas, variación del flujo y condiciones fluctuantes del río Guayas, causa la existencia de un alto conjunto de variedad de condiciones para la implementación del proyecto.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS

5.1. Conclusiones

Los datos tomados del informe técnico de la empresa SLEM S.A, sobre la construcción de la obra civil sobre el río Guayas, nos facilitó el análisis y evaluación de la característica del río como su variación de la profundidad, con estos datos se pudo obtener su debida simulación determinando la velocidad máxima que puede alcanzar a lo largo de la corriente del rio Guayas y visualizar de una forma simplificada donde podemos establecer la ubicación óptima de nuestra turbina hidrocinética demostrando la viabilidad de la energía alternativa tomando como elemento natural el Río Guayas. La información de los datos de la velocidad del Rio Guayas disponible por la página web de la Armada del Ecuador, se desarrolló una simulación de la productividad energética de una turbina hidrocinética mediante la aplicación de MATLAB & SIMULINK, hemos obtenido la evaluación del potencial energético a través de la curva de potencia del generador de 300W que nos permitió obtener 8879 kWh anual, aprovechando al máximo su potencial energético. Resultado de gran importancia para el proyecto debido a que nos permite expresar su interés por la situación actual de incentivar el desarrollo de generación alternativa completamente productiva mediante el uso de turbinas hidrocinética.

5.2. Futuros trabajos

La presentación y desarrollo de peste documento permite la demostración de una nueva oportunidad de investigación y estudios de métodos alternativos de generación de corriente, por consiguiente, para los próximos años se podrán establecer mejoras, implementaciones e incluso nuevas tendencia de conversión de la energía de cualquier fuente natural inagotable. Entre posibles futuros trabajos se pueden nombrar los siguientes:

- Desarrollo de red de turbinas, con el objetivo de alcanzar un máximo aprovechamiento de Río Guayas colocando una red de diez turbinas

hidrocinética que permitan abastecer el alumbrado eléctrico en el sector de las pareas deportivas de la UPS.

- Creación de turbina de flujo transversal, para reducir los costos de adquisición de una turbina, un proyecto que podría iniciar un registro del desarrollo de turbinas en Guayaquil.
- Implantación de turbinas eólicas en el Rio Guayas, a pesar de no pertenecer al aprovechamiento hidrológico, se podría iniciar un análisis del uso de las turbinas eólica en diversos puntos del Rio Guayas donde se pueda determinar que existe un flujo de viento constante.
- Aprovechamiento solar, se podría suministrar una oportunidad diferente para extraer energía solar a eléctrica utilizando las áreas del techo de las instalaciones de la UPS.

CAPÍTULO VI

6. CONTRIBUCIONES

Durante la aplicación del proyecto se ha incentivado y fomentado la tendencia de la generación mediante turbina hidrocinética presentando los resultados del trabajo en el II Congreso Internacional de Tecnología de la Información y Comunicación, CITIC 2018, en la ciudad de Manta-Manabí, donde se preparó un paper y una presentación formal del mismo, el cual tuvo una gran aceptación por parte de los invitados y de los jueces quienes expresaron su interés por la situación actual y proyección del proyecto. Durante el congreso se recalcó la importancia e interés del desarrollo de energía alternativa completamente productiva mediante el uso de turbinas hidrocinética. El documento se encuentra adjunto a partir de la siguiente:

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGETICO DEL RÍO GUAYAS MEDIANTE GENERACIÓN HIDROCINÉTICA.

Ángel Josué Pérez Pazmiño
aperezp1@est.ups.edu.ec
Universidad Politécnica Salesiana- Sede Guayaquil

Resumen: La energía hidrocinética tiene un potencial energético favorable aun por desarrollarse, con el desarrollo de la investigación se pretende dar a conocer la importancia que tiene el uso de nuevas tecnologías tales como las turbinas hidrocinética, para el procesamiento y la generación de energía eléctrica, en lugares con acceso a canales abiertos donde se puede aprovecharse la energía cinética, este tipo de tecnología se presenta como un potencial importante para la generación mediante el movimiento continuo del flujo del rio. Esta investigación tiene como objetivo demostrar la vialidad del aprovechamiento del río Guayas para generación hidrocinética utilizadas en la conversión de la energía cinética de un río en electricidad, mediante la metodología investigativa se realiza la simulación y la característica de la turbina hidrocinética nos permite realizar un análisis de la evaluación del potencial de energía a lo largo del perfil trasversal del río. El trabajo concluye que la velocidad del rio Guayas puede ser aprovechado para la generación de energía eléctrica, en ciertas estaciones la velocidad del rio puede llegar a 2.6 m/s dicha energía puede ser utilizada mediante de la aplicación del sistema de control y almacenaje.

Palabras claves: Flujo de agua, hidrocinética, análisis de energía y río.

Abstract: Hydroelectric energy has a favorable energy potential even for development, with the development of research, it refers to the importance of the use of new technologies, stories such as hydroelectric turbines, for the processing and generation of electrical energy, in places with access to open channels where kinetic energy can be exploited, this type of technology is presented as an important potential for generation by the continuous movement of the river flow. The objective of this research is to demonstrate the viability of the use of the Guayas River for the hydroelectric generation used in the conversion of the kinetic energy of a river into electricity, through the investigative methodology the simulation is carried out and the characteristic of the hydrokinetic turbine allows us to carry out a analysis of the evaluation of the energy

potential along the transversal profile of the river. The work concludes that the speed of the Guayas River can be approved for the generation of electric power, in certain seasons the speed of the river can reach 2.6 m / s; this energy can be used through the application of the control and storage system.

Introducción

Para el año 2016 la generación de electricidad mundial fue de 24.816,4 TWh y la estimación promedio para los siguientes años es del 2,2%("Statistical Review of World Energy | Energy economics | BP," n.d.). Desde la última década se han creado un conjunto de empresas que han desarrollado dispositivos innovadores que pretenden gestionar grandes cambios en la producción de electricidad actual, promoviendo métodos de energía alterna basados en las características del entorno natural. Varios países han desarrollado áreas resguardadas que poseen el objetivo específico de generar la suficiente capacidad eléctrica para abastecer una ciudad sólo con el uso de la capacidad hidrocinética reduciendo hasta un valor mínimo el impacto ambiental. Si se estima valores de producción de 100 MWh sólo con la selección de un área de 10 m2 de cualquier río, se podría obtener una alternativa valiosa para complementar el suministro eléctrico de una localidad(Horritt & Bates, 2002).La tecnología Hidrocinética se describe como la capacidad de producir de energía renovable mediante la circulación de agua, su funcionamiento básicamente es una forma de energía que se genera por la fuerza de movimiento de rotación que actúa como trabajo que produce con el agua. Una maquina primaria la transforma inicialmente en energía mecánica, y posteriormente, con una maquina secundaria esta es transformada en energía eléctrica.
("https://faeingc.files.wordpress.com/2015/11/energc3ada-hidrocinetica.pptx.," n.d.).Entre las diferentes turbinas que existen a nivel mundial, las hidrocinética son aquellas que están diseñadas para aprovechar el movimiento o energía cinética del agua para obtener un suministro eléctrico continuo, esto es logrado por la transmisión del movimiento hacia un eje que se conecta con un generador eléctrico adecuado al flujo de corriente. Esto último permitirá que la turbina posea un buen rendimiento. Ante esto se define la turbina hidrocinética como un equipo cuya función o diseño es aprovechar la energía cinética de los ríos y del mar, para así generar energía eléctrica mediante energía mecánica(Bladé, 2009). El uso de la energía cinética de los ríos puede ser considerado como una de las principales formas inventadas por el hombre esta tecnología convencional para generar electricidad siendo esta energía calificada como alternativa o

no convencional para generar electricidad, ya que se emplea una fuente renovable de energía. La Cuenca del Río Guayas está constituida por el área del sistema fluvial que conforman los ríos Daule, Vinces y Babahoyo con sus respectivos afluentes, los cuales conforman, al norte de la ciudad de Guayaquil, un colector único, el Río Guayas, que descarga anualmente unos 30 mil millones de metros cúbicos de agua, luego de drenar una vasta zona geográfica de 34 000 km²("Revista Tecnológica ESPOL Available: http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/20033/32784.pdf?sequence=1 (Oct, 2008).," n.d.). Aprovechando las características ricas de la flora y fauna del Río Guaya y la biodiversidad de su ecosistema, en vista del avance tecnológico de la actualidad y el notable crecimiento del consumo energético a nivel Mundial, se puede evaluar el desarrollo de la aplicación del sistema de turbina hidrocinética, dando como resultado el abastecimiento en cuanto a la producción de energía eléctrica que respaldará a la inversión que un principio se estime. Es necesario hacer referencia que el agua y la energía se encuentran interconectados, debido a esto, todas las fuentes de energía requieren del agua en sus procesos de producción, tanto para la extracción de materias primas, como para la refrigeración de plantas térmicas, involucrando de cierto modo los procesos de limpieza, producción de biocombustibles, entre otros parámetros importantes. Aunado a esto, se menciona que los recursos hídricos y energéticos se han desarrollado con el tiempo, por tal motivo, se plantea de manera específica el uso de un prototipo de turbinas, puesto que hoy en día la aceleración de los procesos que generan energía eléctrica, motivado a que la mencionada es considerada un pilar para el proceso social y económico de una sociedad. Por su parte, el agua resulta una clave importante para el desarrollo de las infraestructuras energéticas, siendo esta también un aspecto importante, puesto que es fundamental en todo ciclo de vida para el desarrollo de un sin número de recursos.

Importancia del problema

La implementación de una turbina hidrocinética en el Rio Guayas no solo permitirá que la Universidad Salesiana Sede Guayaquil genere su propia energía autosustentable para un sector del alumbrado sino que marcará un precedente que puede incentivar a otras instituciones o comunidades a implementarla, debido a su bajo costo y a los beneficios que otorga al medio ambiente, así como ir ampliando las áreas autosustentables energéticamente en la universidad. La investigación y el desarrollo de la conversión de energía de las corrientes fluviales y marítimas, aunque significativa, es reciente y limitada; en Latinoamérica y especialmente en el Ecuador no hay grandes avances en este tema,

tomando en cuenta que existen grandes caudales de agua que pueden usarse para este fin y el hecho de generar energía por medio de las corrientes del agua, tanto marítima como fluvial sin necesidad de embalses, represas ni desviación de ríos es un gran avance para la preservación del planeta. Esto, además beneficiaria a las comunidades aisladas o que tengan déficit en el servicio y cuenten con una fuente de agua cerca.

Metodología

El presente proyecto se estructura bajo la aplicación de una investigación metodológica, el cual comprende la recopilación de la información de fuentes directas como es el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), el cual se encarga de realizar el estudio y análisis de las características hidrológicas del Océano Pacífico y otras fuentes fluviales del país incluyendo toda la información de navegación marítima requerida.

También se realiza la toma de medidas de la velocidad del río para la obtención de las velocidades reales del flujo de agua, obtenidos por la adquisición directa de datos del río.

La aplicación de las turbinas hidrocinética generalmente son desarrolladas en ciudades que cuentan con un río o un océano de gran potencial expresado por su velocidad promedio(Kumar, Energy, & 2017, n.d.). Esta capacidad eléctrica es evaluada a través de un conjunto de tiempo que evalúa completamente las características y valores del flujo del agua. En el caso del Río Guayas, por su característica geográfica que desemboca en el océano posee una marea que genera un flujo y reflujo resultando en un flujo bidireccional("Copping, M. Greer. Jepsen, C. Chartrand, A. Gorton, Understanding the potential risk to marine mammals from collision with tidal turbines, Int. J. Mar. Energy 19 (Sep. 2017) 110–123 - Buscar con Google," n.d.).

Para la evaluación del potencial de generación de energía eléctrica del rio guayas y selección de la ubicación adecuada, se analiza una sección trasversal del río(Figura 1), se aplican en programas de cálculos especializados en este insistencia, entré muchos que son uso productivos, se ha seleccionado el software The Hydrologic Engineering Center's (HEC) River Analysis System (HEC-RAS) versión 5.0.3 cuya aplicación y desarrollo se debe al uso militar("Software," n.d.). Este programa permite generar el análisis y gráficos bidimensionales de cálculo de velocidad del río Guayas.

Con el HER-RAS se puede realizar la evaluación de la velocidad del rio guayas con el ingreso de datos que pueden ser medidos directos, o a través de otras fuentes confiables como en el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR) de la cual se puede lograr datos de simulación de alta confiabilidad.

Para el flujo inestable HEC-RAS resuelve la ecuación completa de Saint Venant's equations en una sola dimensión para flujo no permanente en canales abiertos:

$$\frac{\partial y}{\partial t} + y\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial y}{\partial x} = 0$$

$$S_f = S_o - \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{V}{g}\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{g}\frac{\partial v}{\partial t}$$

Donde v es la velocidad media longitudinal [LT^{-1}]; y es el canal e profundidad [L], X es la distancia longitudinal desde el origen del alcance del rio [L]; S_o es la pendiente del canal; S_f es la pendiente de fricción del canal; g es la gravedad [LT^{-2}].

Estas ecuaciones se discretaron utilizando el método diferencial finita y se resuelven usando el método del esquema de Preissmann's scheme or cuatro punto(Alvarez, Rico-Secades, Suárez, Gutiérrez-Trashorras, & Fernández-Francos, 2016).

A partir del modelo HEC RAS, podemos desarrollar los diferentes modelos de las simulaciones para régimen permanente y variables del rio, el cual tiene su ubicación frente a la Isla Santay (Figura 1) por tener como imparcial fundamental la electricidad de la Universidad Politécnica Salesiana en el área de recreación del bloque D. Para la simulación se debe colocar los datos batimétricos geo-referenciados, los cuales mediante distintos métodos de apreciación se pueden obtener con datos limitados(Farina, Alvisi, Franchini, Corato, & Moramarco, 2015). Datos batimétricos que fueron obtenidos mediante mediciones realizadas para obras contempladas en el Rio Guayas("CONSTRUCCIÓN DE OBRAS EN EL RÍO GUAYAS INFORMACIÓN DE DISEÑO – RUTA DURÁN A GUAYAQUIL Proyecto: Estudios marítimos previos a la construcción de obras en el Río Guayas," n.d.), teniendo en cuenta la cartografía del área donde se halla descrita, en la información pública disponible del Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR)("Instituto Oceanográfico de la Armada - Caracterización hidrológica," n.d.),el Instituto Geográfico Militar (IGM). Acotando a esto, se posee mapas Cartográficos en la escala de 1:25000 NV-A3bm III SE de la Isla Santay.

Figura 1.Track longitudinal del río Guayas. Elaboración Google Earth.

Obtenidos los datos se debe proceder a iniciar el programa HEC RAS, se selecciona el sistema de unidades en nuestro caso usamos el sistema internacional, sé debe definir un esquema del rio en la zona de estudio (figura 2), a continuación, se ingresa todos datos de la geometría de la secciones, caudal y las circunstancias del contorno, ejecutamos los cálculos y finalmente validamos los resultados.

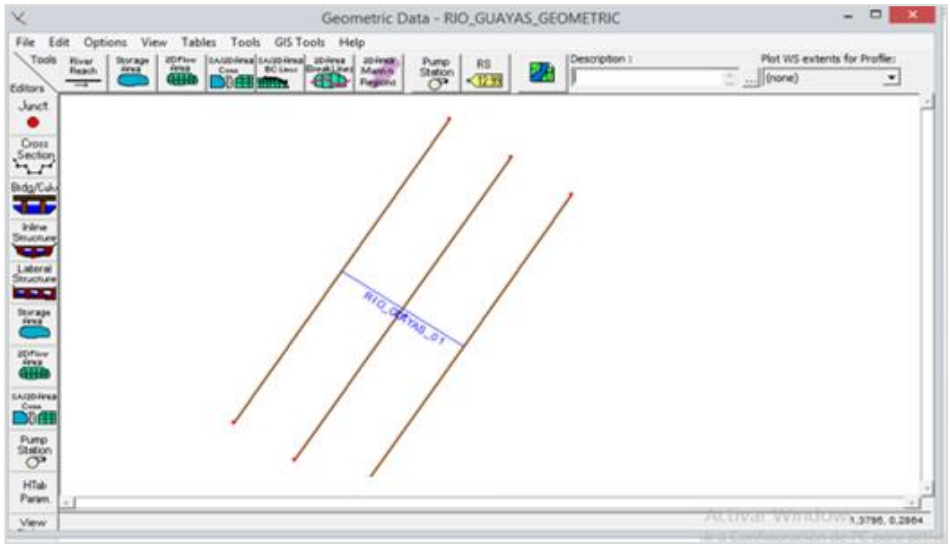


Figura 2.Geometric data HEC-RAS. Elaboración propia.

Obtenidos los resultados de cada perfil transversal, se considera que estos deben ir en conjunto de los coeficientes de fricción de Manning tomando en cuenta el tipo de terreno, la vegetación y el uso dado a la zona. El coeficiente puede tener un valor diferente para cada una de las tres zonas que conforma la sección transversal del perfil, left overband (LOB), main cannel (Channel), right overband (ROB En la geometría final de un canal se indican las constantes Contraction and Expansión, coeficientes valorizados en 0.1 y 0.3. Para el desarrollo de la geometría de este canal se crearon tres secciones con intervalos de 150m, sin embargo, las distancias entre secciones dependerá del tipo de flujo y de la geometría de canal, siendo esto una resultante apoyada en la información proporcionada. A su vez el orden de magnitud varía entre 1 y 5 veces la anchura del rio. La distancia entre estaciones representa la coordenada "X", mientras que los batimétricos y elevación representan la coordenada "Y". (Figura 3).

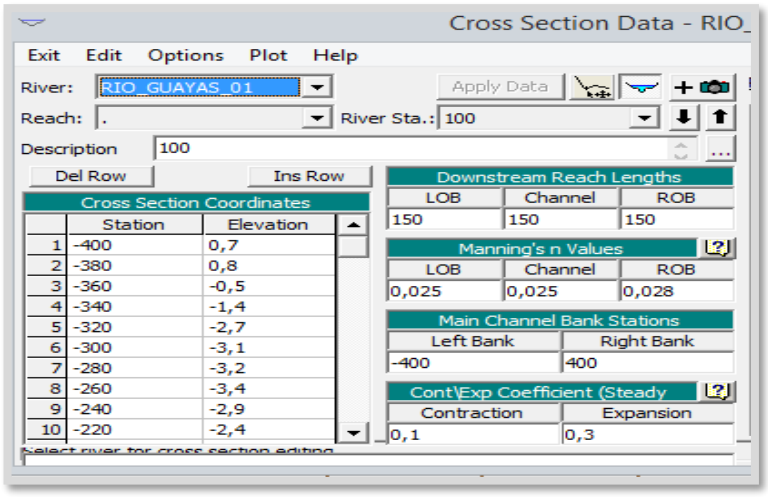


Figura 3. Coordenadas correspondientes la simulación del RIO_GUAYAS HEC-RAS.

El caudal se incorpora en el extremo aguas arriba utilizando 3500 m³/s de dato para nuestro caso("Servicio meteorologico, 'Caudales (Datos Históricos) | Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología,' Inamhi.," n.d.), este valor es referencial para esta simulación, luego se establece las condiciones de contorno precisando los niveles de agua de partida, tanto aguas arriba como aguas abajo. Por consiguiente de haber analizado la simulación, se denota que la estación donde se tiene una mayor velocidad de caudal es la número tres con 2,34 m/s donde se contara con la turbina que se conectara al sistema hibrido para sustentar de energía a la isla en estudio, el software nos indica entre que estaciones de la sección transversal tenemos dicha velocidad (Figura 4).

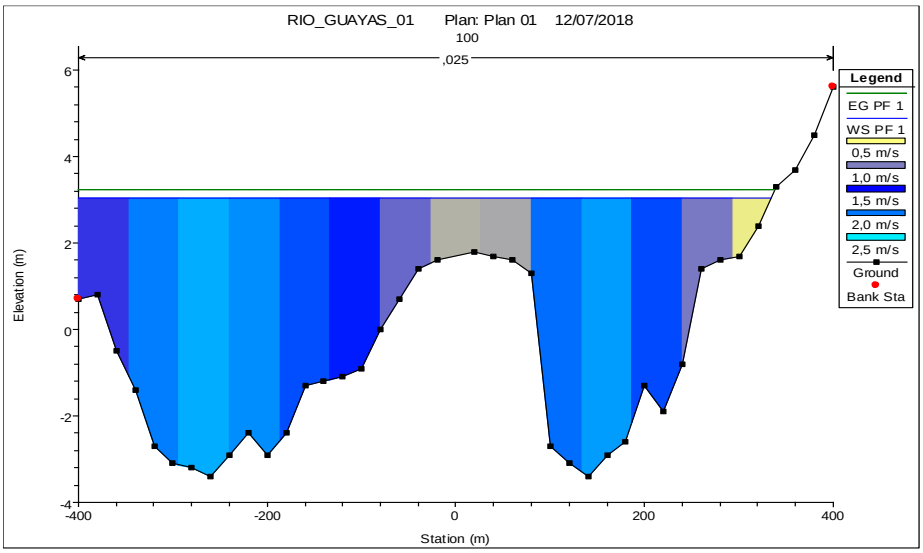


Figura 4. Velocidad en una sección transversal correspondiente a la simulación del rio Guayas

Finalmente, y de acuerdo a las circunstancias establecidas por el contorno definiendo las mismas como aguas abajo, debido a que esta no es más que la condición de contorno de intervalo del rio Guayas como afluente mayor. Cabe señalar que para el desarrollo del mismo se utilizaron los registros de datos promedios mensuales, correspondientes a los niveles del mar del 01 de julio al 31 julio 2 018 obtenidos la estación desde el medidor de mareas("INOCAR - Estación GUAYAQUIL-RíO - Pleamar y bajamar," n.d.).Estos datos el nivel del mar es relativa a la posición del medidor de mareas, que es 4,36 m por encima Geographic Zero. Por lo tanto, los datos del nivel del mar deben reducirse en esa cantidad para que coincida con las elevaciones del modelo (figura 5).

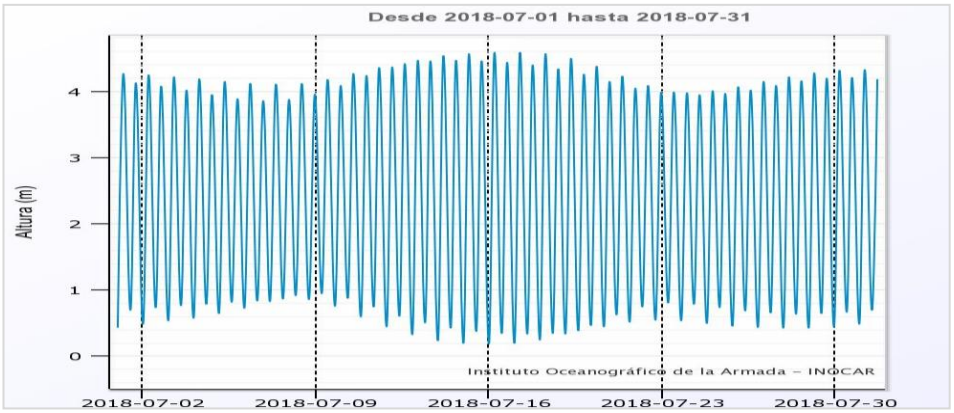


Figura 5. Los niveles del río finales como condición del contorno. Elaboración INOCAR

Así mismo, se presenta los parámetros de aguas arriba, siendo esta, la condición de contorno del volumen promedio mensual de velocidad del río Guayas("CONSTRUCCIÓN DE OBRAS EN EL RÍO GUAYAS INFORMACIÓN DE DISEÑO – RUTA DURÁN A GUAYAQUIL Proyecto: Estudios marítimos previos a la construcción de obras en el Río Guayas," n.d.)

Resultados

Los resultados obtenidos en la simulación y la característica de una turbina hidrocinética nos permite realizar un análisis de la evolución en el tiempo del potencial de energía y la energía a lo largo del perfil trasversal del río. Esta información es necesaria para una dimensión correcta ubicación de la microturbina de río. Los valores de las velocidades, potencia hidráulica y el potencial de energía que se pueden obtener por microturbinas se calcularon utilizando la ley de betz desde los inicios de los estudios de la física aplicados a los fluidos, el científico alemán Albert Betz (1885-1968), se desarrolla una disminución de su flujo para obtener el movimiento de la turbina, durante sus estudios determinó que toda turbina desarrolla una eficiencia de 59,3% cómo límite, y que éste valor no es

alcanzado en la realidad donde se obtienen valores promedios de 35-45%. En vista de que en la física el viento es considerado un fluido, la ley de Betz se aplica a las hidroturbinas cinéticas pero en aquellas de tipo de flujo axial.Magdi Ragheb, indica que la ley de Betz permite el cálculo de la potencia de la turbina por la ecuación("J. KAUR, «Development of an efficient hydrokinetic turbine,» 2016.," n.d.).

$$P = {}^{1}/_{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v^{3} \qquad (1)$$

De ésta ecuación se debe considerar que, S es el área de acción de las hélices de la turbina, v es la velocidad del fluido, y ϱ la densidad del mismo. Del mismo modo se puede extraer el coeficiente de desempeño de la turbina que se representa por la relación:

$$C_p = \frac{P}{W} \qquad (2)$$

De la fórmula 2, W equivale a la potencia disponible en el flujo sin interrumpir. En esta fase de la metodología utilizada, un modelo microturbina hidrocinética es analizado, ya que tiene un máximo coeficiente de desempeño de la turbina p = 0.25; con un área de barrido del rotor de A = 1 m2 y un valor de la velocidad de corte en de V min>0,73 m / s. La velocidad en la que se mueve el agua, se obtuvo directamente de la evolución de las velocidades del río Guayas durante períodos de tiempo durante todo el año en cada sección. Es por esto, que los valores de las velocidades del agua durante todo año proporcionado por el instituto oceanográfico de la armadas del Ecuador, el valor más alto es de 2.26 m/s, la velocidad lenta es 0,31m/s y el promedio de velocidades es 1,39 m/s, a consecuencia tener una velocidad promedio baja es necesario ubicar la turbina en el lugar óptimo para aprovechar de forma eficiente la velocidad del agua(figura 6)("Instituto Oceanográfico de la Armada - Publicaciones - Caracterización oceanográfica del perfil costero ecuatoriano a través de métodos estadísticos aplicados a las estaciones fijas de monitoreo del INOCAR," n.d.).

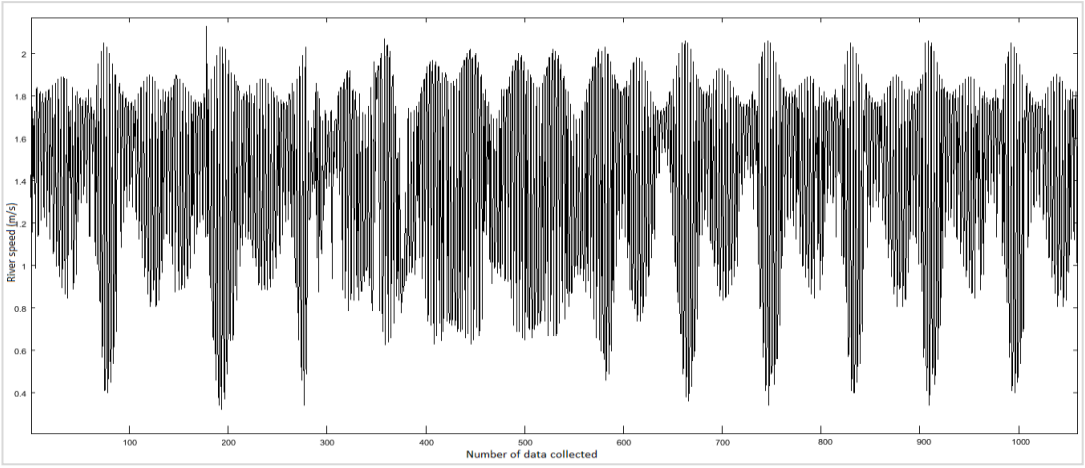


Figura 6. Velocidad anual de la sección trasversal del río Guayas. Elaboración INOCAR

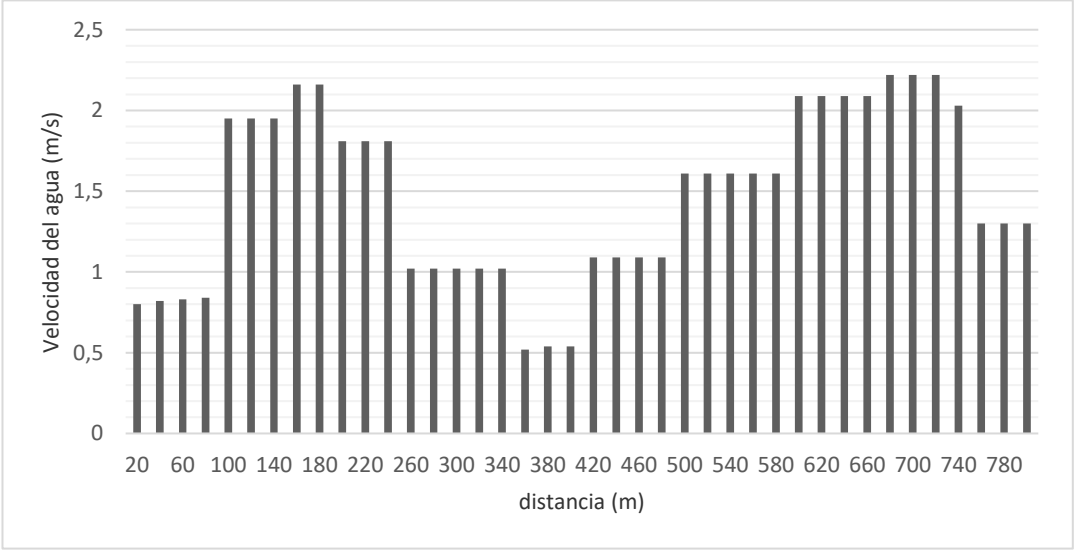


Figura 7. Los valores máximos de velocidad del agua (de enero a junio).

En la Fig.6 se muestran los valores máximos de velocidades de agua durante meses, de junio a octubre. Se obtiene el valor más alto a una distancia de 180 m alcanzar valores de hasta 2,26 m / s.Fig.7 representa los valores máximos para el resto de los meses del año. Se obtiene el valor más alto en 700 m de la boca del río, con un valor máximo de 2,2 m / s en diciembre. Como se mencionó anteriormente, la potencia instantánea que se podría obtener, para cada velocidad del agua utilizando una microturbina hidrocinética con un rotor de área de 1 m2 barrió se calcula usando la Ecuación (1) con un $\varrho = 0{,}25$, y una velocidad de corte en de V min> 0,5 m / s. Los valores máximos de la curva de potencia del generador adquirido se muestran en la figura 8. Dos secciones con valores máximos

de velocidades promedio mensuales eran también obtenidas a distancias de 140 m y 680 m, que son las mismas secciones donde se obtuvieron más altas velocidades.

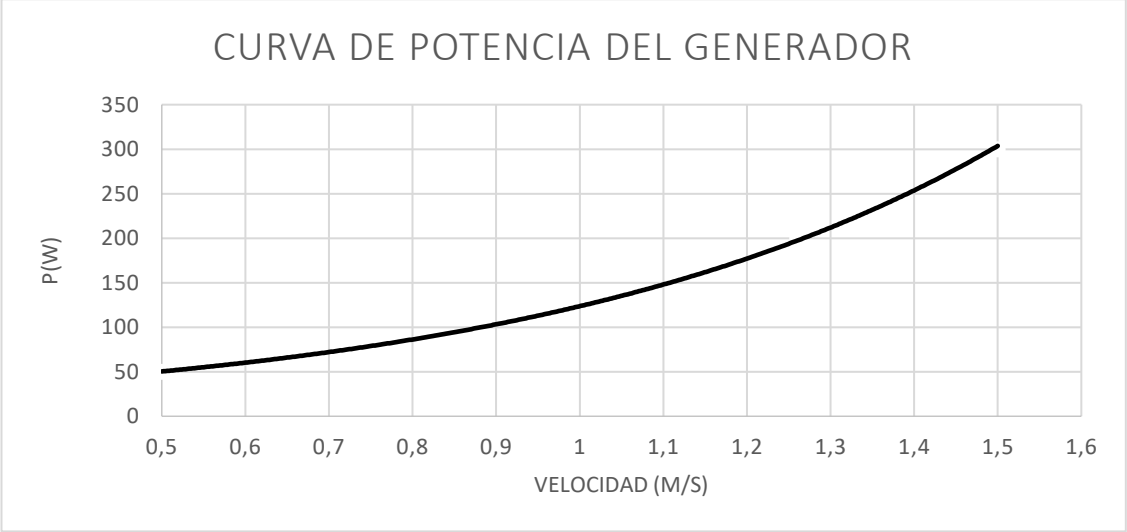


Figura 8. Valores máximos de la curva de potencia del generador.

Por lo tanto, estos serían los dos lugares principales para una instalación del prototipo micro turbina hidrocinética en la (figura 3), mostrar una vista de ubicaciones de secciones transversales en 140 680 metros y metros del tramo transversal del río Guayas (figura 1) entre esas dos secciones mencionadas podemos colocar la turbina y aprovechar su eficiencia. Además, con la producción y generación de energía eléctrica mediante el uso de turbinas hidrocinética en el rio Guayas.

Conclusión

El uso del programa HEC-RAS permite la realización de una simulación con gran índice de confiabilidad, el desarrollo de la simulación facilita el análisis cuantitativo de la velocidad del flujo del río junto a los datos de la profundidad del lecho marino. Los resultados demuestran que el río posee una gran variante en el sentido y magnitud del flujo, pero a su vez, que su velocidad promedio es capaz de generar la conversión de energía cinética a eléctrica adecuada y continuamente.

Se debe tomar en cuenta que el río Guayas presenta valores máximos de velocidad del flujo en aquellos puntos donde la precipitación geográfica marina es mayor, por lo tanto, el aprovechamiento máximo de éste tipo de fuente de energía natural es la implantación de turbinas hidrocinética como una red de conversión de energía aprovechable y manejable sin afectar negativamente al ecosistema circundante.

El uso de las turbinas del tipo hidrocinética lleva a un desarrollo y estabilidad en cuanto a su operación y generación de energía. Entre las ventajas que se pueden esperar del

aprovechamiento de la tecnología hidrocinética se tiene: Gran intensidad energética superior a la eólica, fácil estimación de su disponibilidad, disminución del impacto medioambiental, no produce impacto visual ni ruido. El obstáculo principal para la explotación de esta fuente es el económico, los costes de la inversión tienden a ser altos con respecto al rendimiento primario, debido a las bajas y variadas cargas hidráulicas disponibles. Estas bajas cargas exigen la utilización de voluminosos equipos para manejar relativamente grandes cantidades de agua, en comparación con los recursos hídricos tradicionales.

Referencias

- Alvarez, E. A., Rico-Secades, M., Suárez, D. F., Gutiérrez-Trashorras, A. J., & Fernández-Francos, J. (2016). Obtaining energy from tidal microturbines: A practical example in the Nalón River. Applied Energy, 183, 100–112. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.08.173
- Bladé, E. (2009). Modelación numérica en ríos en régimen permanente y variable una visión a partir del modelo HEC-RAS. Edicions UPC. Retrieved from https://www.flumen.upc.edu/ca/documentacio/llibres/modelacion-numerica-en-rios-en-regimen-permanente-y-variable
- CONSTRUCCIÓN DE OBRAS EN EL RÍO GUAYAS INFORMACIÓN DE DISEÑO – RUTA DURÁN A GUAYAQUIL Proyecto: Estudios marítimos previos a la construcción de obras en el Río Guayas. (n.d.). Retrieved from http://www.guayaquil.gob.ec/Aerosuspendido/Información de Diseño - Río Guayas.pdf
- Copping, M. Greer. Jepsen, C. Chartrand, A. Gorton, Understanding the potential risk to marine mammals from collision with tidal turbines, Int. J. Mar. Energy 19 (Sep. 2017) 110–123 - Buscar con Google. (n.d.). Retrieved July 16, 2018, from https://www.google.com/search?client=opera&hs=7gR&q=Copping,+M.+Greer.+Jepsen,+C.+Chartrand,+A.+Gorton,+Understanding+the+potential+risk+to+marine+mammals+from+collision+with+tidal+turbines,+Int.+J.+Mar.+Energy+19+(Sep.+2017)+110–123&spell=1&sa=X&
- Design, N. (n.d.). Hydro-Dynamic Analysis and Field Test of a Prototype Micro Hydro Kinetic Turbine. Retrieved from https://stisrv13.epfl.ch/masters/img/733.pdf
- Farina, G., Alvisi, S., Franchini, M., Corato, G., & Moramarco, T. (2015). Estimation of bathymetry (and discharge) in natural river cross-sections by using an entropy approach. Journal of Hydrology, 527, 20–29. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.04.037
- Horritt, M. S., & Bates, P. D. (2002). Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation. Journal of Hydrology, 268(1–4), 87–99. https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00121-X
- https://faeingc.files.wordpress.com/2015/11/energc3ada-hidrocinetica.pptx. (n.d.). Retrieved July 16, 2018, from https://www.google.com/search?client=opera&q=https%3A%2F%2Ffaeingc.files.wordpress.com%2F2015%2F11%2Fenergc3ada-

hidrocinetica.pptx.&sourceid=opera&ie=UTF-8&oe=UTF-8

- INOCAR - Estación GUAYAQUIL-RíO - Pleamar y bajamar. (n.d.). Retrieved July 18, 2018, from https://www.inocar.mil.ec/mareas/graphs/grafico_pleabaja.php?id_est=374
- Instituto Oceanográfico de la Armada - Caracterización hidrológica. (n.d.). Retrieved July 13, 2018, from https://www.inocar.mil.ec/web/index.php/proyectos/inocar-senescyt/19-caracterizacion-hidro-oceanografica-y-ambiental-del-margen-costero/47-caracterizacion-hidrologica
- Instituto Oceanográfico de la Armada - Publicaciones - Caracterización oceanográfica del perfil costero ecuatoriano a través de métodos estadísticos aplicados a las estaciones fijas de monitoreo del INOCAR. (n.d.). Retrieved July 18, 2018, from https://www.inocar.mil.ec/web/index.php/publicaciones/file/299-caracterizacion-oceanografica-del-perfil-costero-ecuatoriano-a-traves-de-metodos-estadisticos-aplicados-a-las-estaciones-fijas-de-monitoreo-del-inocar
- J. KAUR, «Development of an efficient hydrokinetic turbine,» 2016. (n.d.).
- Kumar, A., Energy, R. S.-R., & 2017, undefined. (n.d.). Performance analysis of a Savonius hydrokinetic turbine having twisted blades. Elsevier. Retrieved from https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148117301830
- Revista Tecnológica ESPOL Available: http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/20033/32784.pdf?sequence=1 (Oct, 2008). (n.d.). Retrieved July 16, 2018, from https://www.google.com/search?client=opera&q=Revista+Tecnológica+ESPOL+Available%3A+http%3A%2F%2Frepositori.uji.es%2Fxmlui%2Fbitstream%2Fhandle%2F10234%2F20033%2F32784.pdf%3Fsequence%3D1+(Oct%2C+2008).&sourceid=opera&ie=UTF-8&oe=UTF-8
- Servicio meteorologico, "Caudales (Datos Históricos) | Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología," Inamhi. (n.d.). Retrieved July 17, 2018, from http://www.serviciometeorologico.gob.ec/caudales-
- Software. (n.d.). Retrieved July 9, 2018, from http://www.hec.usace.army.mil/software/

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

[1] (2018, Jan.) La economía mundial crecerá 3,1 por ciento en 2018, pero el potencial de crecimiento futuro genera inquietud. [Online]. http://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/01/09/global-economy-to-edge-up-to-3-1-percent-in-2018-but-future-potential-growth-a-concern

[2] (2016, noviembre) Energía Solar. [Online]. https://solar-energia.net/energias-no-renovables/combustibles-fosiles

[3] Vicente Viñuela Olave. (2012) Energía Hidroeléctrica. [Online]. http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno12/costosernc/D._Hidro.html

[4] (2009, Feb.) Cuánta agua tiene el planeta. [Online]. http://www.latice.org/milj/es/fedscu0902es.html

[5] Agencia Internacional de la Energía. [Online].

[6] Organización Latinoamericana de Energía. [Online].

[7] (2017) Agencia Internacional de Energia (IEA). [Online]. https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/RenewablesInformation2017Overview.pdf

[8] Energía Eólica. [Online]. https://www.planetaverde.net/energia-eolica/

[9] Energía Eólica. [Online]. http://www.areatecnologia.com/electricidad/energia-eolica.html

[10] Ventajas de la energía solar. [Online]. http://www.estudiosolar.es/las-ventajas-de-la-energia-solar-respecto-a-otras-energias-renovables/

[11] (2017, Nov.) Fuentes de energía renovable | La Energía Mareomotriz. [Online]. https://erenovable.com/olas-y-mareas-como-fuentes-de-energia-renovable/

[12] TODO sobre la Energia de Biomasa. [Online]. https://energiasae.com/biomasa/

[13] (2018, Septiembre) Agencia de Control y Regulación de Electricidad. [Online]. http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/08/Estad%C3%ADstica-anual-y-multianual-sector-el%C3%A9ctrico-2016.pdf

[14] Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, INER. [Online].

[15] (2018, Septiembre) Corporación Eléctrica del Ecuador. [Online]. https://www.celec.gob.ec/termopichincha/index.php/retos-empresariales/proyectos-de-generacion-no-convencional/proyecto-biocombustible

[16] Contexto Ganadero. [Online]. http://www.contextoganadero.com/agricultura/buscan-generar-hidrogeno-partir-de-residuos-de-banano.

[17] Ecuador Energía Renovables Inmediato. [Online].

[18] (2018, Septiembre) La ciencia en palabras. [Online]. http://lacienciaenpalabras.blogspot.com/

[19] Ministerio Turismo Ecuador. [Online]. https://www.turismo.gob.ec/parque-eolico-villonaco-proyecto-innovador-a-escala-mundial/

[20] Centro de Información de Energias Renovables de Galápagos. [Online]. https://ciergalapagos.wordpress.com/renovables/energia-eolica/

[21] Jasveer KAUR. (2016) Development of an efficient hydrokinetic turbine. [Online].

[22] Anurag KUMAR and R. P. Dr. SAINI. (2017) Techno-Economic Analysis of Hydrokinetic Turbines. [Online]. https://pdfs.semanticscholar.org/e7bc/28e97779763ff592a650b871166cf63abefc.pdf

[23] Magdi RAGHEB. (2017, Oct.) Wind energy conversion theory, Betz equation. [Online].

[24] Marko HOCEVAR. (2016) Introduction to turbine machinery. [Online]. http://lab.fs.uni-lj.si/kes/turbinski_stroji/introduction_to_turbine_machinery.pdf

[25] (2018) OneDrive. [Online]. https://sites.google.com/site/046tecnologia/turbina-generador.

[26] Chapman Stephen. (2018) Onedrive. [Online].

[27] Darle Dudley. (1973) Manual de engranajes. [Online]. https://drive.google.com/file/d/0B54Zcl7fTIXNTE4zaGNaRTM3UzQ/view

[28] (2018) Fundamentos de máquinas. [Online]. http://fundamentosdemaquinas.blogspot.com/p/engranajes.html

[29] (2018) Mecanicalmania. [Online]. http://mechanicalmania.blogspot.com/2011/07/types-of-gear.html

[30] Richard Budynas and Keith Nisbett. ingeniería Mecánica. [Online]. https://rafaelramirezr.files.wordpress.com/2015/03/diseno-en-ingenieria-mecanica-de-shigley-8th-hd.pdf

[31] (2016, Marzo) Entrada al Conocimiento. [Online]. http://entradaalconocimiento5.blogspot.com/2016/03/teorema-de-bernoulli.html

[32] (2017, Octubre) Instituto Andaluz de Navegación. [Online]. http://institutoandaluzdenavegacion.com/que-son-las-helices/

[33] Tanumoy Sinha. (2017, octubre) MarineIinsight. [Online]. https://www.marineinsight.com/naval-architecture/10-factors-considered-efficient-ship-propeller-design/

[34] A.H. Techet. (2016) Hydrodinamic. [Online]. http://web.mit.edu/2.016/www/handouts/2005Reading10.pdf

[35] (2016, marzo) Research Gate. [Online]. https://www.researchgate.net/publication/298920516_Cavitation_tunnel_analysis_of_radiated_sound_from_the_resonance_of_a_propeller_tip_vortex_cavity

[36] Estudios de Impacto Ambiental. [Online]. https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=97&t=3

[37] Shink that footprint. [Online]. http://shrinkthatfootprint.com/average-household-electricity-consumption

ANEXOS

APENDICE A

Extracto de los datos de la velocidad y temperatura del río utilizados para el estudio presentado.

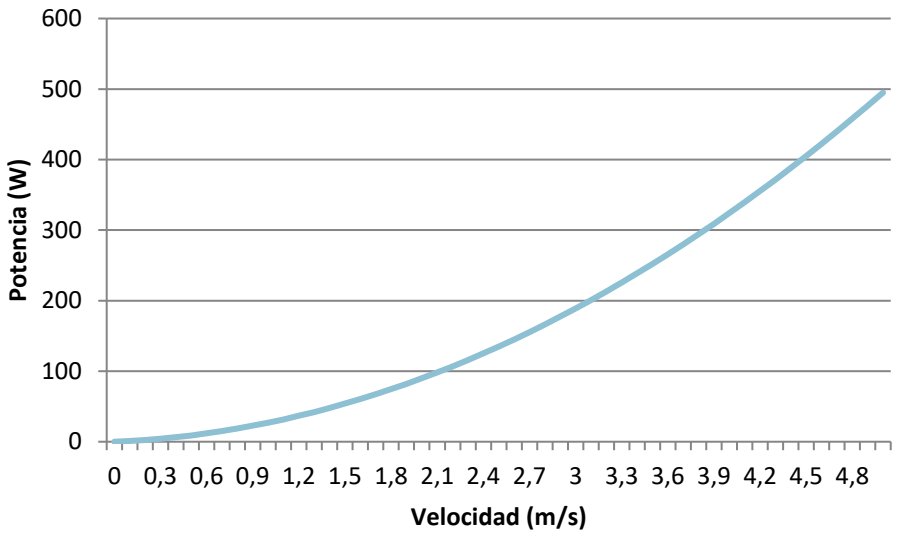
End Time	Water Speed (m/s)	Ambient Temp (°C)	End Time	Water Speed (m/s)	Ambient Temp (°C)	End Time	Water Speed (m/s)	Ambient Temp (°C)	End Time	Water Speed (m/s)	Ambient Temp (°C)
01/01/17 01h	1,646917	21,90707	04/06/17 09h	1,646917	22,22702	07/10/17 17h	1,616973	21,98706	10/14/17 01h	1,616973	22,97692
01/01/17 02h	1,646917	21,90707	04/06/17 10h	1,646917	22,22702	07/10/17 18h	1,616973	21,98706	10/14/17 02h	1,616973	22,97692
01/01/17 03h	1,646917	21,90707	04/06/17 11h	1,646917	22,22702	07/10/17 19h	1,616973	21,98706	10/14/17 03h	1,616973	22,97692
01/01/17 04h	1,646917	21,90707	04/06/17 12h	1,646917	22,22702	07/10/17 20h	1,616973	21,98706	10/14/17 04h	1,616973	22,97692
01/01/17 05h	1,646917	21,90707	04/06/17 13h	1,646917	22,22702	07/10/17 21h	1,616973	21,98706	10/14/17 05h	1,616973	22,97692
01/01/17 06h	1,646917	21,90707	04/06/17 14h	1,646917	22,22702	07/10/17 22h	1,616973	21,98706	10/14/17 06h	1,616973	22,97692
01/01/17 07h	1,646917	21,90707	04/06/17 15h	1,646917	22,22702	07/10/17 23h	1,616973	21,98706	10/14/17 07h	1,616973	22,97692
01/01/17 08h	1,646917	21,90707	04/06/17 16h	1,646917	22,22702	07/11/17 00h	1,616973	21,98706	10/14/17 08h	1,616973	22,97692
01/01/17 09h	1,646917	21,90707	04/06/17 17h	1,646917	22,22702	07/11/17 01h	1,616973	21,98706	10/14/17 09h	1,616973	22,97692
01/01/17 10h	1,646917	21,90707	04/06/17 18h	1,646917	22,22702	07/11/17 02h	1,616973	21,98706	10/14/17 10h	1,616973	22,97692
01/01/17 11h	1,646917	21,90707	04/06/17 19h	1,646917	22,22702	07/11/17 03h	1,616973	21,98706	10/14/17 11h	1,616973	22,97692
01/01/17 12h	1,646917	21,90707	04/06/17 20h	1,646917	22,22702	07/11/17 04h	1,616973	21,98706	10/14/17 12h	1,616973	22,97692
01/01/17 13h	1,646917	21,90707	04/06/17 21h	1,646917	22,22702	07/11/17 05h	1,616973	21,98706	10/14/17 13h	1,616973	22,97692
01/01/17 14h	1,646917	21,90707	04/06/17 22h	1,646917	22,22702	07/11/17 06h	1,616973	21,98706	10/14/17 14h	1,616973	22,97692
01/01/17 15h	1,646917	21,90707	04/06/17 23h	1,646917	22,22702	07/11/17 07h	1,616973	21,98706	10/14/17 15h	1,616973	22,97692
01/01/17 16h	1,646917	21,90707	04/17/17 00h	1,646917	22,22702	07/11/17 08h	1,616973	21,98706	10/14/17 16h	1,616973	22,97692
01/01/17 17h	1,646917	21,90707	04/17/17 01h	1,646917	22,22702	07/11/17 09h	1,616973	21,98706	10/14/17 17h	1,616973	22,97692
01/01/17 18h	1,646917	21,90707	04/17/17 02h	1,646917	22,22702	07/11/17 10h	1,616973	21,98706	10/14/17 18h	1,616973	22,97692
01/01/17 19h	1,646917	21,90707	04/17/17 03h	1,646917	22,22702	07/11/17 11h	1,616973	21,98706	10/14/17 19h	1,616973	22,97692
01/01/17 20h	1,646917	21,90707	04/17/17 04h	1,646917	22,22702	07/11/17 12h	1,616973	21,98706	10/14/17 20h	1,616973	22,97692
01/01/17 21h	1,646917	21,90707	04/17/17 05h	1,646917	22,22702	07/11/17 13h	1,616973	21,98706	10/14/17 21h	1,616973	22,97692
01/01/17 22h	1,646917	21,90707	04/17/17 06h	1,646917	22,22702	07/11/17 14h	1,616973	21,98706	10/14/17 22h	1,616973	22,97692
01/01/17 23h	1,646917	21,90707	04/17/17 07h	1,646917	22,22702	07/11/17 15h	1,616973	21,98706	10/14/17 23h	1,616973	22,97692
01/02/17 00h	1,646917	21,90707	04/17/17 08h	1,646917	22,22702	07/11/17 16h	1,616973	21,98706	10/15/17 00h	1,616973	22,97692
01/02/17 01h	1,646917	21,90707	04/17/17 09h	1,646917	22,22702	07/11/17 17h	1,616973	21,98706	10/15/17 01h	1,616973	22,97692
01/02/17 02h	1,646917	21,90707	04/17/17 10h	1,646917	22,22702	07/11/17 18h	1,616973	21,98706	10/15/17 02h	1,616973	22,97692
01/02/17 03h	1,646917	21,90707	04/17/17 11h	1,646917	22,22702	07/11/17 19h	1,616973	21,98706	10/15/17 03h	1,616973	22,97692
01/02/17 04h	1,646917	21,90707	04/17/17 12h	1,646917	22,22702	07/11/17 20h	1,616973	21,98706	10/15/17 04h	1,616973	22,97692
01/02/17 05h	1,646917	21,90707	04/17/17 13h	1,646917	22,22702	07/11/17 21h	1,616973	21,98706	10/15/17 05h	1,616973	22,97692
01/02/17 06h	1,646917	21,90707	04/17/17 14h	1,646917	22,22702	07/11/17 22h	1,616973	21,98706	10/15/17 06h	1,616973	22,97692
01/02/17 07h	1,646917	21,90707	04/17/17 15h	1,646917	22,22702	07/11/17 23h	1,616973	21,98706	10/15/17 07h	1,616973	22,97692
01/02/17 08h	1,646917	21,90707	04/17/17 16h	1,646917	22,22702	07/12/17 00h	1,616973	21,98706	10/15/17 08h	1,616973	22,97692
01/02/17 09h	1,646917	21,90707	04/17/17 17h	1,646917	22,22702	07/12/17 01h	1,616973	21,98706	10/15/17 09h	1,616973	22,97692
01/02/17 10h	1,646917	21,90707	04/17/17 18h	1,646917	22,22702	07/12/17 02h	1,616973	21,98706	10/15/17 10h	1,616973	22,97692
01/02/17 11h	1,646917	21,90707	04/17/17 19h	1,646917	22,22702	07/12/17 03h	1,616973	21,98706	10/15/17 11h	1,616973	22,97692
01/02/17 12h	1,646917	21,90707	04/17/17 20h	1,646917	22,22702	07/12/17 04h	1,616973	21,98706	10/15/17 12h	1,616973	22,97692
01/02/17 13h	1,646917	21,90707	04/17/17 21h	1,646917	22,22702	07/12/17 05h	1,616973	21,98706	10/15/17 13h	1,616973	22,97692
01/02/17 14h	1,646917	21,90707	04/17/17 22h	1,646917	22,22702	07/12/17 06h	1,616973	21,98706	10/15/17 14h	1,616973	22,97692
01/02/17 15h	1,646917	21,90707	04/17/17 23h	1,646917	22,22702	07/12/17 07h	1,616973	21,98706	10/15/17 15h	1,616973	22,97692
01/02/17 16h	1,646917	21,90707	04/08/17 00h	1,646917	22,22702	07/12/17 08h	1,616973	21,98706	10/15/17 16h	1,616973	22,97692
01/02/17 17h	1,646917	21,90707	04/08/17 01h	1,646917	22,22702	07/12/17 09h	1,616973	21,98706	10/15/17 17h	1,616973	22,97692
01/02/17 18h	1,646917	21,90707	04/08/17 02h	1,646917	22,22702	07/12/17 10h	1,616973	21,98706	10/15/17 18h	1,616973	22,97692
01/02/17 19h	1,646917	21,90707	04/08/17 03h	1,646917	22,22702	07/12/17 11h	1,616973	21,98706	10/15/17 19h	1,616973	22,97692
01/02/17 20h	1,646917	21,90707	04/08/17 04h	1,646917	22,22702	07/12/17 12h	1,616973	21,98706	10/15/17 20h	1,616973	22,97692
01/02/17 21h	1,646917	21,90707	04/08/17 05h	1,646917	22,22702	07/12/17 13h	1,616973	21,98706	10/15/17 21h	1,616973	22,97692
01/02/17 22h	1,646917	21,90707	04/08/17 06h	1,646917	22,22702	07/12/17 14h	1,616973	21,98706	10/15/17 22h	1,616973	22,97692
01/02/17 23h	1,646917	21,90707	04/08/17 07h	1,646917	22,22702	07/12/17 15h	1,616973	21,98706	10/15/17 23h	1,616973	22,97692
01/03/17 00h	1,646917	21,90707	04/08/17 08h	1,646917	22,22702	07/12/17 16h	1,616973	21,98706	10/16/17 00h	1,616973	22,97692

APENDICE B

Para demostrar la utilidad y potencia de desarrollo energético que posee la turbina hidrocinética, se implementó una mesa de soporte donde se instaló la turbina completamente desarmada para apreciar sus partes.

Se instaló el conjunto hélice-eje-generador en un punto extremo de la mesa donde los cables provenientes del generador se encuentran conectados con un indicador de voltaje de corriente continua.

Se procedió a realizar pruebas del generador aplicándole movimiento con el uso de la mano inicialmente para comparar la suavidad de giro del eje. A penas inicia el movimiento, el generador inicia la conversión de energía que es mostrada en el indicador como se aprecia en la siguiente imagen

A partir de éste tipo de ensayo se desarrolla la captura de datos.

Con la adquisición de los datos se procede a realizar la gráfica de potencia de la turbina. Para el caso del ensayo la curva es la siguiente: