

ENERGÍAS ALTERNATIVAS PARA LA POBLACIÓN DE LA ECO-REGIÓN DE LA MOJANA

**JOHN SEBASTIAN MARTINEZ CORTES
CARLOS ANDRES TRIANA LESMES**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
ALTERNATIVA TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
BOGOTÁ
2015**

**ENERGÍAS ALTERNATIVAS PARA LA POBLACIÓN DE LA ECO-REGIÓN DE
LA MOJANA**

**JOHN SEBASTIAN MARTINEZ CORTES
CARLOS ANDRES TRIANA LESMES**

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Civil

Directora

Paula Andrea Villegas González

Ingeniera Civil



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
ALTERNATIVA DE INVESTIGACIÓN
BOGOTÁ
2015**



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5 CO)

Esto es un resumen legible por humanos del [Texto Legal \(la licencia completa\)](#).

[Advertencia](#)

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Le doy gracias a mi mamá, María Lesmes, por ser mi constante apoyo en este largo camino, y por siempre creer en mí, además de ser la fuerza que me lleva a seguir adelante todos los días. También a mi papá por apoyarme a pesar de las dificultades, y querer siempre lo mejor para mí.

Le doy también gracias a Dios por permitirme llegar al final del camino, y no dejarme sucumbir ante los obstáculos. Y le doy gracias a mi novia Erika Gonzalez, por estar conmigo a pesar de la distancia, y por ser la razón de querer un mejor futuro.

Carlos Andrés Triana

CONTENIDO

RESUMEN.....	9
INTRODUCCIÓN	10
1. ANTECEDENTES.....	11
2. OBJETIVOS.....	12
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
4. IDENTIFICACIÓN Y ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE GENERACION DE ENERGIA ALTERNATIVOS EN EL MUNDO.....	14
4.1“ENERGIAS RENOVABLES: MARCO JURIDICO EN COLOMBIA”	14
4.2 “POTENCIAL DE LA ENERGIA HIDROELECTRICA A PEQUEÑA ESCALA PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD EN EL AFRICA SUB-SAHARIANA”	15
4.3 “ENERGIA HIDROELECTRICA A ESCALA: SOLUCIÓN PROMETEDORA PARA FUENTES DE ENERGIA RENOVABLE NO CONECTADAS A LA RED”16	
4.4 “GENERACION DE ENERGIA CON CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DE PEQUEÑA ESCALA EN GUATEMALA”.....	19
4.5 “ENERGÍA EÓLICA EN EL ISTMO DE TEHUANTEPEC: DESARROLLO, ACTORES Y OPOSICIÓN SOCIAL”	20
4.6. “MODELADO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA CONJUNTO DE ENERGÍA SOLAR Y EÓLICA PARA ANALIZAR SU DEPENDENCIA DE LA RED ELÉCTRICA”	22
4.7. “MODELADO ENERGÉTICO DE CONVERTIDORES PRIMARIOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES MARINAS”.....	23
5. CARACTERIZACIÓN DE LA ECO – REGIÓN DE LA MOJANA Y MUNICIPIO PARA CASO DE ESTUDIO	27
6. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA.....	41
6.1. ANÁLISIS DE VIABILIDAD.....	44
6.2. ALTERNATIVAS DE IMPLEMENTACIÓN	45
7. CONCLUSIONES	53
BIBLIOGRAFÍA.....	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema general de la implementación de la planta hidroeléctrica	16
Figura 2. Ejemplos y esquemas de pequeñas turbinas de generación de energía	17
Figura 3. Diseños de micro turbinas para la implementación en campo.....	18
Figura 4. Esquema general de las hidroeléctricas a pequeña escala implementadas en Guatemala	20
Figura 5. Organización y conexión ideal para el modelo combinado de energías renovables	23
Figura 6. Ejemplos y modelos de turbinas para la utilización de las corrientes marinas y el oleaje	25
Figura 7. División administrativa de La Mojana.....	27
Figura 8. Humedales y recursos hídricos de La Mojana	30
Figura 9. Producción de oro en los cuatro departamentos pertenecientes a La Mojana, 2001	34
Figura 10. Sistema vial del Departamento de Sucre.....	35
Figura 11. Ubicación geográfica del municipio de Achí, Bolívar	39
Figura 12. Casa de máquinas o balsa	46
Figura 13. Turbina.....	46
Figura 14. Teclé o grúa	47
Figura 15. Sistema de poleas	48
Figura 16. Generador.....	48
Figura 17. Esquema para la micro turbina a emplear	49
Figura 18. Detalle de la micro turbina	49
Figura 19. Turbina de agua Tipo Francis	51
Figura 20. Ubicación del sistema de generación eléctrica	51
Figura 21. Perfil de elevación del río Cauca en la sección aguas arriba y aguas abajo del municipio de Achí.	52

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Área de los ecosistemas de La Mojana, su ubicación y sistemas de producción	29
Tabla 2. Principales Sistemas Productivos, 1998	31
Tabla 3. Área sembrada con los principales cultivos, 1960 y 2003.....	32
Tabla 4. Movilización pesquera en tres municipios.....	33
Tabla 5. Especies de fauna comercializada, 2001	33
Tabla 6. Estimaciones de población DANE 1993 – 2005 y Tasa de crecimiento intercensal	36
Tabla 7. La Mojana, indicadores de necesidades básicas insatisfechas (NBI) y de miseria.	37
Tabla 8. Cobertura Total de Energía Eléctrica en el Departamento de Bolívar, 2005	38
Tabla 9. Ficha técnica del sistema de micro turbinas	50

GLOSARIO

CASA DE MÁQUINAS: es la obra civil que resguarda la turbina hidráulica, el generador y otros dispositivos necesarios para crear la electricidad.

CÁMARA DE CARGA: es una obra civil en forma de caja que sirve para almacenar el agua en alto, para luego ser lanzada, por medio de tubería de acero, metros más abajo hacia la casa de máquinas donde se encuentra la turbina.

CENTRAL HIDROELÉCTRICA: es una instalación que aprovecha fuentes de energía hidráulica para originar otra de tipo eléctrico” Su sistema se basa en el aprovechamiento de caídas o impulsos de grandes volúmenes de agua que hacen girar o rotar turbinas de generación de energía.

ENERGIA RENOVABLE: hace mención al tipo de energía que puede obtenerse de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya que contienen una inmensa cantidad de energía o pueden regenerarse naturalmente.

FUENTES DE ENERGÍA: las fuentes de energía son los recursos naturales que el hombre utiliza para producir la fuerza necesaria para hacer funcionar las máquinas, las industrias y los transportes.

GENERACION DE ELECTRICIDAD: se produce en alternadores o generadores, en términos generales, consiste en transformar alguna clase de energía, ya sea esta química, mecánica, térmica o luminosa, entre otras, en energía eléctrica.

GENERADOR: es la máquina encargada de producir energía eléctrica. Está compuesta por un rotor y un estator.

MÁQUINA HIDRÁULICA: es una máquina que produce movimiento para accionar algún dispositivo, cuya utilización nos interesa. Cuando la máquina es accionada por la fuerza del agua se dice que es una máquina hidráulica.

TUBERÍA DE PRESIÓN: las tuberías de presión tienen por objeto conducir el agua desde la cámara de carga hacia la turbina, que se encuentra dentro de la casa de máquinas.

TURBINA HIDRÁULICA: es un elemento que aprovecha la energía cinética y potencial del agua para producir un movimiento de rotación capaz de transformar la energía mecánica en energía eléctrica.

RESUMEN

El contenido de esta investigación se centra en la búsqueda de un método de generación de energía por medio de fuentes alternativas para la implementación en la eco-región de La Mojana. En este documento se analizan e identifican diversos sistemas de generación de energía que han sido implementados en distintos lugares del mundo, esto con el fin de conocer sus características y permitir una comparación que lleve a poder escoger un sistema tentativo o definitivo.

La caracterización de la eco-región de La Mojana, permitió comprender e identificar las características geográficas, hídricas y sociales, y a su vez poder escoger el sistema de generación de energía que mejor se adaptará a las características de la zona y que pudiera ser viable para su implementación.

INTRODUCCIÓN

En este documento se presenta el trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Civil. Aquí se hace una investigación tecnológica para el encuentro y propuesta de un sistema de generación de energía alternativa, aplicado para La eco – región de La Mojana.

En este trabajo se hace un compilado de sistemas de generación de energía, que se han probado o modelado en distintas partes del mundo, esto producto de una investigación de distintas bases de datos que recopilan diferentes métodos y experiencias en el ámbito de la generación de energía con medios alternativos o sustentables.

En el primer capítulo se presenta la investigación donde se identifican los distintos sistemas de generación de energía eléctrica con métodos alternativos, haciendo una síntesis de su funcionamiento y la experiencia que se ha tenido en su implementación, o las expectativas que se producen con su modelado.

En el segundo capítulo se hace la caracterización de la eco – región de La Mojana, esta se realiza con el fin de escoger un municipio en el cual se pueda hacer viable la implementación de un sistema de generación de energía con métodos alternativos, basado en los consumos energéticos, la población y las necesidades básicas.

En el tercer y último capítulo se hace la proposición de un sistema específico, basados en la comparación de los sistemas encontrados en el primer capítulo, y complementados por la caracterización del segundo capítulo, haciendo un análisis del por qué el sistema escogido es el más propicio para la implementación.

1. ANTECEDENTES

Este proyecto se enmarca y justifica en la propuesta doctoral de la Profesora Paula Andrea Villegas González, cuyo objetivo es desarrollar un modelo hídrico que contribuya a la gestión integrada del recurso, a partir de la inclusión de elementos que den cuenta de las dinámicas socio-económicas, ambientales y de infraestructura para la región de la Mojana.

Adicional a ello, y como parte de una complementación al programa hídrico que adelanta la Ingeniera Paula, se piensa ampliar el margen de acción, ya que las poblaciones que habitan La eco-región de la Mojana cuentan con pocas oportunidades de gozar de la energía eléctrica, sufriendo además por las conexiones ilegales y la inestabilidad del servicio.

Los niveles de pobreza en la eco-región de La Mojana se han reducido de una manera más lenta que en el resto del país, en el periodo de 2002 y 2010, en Colombia se redujo el índice de pobreza en 12.2%, mientras que en Sucre apenas y se redujo 5.4%. En Bolívar el 49.2% de la población estaba por debajo de la línea de pobreza y el 14.7% por debajo de la línea de indigencia, en Sucre el 63.7% está por debajo de la línea de pobreza, y el 28.5% está por debajo de la línea de pobreza.

Por tanto se investigó sobre medidas alternativa para su generación, que no trajeran consigo altos costos, y que fueran de fácil manipulación. Si bien en la zona se cuenta con una empresa encargada del suministro eléctrico, el análisis e implementación de medidas adicionales podría reducir la población que no cuenta con el suministro, y mejorar la calidad de vida de los integrantes de la comunidad, haciéndolos partícipes del proyecto, ya que ante una posible implementación se generarían oportunidades de trabajo.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar y proponer un sistema de generación de energía alternativo viable para La eco-región de La Mojana.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una investigación a nivel mundial y nacional que permita identificar sistemas de generación de energía alternativos.
- Hacer una caracterización geográfica y social de La eco-región de La Mojana, para poder identificar un municipio que sirva como caso de estudio para la implementación del sistema.
- Estudiar la viabilidad de la implementación de los sistemas escogidos en La eco-región de La Mojana y seleccionar uno para un caso de estudio (municipio).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La distribución adecuada y de calidad de la energía eléctrica se ha prestado como uno de los graves problemas a los que se tienen que enfrentar las comunidades que habitan el norte del país, el flujo de energía es inconstante aun para ciudades como Santa Marta o Barranquilla, donde los cortes eléctricos son habituales. La energía eléctrica se halla como uno de los servicios públicos más elementales y de mayor necesidad, por tanto sus cortes o ausencia reducen considerablemente el nivel de calidad de vida y pone en riesgo ciertas actividades de la habitualidad de la población. Si bien en el norte del país se cuenta con empresas encargadas del suministro de la energía eléctrica, como lo son Electrocaribe, Electrocosta y la Empresa Antioqueña de Energía, estas no garantizan una constante prestación del servicio y se han visto envuelta en problemas fiscales y financieros, siendo investigados por la Contraloría General de la Nación y la Superintendencia de Servicios Públicos, por entre otras cosas, estar “retrasados en la infraestructura eléctrica en un 33%”¹.

En la eco-región de La Mojana, una eco-región con gran riqueza de ciénagas y playones, también se ha visto afectada por la irregularidad de la prestación del servicio de energía eléctrica, cosa que asienta aún más la baja calidad de vida de muchos de sus habitantes, las personas que no cuentan con el servicio se ven obligadas a alumbrar sus casas con lámparas de aceite o queroseno².

Por tanto se pretendió realizar una investigación donde se recogieran distintos métodos alternativos de generación de energía, para así poder complementar y sustentar el servicio prestado en la región. La búsqueda de métodos alternativos de generación de energía contempló aprovechar entonces la geografía de La eco-región de La Mojana, buscando que los métodos recomendados no afectaran la diversidad ambiental que se presenta.

¹ CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPUBLICA. Comunicado de Prensa No. 122. Julio de 2015. [En línea]. [Citado el 24 de Julio de 2015]. Disponible en Internet: http://www.contraloriagen.gov.co/web/guest/boletinprensa/-/asset_publisher/mQ19/content/ante-mala-calidad-del-servicio-de-energia-en-la-region-caribe-vigilancia-especial-de-la-contraloria-a-la-superintendencia-de-servicios-publicos-para-v.

² AGUILERA DÍAZ MARÍA. La Mojana: Riqueza natural y potencial económico, Octubre de 2004. [En línea], [Citado el 25 de julio de 2015]. Disponible en Internet: http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/DTSER-48.pdf.

4. IDENTIFICACIÓN Y ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE GENERACION DE ENERGIA ALTERNATIVOS EN EL MUNDO

A lo largo de los últimos años, a medida que la generación de energía eléctrica de forma sustentable se hacía más y más necesaria. El poco interés en el tema, y la necesidad de abastecer grandes áreas urbanas y rurales, llevaron a que la generación de energía eléctrica se viera basada en la explotación de material fósil, como el carbón o el gas.

Colombia es afortunada en contar con unos abundantes recursos hídricos, aprovechables para la producción de energía eléctrica, por tanto no se hace necesaria una excesiva quema de combustibles fósiles. Pero aun así se hace necesario contar con sistemas alternativos que promuevan una generación limpia y accesible.

Por tanto para el caso de la eco – región de La Mojana se realiza un estudio de distintos sistemas de generación de energía, los cuales han sido implementados o estudiados alrededor del mundo, esto con el fin de identificar el más apropiado para suplir las necesidades allí encontradas.

Alrededor del mundo se ha venido avanzando en el tema de la energía sustentable, ya que no son pocos los efectos que se han producido por la quema del carbón. Ante esta situación, en distintas partes del mundo se aprovechan variados recursos renovables, que junto a ideas innovadoras, resultan ser sistemas eficientes para la generación de energía. El viento, las mareas, el sol, incluso el aprovechamiento de la energía geotérmica, todo es tenido en cuenta al momento de crear una nueva manera de generar energía.

4.1“ENERGIAS RENOVABLES: MARCO JURIDICO EN COLOMBIA”

En el año 1994 se crean las leyes 142 y 144, en las cuales, se establecen las normas generales para la generación de energía eléctrica en Colombia. Así mismo para el año 2001 se implementa la ley 691, en donde se busca incentivar la implementación de energías renovables a pequeña escala, apoyando así, proyectos en los cuales se vea aplicado el uso de energías tales como: eólica, solar, geotérmica. Para el año 2002 se crea la ley 788, la cual, premia el uso de energías renovables, eximiendo a los generadores, distribuidores y encargados de la venta de la energía, del impuesto sobre la renta, por un periodo aproximado de 15 años. La Ley propone innovar en la implementación de “fuentes renovables de pequeña escala”, generando con esta expectativa el apoyo en materia de

investigación básica y aplicada, para que con el paso del tiempo, puedan ser optimizados los costos y se tenga una mayor cobertura en cuanto a energía.³

4.2 “POTENCIAL DE LA ENERGIA HIDROELECTRICA A PEQUEÑA ESCALA PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD EN EL AFRICA SUB-SAHARIANA”

Según la investigación realizada en la que se encuentran la mayoría de países africanos, con la insuficiencia de energía eléctrica que satisfaga las necesidades de cada una de las comunidades.

Los estudios y análisis realizados en algunas de las fuentes hídricas que se encuentran en estas naciones, se observa que, se dan las características para poder implementar una tecnología de pequeña escala para poder generar la suficiente cantidad de energía eléctrica, para la demanda que se da en las diferentes poblaciones. Debido a que son países en desarrollo se presentan muchos inconvenientes para realizar estudios de factibilidad, para desarrollar los proyectos.

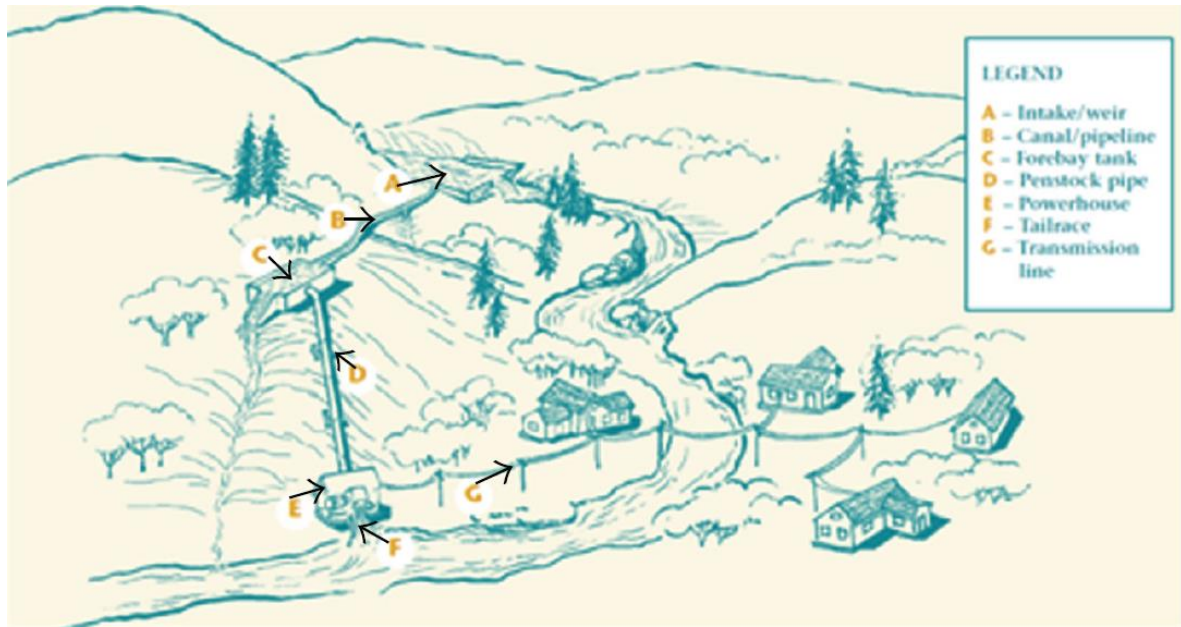
Se busca aplicar una tecnología de hidroeléctrica a una escala mucho más pequeña, en comparación con otro tipo de tecnologías para la obtención de energía eléctrica, tales como represas, molinos de viento, entre otros ; el costo de la inversión puede establecerse según las condiciones del lugar en el cual se vaya a desarrollar el proyecto, según sean las características que esté presente, de esta manera se implementaran estudios y etapas de planificación para los sistemas que se aplicarán a dichas regiones.

El artículo sirve de guía para establecer un modelo de generación de energía eléctrica para el abastecimiento de una pequeña población, que se adapte a las condiciones que se dan en la eco-región de la Mojana⁴.

³ BETANCUR LUIS IGNACIO. Energías renovables: marco jurídico en Colombia, Septiembre de 2009. [En línea], [Citado el 1 de agosto de 2015]. Disponible en internet: <http://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/energias-renovables-marco-juridico-en-colombia>.

⁴ KAUNDA CHIYEMBEKESO, KIMAMBO COUTHBERT, NIELSEN TORBJORN. Potencial de la energía hidroeléctrica a pequeña escala para la generación de electricidad en el África Sub-Sahariana, Julio de 2012. [En línea], [Citado el 1 de agosto de 2015]. Disponible en internet: <http://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/potencial-de-la-energia-hidroelectrica-a-pequena-escala-para-la-generacion-de-electricidad-en-el-africa-subsaariana>.

Figura 1. Esquema general de la implementación de la planta hidroeléctrica



Fuente: KAUNDA, CHIYEMBEKESO; KIMAMBO, COUTHBERT; NIELSEN, TORBJORN. Potential of Small-Scale Hydropower for Electricity Generation in Sub-Saharan Africa, Julio de 2012. [En línea], [Citado el 1 de agosto de 2015]. Disponible en internet: <http://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/potencial-de-la-energia-hidroelectrica-a-pequena-escala-para-la-generacion-de-electricidad-en-el-africa-subsahariana>.

En la Figura 1 se puede observar un esquema, de los elementos básicos que se necesitan para construir el sistema de energía, el cual se ve conformado por: vertedero, tanque de sedimentación, tubería forzada, turbina, sistema de transmisión de potencia mecánica al generador, generador, sistema de transmisión de electricidad para cargar los centros y el sistema de control.

4.3 “ENERGIA HIDROELECTRICA A ESCALA: SOLUCIÓN PROMETEDORA PARA FUENTES DE ENERGIA RENOVABLE NO CONECTADAS A LA RED”

En esta investigación se genera un análisis de los principales medios de obtención de energía eléctrica, observando que, una de las principales fuentes de esta

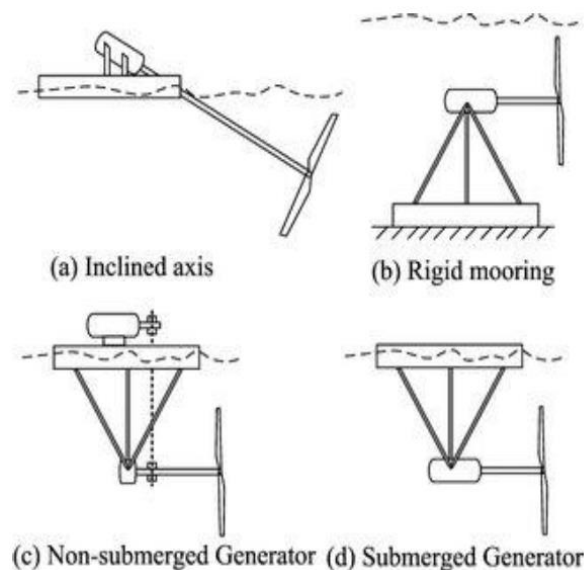
energía, radica en las centrales hidroeléctricas implementadas desde el siglo pasado para la generación de grandes cantidades de energía eléctrica.

En este trabajo se contempla la implementación de una micro turbina, puede ser aplicada en ríos o canales, esta solo requiere del flujo de una fuente hídrica, para generar pequeñas cantidades de energía, suficiente para el abastecimiento de pequeñas poblaciones. El sistema trabaja con un principio básico el cual se basa en aprovechar la energía cinética de un pequeño río o arroyo, así de esta manera se implementa una turbina que se encuentra ubicada en el interior del río, esta extrae el provecho necesario sobre la energía que le transmitirá la corriente del río, con lo cual, podrá transformar esa energía en electricidad. Se encuentran diversos conceptos para generar utilidad a este tipo de energía, aunque la turbina es la más implementada. La ecuación que rige el principio de la turbina esta expresada por:

$$P=1/2\rho KAV^3 \text{ (Ecuación 1)}$$

En donde se tiene en cuenta para su cálculo, variables tales como: densidad del agua (ρ), coeficiente de potencia (K), área de la turbina (A) y velocidad del agua (V), esto con el fin de obtener la potencia de la turbina (P).⁵

Figura 2. Ejemplos y esquemas de pequeñas turbinas de generación de energía

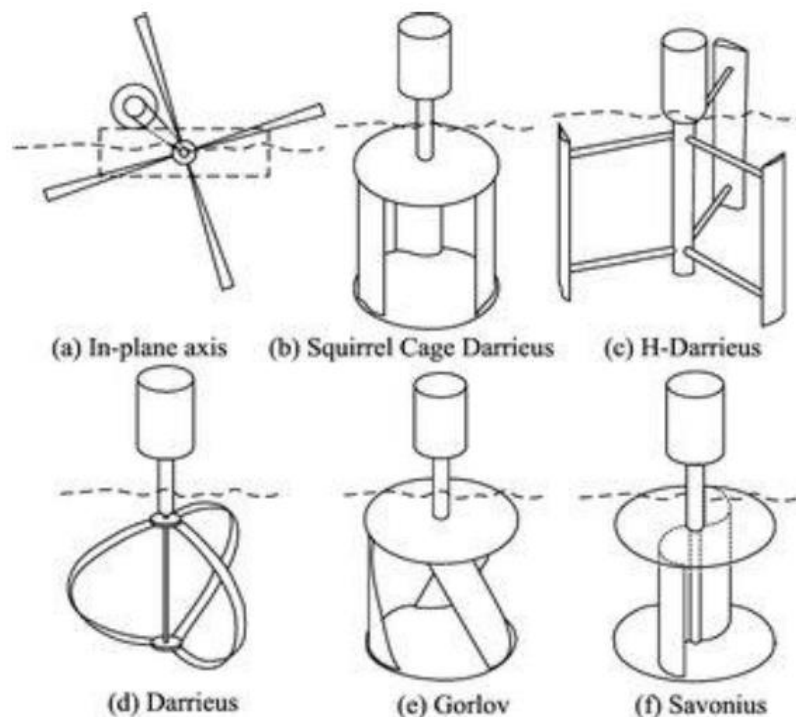


⁵ HOQ TANBHIR, SYFULLAH K., RAHMAN RAIYAN. Energía eléctrica a escala: solución prometedora para fuentes de energía renovable no conectadas a la red, Agosto de 2011. [En línea], [Citado el 2 de agosto de 2015]. Disponible en internet: <http://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/energia-hidroelectrica-a-escala-micro-solucion-prometedora-para-fuentes-de-energia-renovable-no-conectadas-a-la-red>.

Fuente: HOQ, TANBHIR; SYFULLAH, K.; RAHMAN, RAIYAN. Micro Hydro Power: Promising Solution for Off-grid Renewable Energy Source, Agosto de 2011. [En línea], [Citado el 2 de agosto de 2015]. Disponible en internet: <http://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/energia-hidroelectrica-a-escala-micro-solucion-prometedora-para-fuentes-de-energia-renovable-no-conectadas-a-la-red>.

En la Figura 2 se pueden apreciar algunos ejemplos de algunos tipos de turbina, según sea la inclinación, la alineación del eje de su rotor. Se encuentran turbinas de eje inclinado, turbina rígida de amarre, turbina de generador no sumergida y turbina de generador sumergido. Todas estas turbinas tienen su eje de rotación axial, paralelo a la corriente del río.

Figura 3. Diseños de micro turbinas para la implementación en campo



Fuente: Hoq, Tanbhir; Syfullah, K.; Rahman, Raiyan. Micro Hydro Power: Promising Solution for Off-grid Renewable Energy Source, Agosto de 2011. [En línea], [Citado el 2 de agosto de 2015]. Disponible en internet: <http://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/energia-hidroelectrica-a-escala-micro-solucion-prometedora-para-fuentes-de-energia-renovable-no-conectadas-a-la-red>.

En esta Figura 3 son apreciados algunos tipos de turbinas las cuales, tienen un eje de rotación el cual es paralelo a la superficie del agua, aunque, con respecto a la dirección del flujo de la corriente del río su sentido es ortogonal.

4.4 “GENERACION DE ENERGIA CON CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DE PEQUEÑA ESCALA EN GUATEMALA”

En Guatemala la Fundación Solar ha impulsado e implementado el uso de pequeñas centrales hidroeléctricas, que aprovechan la energía cinética y potencial que le generan los ríos del país centro americano. El uso de estas pequeñas centrales se ve beneficiado por el potencial hídrico de Guatemala, produciendo el 49% de su energía a base de sus recursos hídricos, si bien no cuentan con grandes cadenas montañosas que provean de altura a los ríos utilizados.

El uso de este sistema le ha permitido a la Fundación Solar llevar energía eléctrica a lugares aislados y deprimidos de Guatemala, siendo un sistema de fácil instalación y de muy económico mantenimiento.

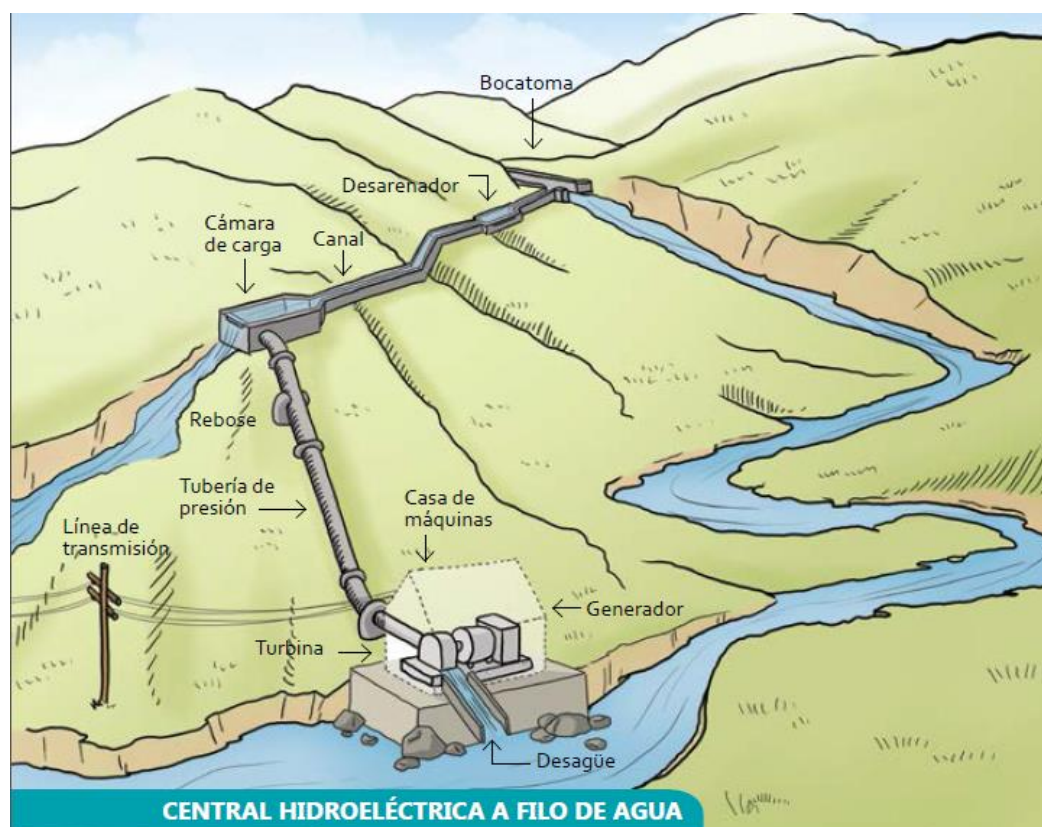
Los principios básicos de este sistema son los mismos de las hidroeléctricas convencionales, pero como lo indica el nombre, con dimensiones menores. Existen distintos tipos de hidroeléctricas de pequeña escala, y según el escogido, se pueden generar entre 10 y 100.000 kilovatios de potencia. Los equipos y las dimensiones del sistema requerido, varían según las especificaciones solicitadas o la potencia y cantidad de usuarios que se pretende abastecer.

La Fundación Solar estimo en 887.500 USD el costo de la construcción de la micro central hidroeléctrica de Yalambojoch, en Huehuetenango, al norte de Guatemala, siendo estos unos costos muy bajos a razón de la población servida, que es de 1304 personas, distribuidos en 240 casas, un aserradero y un invernadero, contando con un servicio que no produce ningún tipo de contaminante.

Los beneficios de la utilización de hidroeléctricas de pequeña escala comienzan al no tener que utilizar combustibles fósiles ni para su construcción, operación o mantenimiento, ya que su fuente de energía es 100% renovable y limpia. Al tratarse de sistemas pequeños y simples, los costos de operación y mantenimiento son muy bajos, a su vez que se necesita poco personal para su utilización. Según los diseños, la vida útil de una central hidroeléctrica de pequeña escala puede oscilar entre 35 y 150 años.

Uno de los beneficios que más interesan a la hora de considerar este sistema como alternativa para la eco – región de La Mojana, es que no se necesitan de ríos caudalosos o de corrientes abundantes para hacer funcionar la turbina del generador, ni es menester contar con grandes caídas, ya que el sistema utiliza una cámara de carga, la cual le da al agua la energía cinética necesaria para el movimiento de la turbina.

Figura 4. Esquema general de las hidroeléctricas a pequeña escala implementadas en Guatemala



Fuente: Fundación Solar de Guatemala. Centrales hidroeléctricas de pequeña escala, la experiencia de la Fundación Solar en Guatemala, Enero de 2013. [En línea]. [Citado el 14 de septiembre de 2015]. Disponible en Internet: <http://www.fundacionsolar.org.gt/wp-content/uploads/2014/01/06-Centrales-Hidroel+%C2%AEctricas-peque+%C2%A6a-escala.pdf>.

En la Figura 4 puede observarse el esquema general del funcionamiento de la central hidroeléctrica a filo de agua, en esta, se puede observar cada uno de los elementos estructurales que conforman el sistema para poder generar la electricidad. Sus componentes son: bocatoma, desarenador, canal, cámara de carga, tubería de presión, casa de máquinas, turbina, generador y línea de transmisión.

4.5 “ENERGÍA EÓLICA EN EL ISTMO DE TEHUANTEPEC: DESARROLLO, ACTORES Y OPOSICIÓN SOCIAL”

El uso de la energía eólica es por muchos bien conocido, es el recurso renovable más utilizado alrededor del mundo y del cual se basan muchas regiones para abastecerse de energía eléctrica, por tanto cabe resaltar su importancia y su posible implementación. La energía eólica aprovecha la energía cinética del viento para producir movimiento dentro de un aerogenerador.

La energía eólica es, en términos prácticos, inagotable, ya que se provee de las corrientes de aire circundantes y hace del sistema eólico de barata manutención y de eficientes resultados.

La forma más común de aprovechar la energía eólica es mediante la utilización de molinos de viento, los cuales están sujetos a aerogeneradores, que cumplen la función de generar la energía eléctrica. Haciendo necesario que se cuente con una cantidad considerable de molinos para poder extraer la cantidad de energía necesaria para abastecer una gran población.

En México, el Istmo de Tehuantepec, se proyecta como el sitio idóneo para centrales eólicas, contando con buenas corrientes de viento, cosa que lo provee de un gran potencial eólicoenergético, por tanto ya se han realizado proyectos para la generación de energía con energía eólica, y es donde se tiene proyectado seguir utilizando este tipo de energía.

“Los parques eólicos de Oaxaca ya producen más de 2500 MW de energía, y se planea llegar a los 3.662 MW”⁶, los cuales ya fueron autorizados por la Comisión Reguladora de Energía de México. Los principales responsables de llevar a cabo la aprobación y construcción de estos proyectos han sido las empresas privadas, los entes gubernamentales y la población que se puede ver beneficiada por este nuevo método de generación de energía.

Una de las dificultades que se han encontrado con el desarrollo de centrales y parques eólicos en el sur de México, ha sido la afectación medio ambiental que se produce tras la instalación de los molinos de viento, si bien la generación de energía es completamente limpia y no se producen desechos de ningún tipo, las estructuras necesarias para esto pueden afectar los ecosistemas de aves y plantas, ya que muchas aves tienden a estrellarse contra las aspas del molino o con la misma torre, por tanto se hace necesario tener estudios previos de la afectación que se tendrá que realizar, frente al beneficio generado por la generación de energía.

En los últimos años el coste de la energía eólica ha venido disminuyendo, ya que cada vez se hace más habitual recurrir a ella como método de generación de energía. Se tiene constancia que el aerogenerador constituye el mayor de los costos, y que la instalación entera del molino es un proceso tedioso y costoso,

⁶ SUAREZ, SERGIO; LEÓN, GABRIEL. Energía eólica en el istmo de Tehuantepec: desarrollo, actores y oposición social, Julio de 2014. [En línea]. [Citado el 16 de septiembre de 2105]. Disponible en internet: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030170361470879X>.

pero a partir de la década del 2000 el coste de la esta energía es igual o inferior a la generación de energía tradicional en algunas partes de Europa y Estados Unidos, haciendo notar el gran potencial que se tiene en la energía eólica.

4.6. “MODELADO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA CONJUNTO DE ENERGÍA SOLAR Y EÓLICA PARA ANALIZAR SU DEPENDENCIA DE LA RED ELÉCTRICA”

En algunas partes del mundo pocas veces se tienen las condiciones óptimas para optar por un solo método de generación de energía, ya sean limitantes del tipo geográfico o económico, lo que hace que contar con un sistema de generación de energía limpio y de uso de recursos renovables se convierta en algo cercano a lo imposible. Además que muchas veces solo los sistemas de generación de energía tradicionales son los que pueden llegar a suplir la demanda de energía que los usuarios acusan, demanda que crece a pasos agigantados cada vez más.

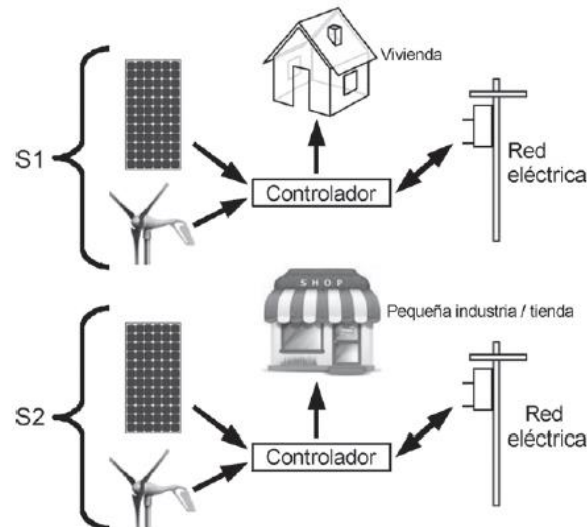
Así que lo que se plantea es la conjunción de dos sistemas de generación energía que son limpios y sustentables, el uso de dos energías inagotables, unidas a su vez a la red de energía local, logrando un sistema unión que ayuda a suplir las demandas de potencia. Se tiene por un lado la energía solar, proveniente de los rayos del sol, y la energía eólica, que aprovecha las corrientes de viento, dos energías cuyo aprovechamiento no genera ningún tipo de desechos, siendo energías limpias y renovables.

El modelamiento se hace combinando los programas de Matlab y Simulink, tomando como referencia y caso de estudio un grupo de casas o una pequeña industria, usando sistemas renovables a pequeña escala y situados cerca al usuario. Se toman como base los paneles fotovoltaicos y los aerogeneradores de pequeña escala, siendo estos los sistemas que refuerzan la red de energía existente, todo ello modelado en una plataforma donde se estudian su dependencia de la red, y su capacidad de generación autónoma de energía, siendo capaces de generar la energía suficiente para abastecer una vivienda por ellos mismos a ciertas horas del día.

Esta simulación también permite dimensionar el tamaño y cantidad de recursos que se hacen necesarios para contar con un sistema híbrido eficiente, y que en realidad si aporte una cantidad de energía como para considerarlo que su uso y la inversión de su implementación son justificables.⁷

⁷ M. MIKATI, M. SANTOS, C. ARMENTA. Modelado y Simulación de un Sistema Conjunto de Energía Solar y Eólica para Analizar su Dependencia de la Red Eléctrica, Septiembre de 2012. [En línea]. [Citado el 16 de septiembre de 2015]. Disponible en Internet:

Figura 5. Organización y conexión ideal para el modelo combinado de energías renovables



Fuente: M. MIKATI, M. SANTOS, C. ARMENTA. Modelado y Simulación de un Sistema Conjunto de Energía Solar y Eólica para Analizar su Dependencia de la Red Eléctrica, Septiembre de 2012. [En línea]. [Citado el 16 de septiembre de 2015]. Disponible en Internet: <http://ezproxyucdc.ucatolica.edu.co:2052/science/article/pii/S1697791212000404>.

En la Figura 5 se muestra los generadores de energía que conforman un subsistema, el cual estará conectado posteriormente a la red eléctrica. Allí se analizan dos situaciones en la demanda de la energía, que son: vivienda (s1) y pequeña industria o comercio (s2).

4.7. “MODELADO ENERGÉTICO DE CONVERTIDORES PRIMARIOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES MARINAS”

En los océanos el hombre tiene un gran elemento aprovechable para la generación de energía eléctrica, teniendo múltiples factores que pueden ser usados para generar energía limpia y sustentable. La energía marina hace referencia a la energía transportada por los océanos, las olas, la salinidad y las corrientes marinas son algunas de las formas de utilizar el gran potencial energético que se aloja en los mares.

Este modelado hace gala de estudiar con detalle el potencial de estas energías renovables marinas, cosa que ayuda a futuros dimensionamientos de dispositivos y a la escogencia de lugares propicios para la implementación de estos sistemas. Siendo las mareas y el oleaje los factores de mejor percepción, se hace principal hincapié en los métodos en los que puede ser captada esta energía y en los mecanismos necesarios para poder transformar la energía cinética transportada por los mares, en energía eléctrica.

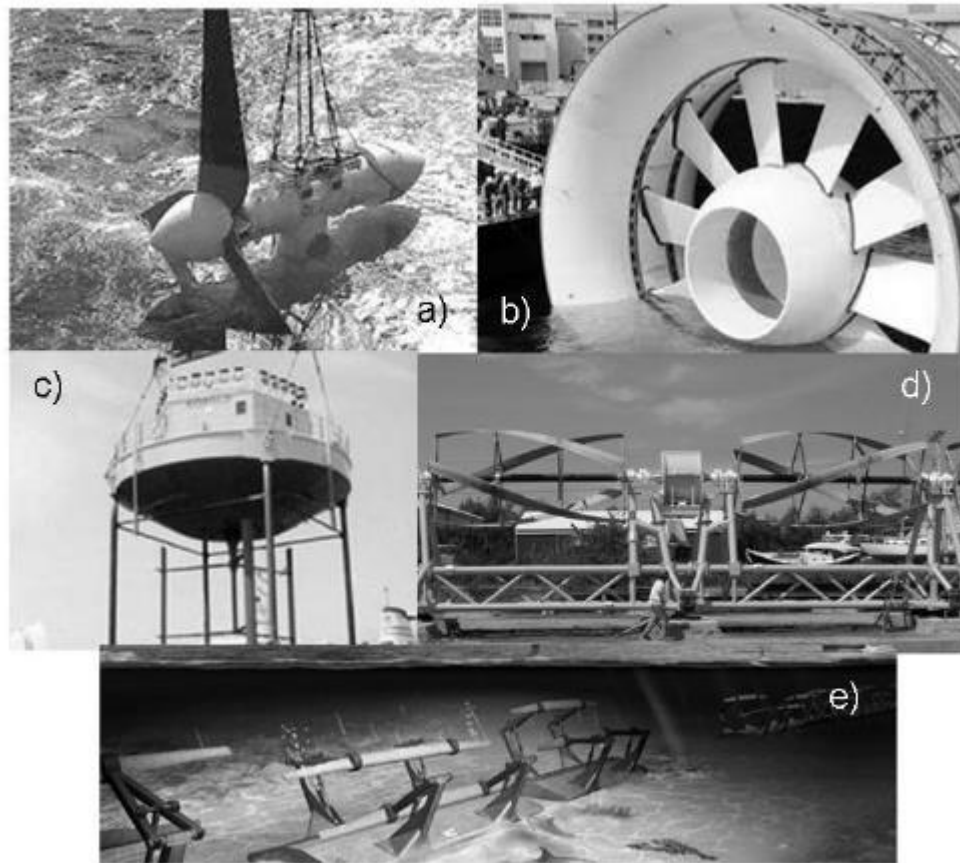
Aunque el oleaje y las corrientes marinas son los tipos de energía renovable marinos más estudiados y utilizados, también se puede tener en cuenta los factores adicionales que se pueden aprovechar, ya que el océano es un ente tan vasto, cuenta con múltiples formas de poder obtener energía, ya que incluso con los cambios de temperatura del agua se es capaz de generar energía eléctrica.

El potencial de las energías renovables marinas se presta como uno de los de mayor proyección a la hora de contar con sistemas de generación de energía limpia y sustentable, si bien la implementación de estos sistemas puede llegar a ser costoso, se evalúa la eficiencia de la producción de energía y su potencial energético como suficiente para suplir los gastos de inversión iniciales. Por ello en este modelo se analiza la utilización de rotores marinos, que trabajan aprovechando el flujo de las corrientes marinas, además de tener sistemas que contemplan modelos híbridos usando también el oleaje, que producen energía mediante el uso de turbinas de generación.

Las simulaciones de este modelo fueron de carácter netamente teórico, y no se ha llegado a hacer modelación dentro del medio marino. Aunque los resultados son bastante prometedores, y dan pie a considerar a las energías renovables marinas como un medio más que considerable, teniendo como máximo la generación de 92 kW de potencia para un sistema combinado de aprovechamiento de las olas de más de tres metros y de las corrientes marinas.⁸

⁸ LÓPEZ, AMABLE; NÚÑEZ, LUIS RAMÓN; SOMOLINOS, JOSÉ ANDRÉS. Modelado energético de convertidores primarios para el aprovechamiento de las energías renovables marinas, Julio de 2014. [En línea]. [Citado el 15 de septiembre de 2015]. Disponible en internet: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1697791214000120>.

Figura 6. Ejemplos y modelos de turbinas para la utilización de las corrientes marinas y el oleaje



Fuente: LÓPEZ, AMABLE; NÚÑEZ, LUIS RAMÓN; SOMOLINOS, JOSÉ ANDRÉS. Modelado energético de convertidores primarios para el aprovechamiento de las energías renovables marinas, Julio de 2014. [En línea]. [Citado el 15 de septiembre de 2015]. Disponible en internet: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1697791214000120>.

En la Figura 6 se aprecian algunos dispositivos típicos para el aprovechamiento de las corrientes marinas. De izquierda a derecha y de arriba abajo, Atlantis (a), Ocean currets (b), Enermar (c), ORPC (d), Pulse tidal (e).

Conclusión

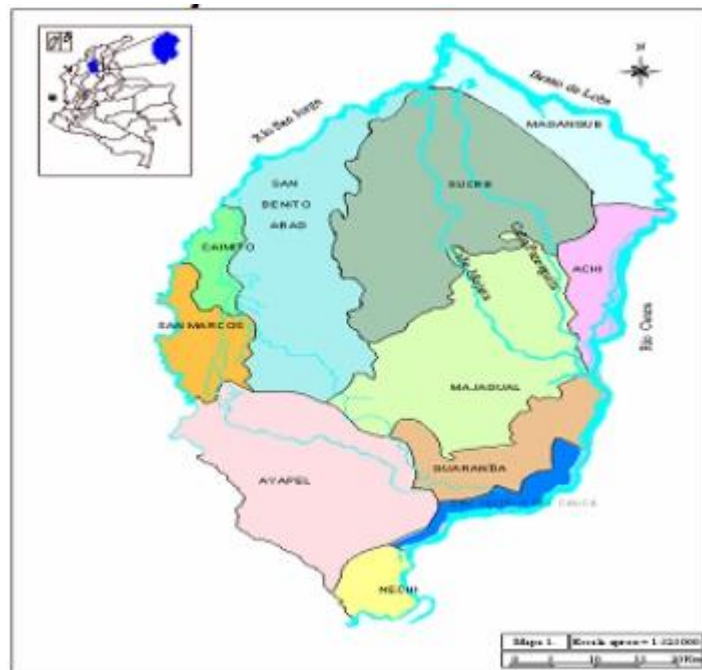
La mayoría de países en desarrollo se ven afectados por la insuficiencia de fuentes de energía renovable, muchas veces, no se destinan los recursos necesarios para los estudios de viabilidad en las zonas en las que se cuenta con una escasez de energía pero que cuenta con los elementos o recursos para poder generar fuentes de abastecimiento eléctrico. En el país se han creado e implementado diferentes leyes para la generación de energía eléctrica, con las

cuales se regula la aplicación de dichas leyes, se observa por parte de algunos privados el interés de generar energía para el abastecimiento de diferentes poblaciones por medio de mecanismos que se están estudiando y con los cuales se está innovando para su ejecución en diferentes regiones a lo largo del territorio nacional. Principalmente el medio de obtención de energía eléctrica se da por parte de combustibles fósiles, generando así, elevaciones de dióxido de carbono en la atmosfera, con la implementación de energías renovables a pequeña escala, se favorecerá al medio ambiente y se darán soluciones a pequeñas poblaciones que se vean obligadas a satisfacer una pequeña demanda de energía.

5. CARACTERIZACIÓN DE LA ECO – REGIÓN DE LA MOJANA Y MUNICIPIO PARA CASO DE ESTUDIO

La Mojana es una eco-región ubicada en la zona norte del país, que se encuentra en cuatro de los principales Departamentos del Caribe colombiano, los cuales son Antioquia, Bolívar, Córdoba y Sucre. En su área de “aproximadamente 500.000 hectáreas”⁹ contiene once municipios, Megangué, Achí y San Jacinto del Cauca, estos en el departamento de Bolívar, Nechí en Antioquia, Ayapel en Córdoba, San Marcos, Guaranda, Majagual, Sucre, Caimito y San Benito Abad, estos en el departamento de Sucre.

Figura 7. División administrativa de La Mojana



Fuente: AGUILERA, MARÍA. La Mojana: Riqueza natural y potencial económico, Octubre de 2004. [En línea]. [Citado el 25 de julio de 2015]. Disponible en Internet: http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/DTSER-48.pdf.

La región se distingue por sus amplios recursos hídricos, además de contar con un sistema de ciénagas, ríos y arroyos más que formidable. Está delimitado, como se muestra en la Figura 7, por el río Cauca al oriente, al occidente con el río San Jorge y la ciénaga de Ayapel, al nororiente con un brazo del río Magdalena y al sur con la serranía de Ayapel.

⁹ NEOTROPICOS.ORG. La región de La Mojana, Abril de 2011. [En línea]. [Citado el 4 de agosto de 2015]. Disponible en internet: <http://www.neotropicos.org/ZenuesWEB/mojana.html>.

El gran complejo de humedales y ciénagas que cubren gran parte de La eco-región de La Mojana componen un sistema de amortiguación y regulación de inundaciones, además de proveer del recurso hídrico a las poblaciones y las grandes fincas ganaderas.

La topografía que se presenta en gran parte del territorio de La Mojana es en su mayoría plana, tiene una cota superior de “36 metros sobre el nivel del mar, y una cota mínima aproximadamente 16 metros sobre el nivel del mar”¹⁰. Las ciénagas y llanuras son los escenarios predominantes en La Mojana, y por el alto porcentaje de agua que se encuentran, los playones son una constante en el paisaje, zonas que permanecen anegadas durante siete meses al año.

Los suelos de La Mojana se componen en gran parte por arenas profundas que se alternan con arcilla y limo. Debido al gran flujo de agua y las amplias corrientes que por esta zona discurren, el desplazamiento de sedimentos hace que los conglomerados de sedimentos formen amplias capas en las riberas de los ríos y corrientes de agua. Esta deposición de sedimentos y el suelo natural hace que la fertilidad de los suelos sea de moderada a alta, aunque en algunas épocas del año se reduce considerablemente debido a los suelos anaeróbicos, y en otras partes por las lluvias insuficientes.

La temperatura en la eco-región de La Mojana es el representativo de la región Caribe de Colombia, con un clima tropical cálido, y sobre todo, bastante húmedo, con temperaturas constantes que no se alejan de los 28°C. Los meses más lluviosos van de agosto a octubre. Las precipitaciones anuales varían entre los 1.000 mm en el municipio de Megangué y 4.500 mm en Nechí y Achí. La humedad de la región es muy variable, pero los valores anuales suelen estar entre el 88.9% y el 78%.

¹⁰ AGUILERA, MARÍA. La Mojana: Riqueza natural y potencial económico, Octubre de 2004. [En línea]. [Citado el 25 de julio de 2015]. Disponible en Internet: http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/DTSER-48.pdf.

Ecosistemas	Area (Hectáreas)	%	Ubicación	Sistemas de producción
Hídrico	170.211	32,9	Zona norte	Pesca, caza y ganadería trashumante.
Transicional	91.486	17,7		Agrícola, pecuaria, pesca y caza.
	44.237		Parte oriental	
	12.236		Sobre el río Cauca	
	32.036		Sobre el río San Jorge	
Terrestre	255.186	49,4	Centro-sur	Agrícola, pecuario, mixtos.
Total	516.883	100,0		

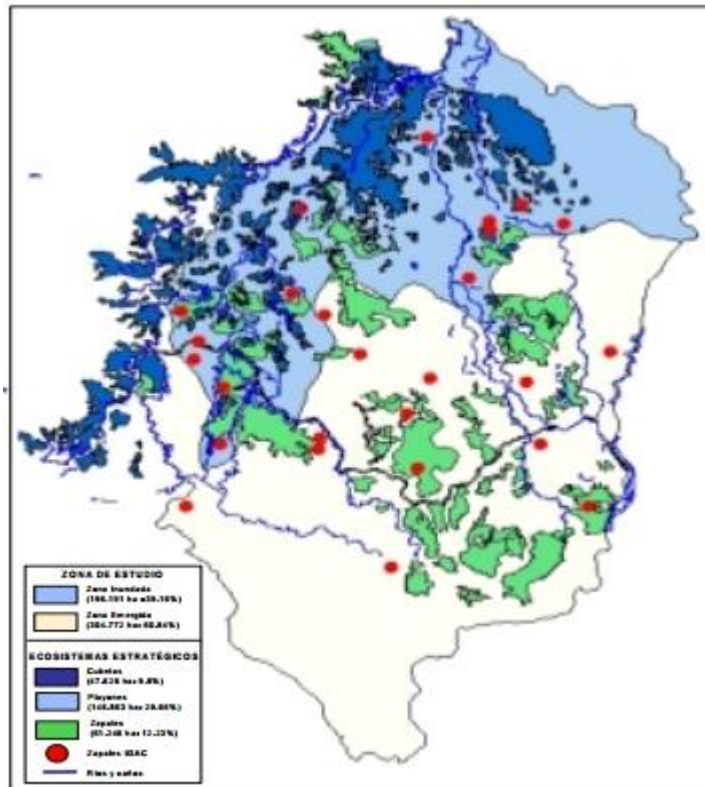
Tabla 1. Área de los ecosistemas de La Mojana, su ubicación y sistemas de producción

Fuente: AGUILERA, MARÍA. La Mojana: Riqueza natural y potencial económico, Octubre de 2004. [En línea]. [Citado el 25 de julio de 2015]. Disponible en Internet: http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/DTSER-48.pdf.

Como se ve en la Tabla 1, el ecosistema hídrico es el predominante en la eco-región de La Mojana, ocupando un 32.9% de toda la zona, siendo también esto concordante con la gran industria ganadera instalada en esta zona, ya que las grandes llanuras y pastizales que se alzan en La Mojana, enriquecidos por los abundantes recursos hídricos, permiten que muchas haciendas ganaderas se asienten en la zona, además de servir como importante fuente de alimento, siendo la actividad pesquera una de las áreas más productivas y de mayor sustento en la región.

La inmensa variedad ecológica y medioambiental de La eco-región de La Mojana se ve reflejada en sus ciénagas, ríos, caños, arroyos y bosques, que convierten a La Mojana en albergue para gran variedad de flores y animales, además de servir como parada y refugio para especies migratorias de peces y aves.

Figura 8. Humedales y recursos hídricos de La Mojana



Fuente: AGUILERA, MARÍA. La Mojana: Riqueza natural y potencial económico, Octubre de 2004. [En línea]. [Citado el 25 de julio de 2015]. Disponible en Internet: http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/DTSER-48.pdf.

En la Figura 8 se aprecian en detalle la repartición de los recursos y sistemas hídricos en la zona de La Mojana, siendo estos los humedales, ciénagas, playones y bosques húmedos, haciendo especial hincapié en este recurso, ya que se presta como una potencial fuente de energía, por su abundancia y sus grandes caudales y corrientes.

Los tres principales ríos de La Mojana, son los ríos Magdalena, San Jorge y Cauca, siendo estos tres los más influyentes cuerpos hídricos, encontrándose estos tres en el gran delta hídrico que confluye al norte de la zona. Cada uno de estos tres ríos contiene características diferentes que pueden prestarse o no a un sistema de generación de energía en específico, por tanto se deben tener en cuenta ciertos aspectos que permitan identificar la viabilidad en la utilización de alguno de estos tres importantes ríos.

El río Magdalena, en su cuenca de del Bajo Cauca, que comprende a partir de Puerto Valdivia, hasta su desembocadura en el océano Atlántico, y es la cuenca correspondiente a La Mojana, tiene una longitud de 230 kilómetros, un área de

drenaje de 9.077 km², y un caudal promedio de 2.364 m³/s.¹¹ Si bien en su parte correspondiente a La Mojana el transporte fluvial a través del río Magdalena se encuentra muy limitado, siendo utilizado principalmente en el municipio de Megangué, este río es de gran importancia para diversos corregimientos que viven de pescar en sus aguas. El perfil del río varía constantemente, y su ancho puede estar entre los 34 y 125 metros de ancho.

El río Cauca por su parte tiene una confluencia un tanto menor en esta área, con una longitud en La Mojana de 186 kilómetros, con caudales que varían según la temporada de lluvias que en el momento este afectando la zona, con valores entre 1.500 m³/s a 2.431 m³/s, pero los valores pico medidos en las distintas estaciones muestran 4.500m³/s. El río Cauca es el que genera la mayor parte de las inundaciones que se presentan en la eco-región de La Mojana, siendo un gran corredor de los sedimentos y su gran margen de erosión de las riveras. Este río es el mejor cuerpo de agua para la navegación que se encuentra en la región junto al caño Mojana.

Por su parte el río San Jorge tiene una longitud de 368 kilómetros, y junto a los ríos Cauca y Magdalena, compone el sistema hídrico más importante de la región, teniendo caudales medios que pueden variar entre los 27 m³/s a los 697 m³/s. Al igual que el río Cauca, el río San Jorge tiene amplias zonas de inundación que sobre pasan los 6.000 km².

En la región se observa que su dependencia económica data principalmente de la explotación del suelo y del agua, ejerciendo actividades de agricultura y ganadería. En general muchas de las familias en la región no cuentan con terrenos propios para la práctica de estas actividades, por lo tanto, en muchos casos se dedican a otro tipo de actividades como la pesca, la caza y la silvicultura

Sistema	Hectáreas	Participación %
Agrícola	50.069	10,0
Mixtos agrícola y pecuario	176.320	35,4
Pecuario	213.003	42,7
Pesca y caza	58.918	11,8
Total	498.310	100,0

Tabla 2. Principales Sistemas Productivos, 1998

Fuente: AGUILERA, MARÍA. La Mojana: Riqueza natural y potencial económico, Octubre de 2004. [En línea]. [Citado el 25 de julio de 2015]. Disponible en Internet: http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/DTSER-48.pdf.

¹¹ TORRES, PILAR; PEÑARANDA, GABRIEL. Regionalización de caudales mínimos por métodos estadísticos de la cuenca del Magdalena Cauca, Noviembre de 2006. [En línea], [Citado el 27 de octubre de 2015]. Disponible en internet: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14188/T41.06%20T636r.pdf?sequence=1>

En la Tabla 2 se puede observar los diferentes sistemas productivos que se dan en la región, con su respectivo valor de área (Hectáreas), con respecto a la utilización del terreno para dicha práctica. En donde se da una participación por sistema dando el sistema pecuario como el de mayor participación y el agrícola como el de menor participación.

En la Mojana se siembran cultivos comerciales (arroz, sorgo, maíz, palma africana, algodón).

Municipios	Caña panelera		Maíz		Yuca		Plátano		Name		Arroz	
	1960	2003	1960	2003	1960	2003	1960	2003	1960	2003	1960	2003
Achí	138	83	1.132	1.890	121	300	657	230	3	0	0	9.000
Magangué	12	0	709	1.320	638	900	456	180	8	0	0	550
San Jacinto del Cauca	0	0	0	560		100	0	60	0	0	0	13.900
Ayapel	43	0	1.258	850	327	280	0	0	4	0	5.063	11.150
Caimito	17	0	363	40	105	80	0	5	1	0	433	0
Guaranda	0	15		200		12	0	140		0	0	0
Majagual	193	65	294	120	18	120	455	292	0	0	0	0
San Benito Abad	6	0	43	260	146	145	128	0	2	0	0	0
Sucre	125	29	189	255	18	350	222	84	0		0	0
San marcos	10	84	429	115	191	80	0	60	17	70	604	0
Total	544	276	4.417	5.610	1.564	2.367	1.918	1.051	35	70	6.100	34.600

Tabla 3. Área sembrada con los principales cultivos, 1960 y 2003.

Fuente: AGUILERA, MARÍA. La Mojana: Riqueza natural y potencial económico, Octubre de 2004. [En línea]. [Citado el 25 de julio de 2015]. Disponible en Internet: http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/DTSER-48.pdf.

En la Tabla 3 se observan los datos de varios municipios con sus respectivos cultivos, más del 70% de la población vive con la economía de subsistencia, algunos agricultores aun trabajan con herramientas de escasa o nula tecnología, muchos de ellos no dan el manejo adecuado a los terrenos en los que se trabaja y se dan malos manejos en la manipulación de algunos químicos para el desarrollo de dicha actividad.

Ya en el sector pecuario y ganadero se observa una producción de especies menores (aves, cerdos, ovinos, entre otros), su actividad ganadera ya es de tipo extensivo, de doble propósito (cría y leche). En la población ganadera se da una estimación de 260.000 cabezas, las cuales es ven concentradas en un área de 213.000 hectáreas. Se estima que esta actividad ganadera utiliza casi un 90% del área total de La Mojana, es decir, unas 470 mil hectáreas, donde pastan unas 535 mil cabezas de ganado.

Ahora la segunda actividad considerada en la región después de la agropecuaria, es la producción pesquera, se considera que alrededor del 36% de la población ejerce esta labor en los humedales.

La mejor época de pesca se da entre los meses de enero y abril. La pesca que allí se practica es artesanal, las condiciones de la comunidad que desarrolla esta

práctica son muy básicas, escasean de buenas herramientas, conocimientos y buenas metodologías para el desarrollo de la misma.

Años	Magangué	San Marcos	Ayapel	Total
	Toneladas			
1990	4.922	2.500	1.358	8.780
1991	3.475	2.051	1.027	6.553
1992	2.182	1.374	852	4.408
1993	2.995	1.283	343	4.621
1994	8.190	1.208	505	9.903
1995	1.538	790	530	2.858
1996	2.240	663	784	3.687
1997	2.596	580	412	3.588
1998	951	583	526	2.060
1999	4.731	1.267	1.270	7.268
2000	3.330	2.004	4.355	9.689
2001	1.378	1.290		2.668

Tabla 4. Movilización pesquera en tres municipios.

Fuente: AGUILERA, MARÍA. La Mojana: Riqueza natural y potencial económico, Octubre de 2004. [En línea]. [Citado el 25 de julio de 2015]. Disponible en Internet: http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/DTSER-48.pdf.

En la Tabla 4 se observa la movilización de pescado que se da en tres municipios de la región, evaluando en toneladas la obtención de pescado anualmente, es posible evaluar una disminución en la captación del recurso con el paso de los años. En el proceso de comercialización del producto se llega a que el pescador en el valor final del producto, percibe un porcentaje menor o igual al 25 %.

Por otro lado la fauna es una fuente importante de alimentos para los pobladores de la región.

Especie	Unidades	Valor Unitario (\$)	Valor total (Millones de \$)
Hicotea	1.100.000	2.500	2.750
Pisingo	10.000	1.200	12
Babilla	65.000	2.000	130
Ponche	1.000	47.500	48
Huevos iguana	2.000.000	25	50
Pieles babilla	50.000	5.000	250
Total			3.240

Tabla 5. Especies de fauna comercializada, 2001

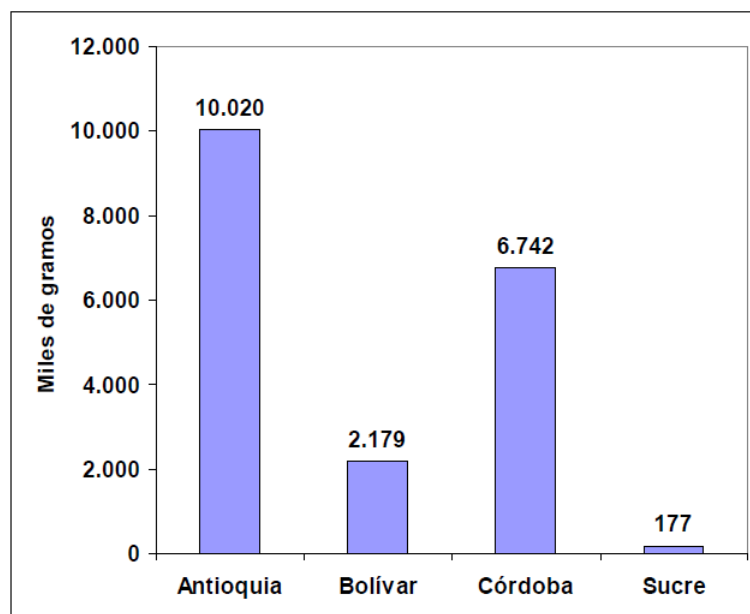
Fuente: AGUILERA, MARÍA. La Mojana: Riqueza natural y potencial económico, Octubre de 2004. [En línea]. [Citado el 25 de julio de 2015]. Disponible en Internet: http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/DTSER-48.pdf.

En la Tabla 5 se muestran las especies que se comercializan en la región mostrando su valor comercial, en donde la más comercializada llega a ser los huevos de iguana. Se dan en general tres mil doscientos cuarenta millones de pesos en la comercialización total de las especies allí mencionadas.

En la región no se encuentran grandes bosques naturales, como para que sea esta una gran actividad que genere recursos para la zona y active la economía de la misma. Las pequeñas extensiones de bosques y especies maderables son apenas suficientes para satisfacer la demanda interna de la región.

La minería se ejecuta principalmente en las partes altas de las cuencas hidrográficas, para el oro de aluvión y para el oro de filón se da en los cuerpos cenagosos, las fuentes hídricas en las cuales se llevan a cabo este tipo de actividad son el río Magdalena, el río San Jorge y en el río Cauca.

Figura 9. Producción de oro en los cuatro departamentos pertenecientes a La Mojana, 2001



Fuente: AGUILERA, MARÍA. La Mojana: Riqueza natural y potencial económico, Octubre de 2004. [En línea]. [Citado el 25 de julio de 2015]. Disponible en Internet: http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/DTSER-48.pdf.

En el Figura 9 se muestra la producción de oro en cuatro departamentos que tienen relación con La Mojana, encontrando que Antioquia es el mayor productor de oro de la región, junto con los demás departamentos del gráfico, estos en producen en su totalidad el 87.7% del oro que se produce a lo largo del territorio nacional.

Una importante fuente de generación de empleo para la mujer es brindada por parte de las artesanías, ellas elaboran sombreros, mochilas, bolsos, totumos, esteras y artículos que son tejidos a mano.

En la región se observa gran dificultad en cuanto a la accesibilidad, a los medios de transporte para llegar a ciertos lugares específicos, como escuelas o centros de

salud, entre otros servicios para la satisfacción de algunas de las necesidades de los habitantes de las diferentes zonas.

En la zona se combina el transporte terrestre con el fluvial, aunque estas no se ven directamente coordinadas para un óptimo funcionamiento, en época de lluvias las condiciones de estos medios de transporte se ven muy afectadas por las inundaciones de los cuerpos de agua.

Figura 10. Sistema vial del Departamento de Sucre



Fuente: INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, INVIAS. Red de Carreteras 2014. [En línea]. [Citado el 1 de noviembre de 2015]. Disponible en Internet: http://www.invias.gov.co/index.php/servicios-al-ciudadano/biblioteca-virtual/doc_download/2046-mapa-de-carreteras-pdf.

En la Figura 10 se señalan dos vías principales, la vía San Marcos-San Benito Abad y la vía San Marcos Majagual, en época de lluvias la primer vía tiene

algunas limitaciones a la hora de prestar un buen funcionamiento, mientras que la segunda vía no presta servicio, porque, resulta ser intransitable.

Por lo tanto resulta ser más práctico, eficiente utilizar el transporte fluvial, ya que, en gran parte del año se mantienen altos niveles de agua, haciendo así más fácil llegar a diferentes puntos de la región.

La cultura de la región es muy favorable pese a las condiciones a las cuales se tienen que ver enfrentados los habitantes, esto porque la población como tal ya ha generado una adaptación según sean las condiciones de la zona, ya sea por crecientes o sequias, ya están preparados de cierta manera para reaccionar ante estas eventualidades.

Municipio	% Tasa crecimiento intercensal 1985-1993 total**			Estimación población 1993*	% Tasa crecimiento intercensal total 1993-2005**			Estimación población 2005*
	Total	Cabecera	Resto		Total	Cabecera	Resto	
Nechí	3,0	5,0	1,4	13.598	3,9	4,4	3,3	20.668
Achí	3,8	6,7	3,4	44.297	-7,1	-4,1	-7,6	19.644
Magangué	3,4	2,2	5,0	115.521	0,5	2,4	-2,3	121.481
San Jacinto del Cauca	-	-	-	0	-	-	-	10.935
Ayapel	0,2	2,3	-0,9	43.068	-0,1	2,3	-1,9	42.542
Caimito	0,9	1,4	0,7	9.836	1,1	1,3	1,0	11.048
Guaranda	1,9	18,1	-2,0	13.267	1,4	2,7	0,8	15.498
Majagual	2,3	4,6	1,7	29.889	0,5	3,0	-0,4	31.657
San Benito Abad	2,0	8,4	-4,9	21.756	0,5	-8,1	7,6	22.972
San Marcos	2,6	3,2	1,7	41.639	1,8	1,4	2,4	50.679
Sucre	1,7	19,5	-15,7	24.627	-0,8	-9,1	11,0	22.463
Total				357.498				369.587

Tabla 6. Estimaciones de población DANE 1993 – 2005 y Tasa de crecimiento intercensal

Fuente: DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. Plan integral de ordenamiento ambiental y desarrollo territorial de La Mojana, Abril de 2012. [En línea]. [Citado el 14 de octubre de 2015]. Disponible en Internet: <http://www.planesmojana.com/documentos/estudios/27.plan%20integral%20de%20ordenamiento%20ambiental%20mojana.pdf>.

En la Tabla 6 se muestran los diferentes municipios de La Mojana en la cual se encuentran un total de 369.587 habitantes, estimación para el 2005, a lo largo de la región, siendo Magangué, Ayapel, Majagual, San Marcos y Achí, los principales puntos de concentración de habitantes. Su tasa de crecimiento oscila entre 1.5 – 2%.

Municipio	Personas en NBI (%)	Personas en miseria (%)	Viviendas inadecuadas (%)	Viviendas con servicios inadecuados (%)	Viviendas con hacinamiento crítico (%)	Viviendas con niños en edad escolar que no asisten a la escuela (%)	Viviendas con alta dependencia económica (%)
Nechí	68,13	42,20	52,47	30,93	18,94	8,16	23,34
Achí	80,74	60,70	71,29	49,26	30,62	7,23	26,67
Magangué	54,39	30,88	33,44	16,99	28,36	7,36	20,04
San Jacinto del Cauca	90,43	64,19	67,63	69,80	18,78	4,49	30,02
Ayapel	61,55	30,72	41,02	9,11	21,41	10,36	30,27
Caimito	68,06	35,76	42,25	13,65	16,09	9,45	38,06
Guaranda	76,94	43,48	58,39	19,12	29,75	1,97	28,72
Majagual	73,96	41,35	54,23	17,30	25,56	5,49	32,86
San Benito Abad	67,06	37,35	43,74	15,63	19,37	9,65	39,27
San Marcos	58,12	30,52	30,01	13,11	26,71	6,42	29,62
Sucre	80,30	45,16	71,72	16,53	15,85	3,21	37,09
Total núcleo Mojana	64,47	36,96	44,09	19,67	24,72	7,12	27,64

Tabla 7. La Mojana, indicadores de necesidades básicas insatisfechas (NBI) y de miseria.

Fuente: DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. Plan integral de ordenamiento ambiental y desarrollo territorial de La Mojana, Abril de 2012. [En línea]. [Citado el 14 de octubre de 2015]. Disponible en Internet: <http://www.planesmojana.com/documentos/estudios/27.plan%20integral%20de%20ordenamiento%20ambiental%20mojana.pdf>.

En la Tabla 7 se muestra que hay varios indicadores críticos en la región, la miseria, vivienda inadecuada, NBI compuesto, servicios inadecuados, con respecto a las zonas colindantes a esta región, se observa una gran diferencia en las estimaciones de cada uno de los indicadores evaluados, percibiendo así condiciones mucho más precarias en La Mojana. Entre las necesidades básicas insatisfechas más representativas, se destacan el hacinamiento crítico en los hogares, con una afectación del 24,7%, la mala calidad y mala construcción de las viviendas, con un 44,09%, incidiendo las viviendas mal ubicadas o construidas en materiales inadecuados o con pisos de tierra.¹²

¹² DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. Plan integral de ordenamiento ambiental y desarrollo territorial de La Mojana, Abril de 2012. [En línea]. [Citado el 14 de octubre de 2015]. Disponible en Internet: <http://www.planesmojana.com/documentos/estudios/27.plan%20integral%20de%20ordenamiento%20ambiental%20mojana.pdf>.

Cobertura Total de Energía Eléctrica					
Año: 2005					
Expresión: (Número de viviendas que cuentan con el servicio de energía/ Total de viviendas en el municipio) * 100					
Unidad: Porcentaje					
Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística					
Codigo Dan	Departament	Municipio	Área oficial KM2	Cobertura Total de Energía Eléctrica	Rango
13006	BOLIVAR	ACHI	1025	42,91	<= 70
13030	BOLIVAR	ALTOS DEL ROSARIO	304	68,35	<= 70
13042	BOLIVAR	ARENAL	459	70,54	70,1 – 90
13052	BOLIVAR	ARJONA	566	94,97	90,1 – 95
13062	BOLIVAR	ARROYOHONDO	162	92	90,1 – 95
13074	BOLIVAR	BARRANCO DE LOBA	416	71,52	70,1 – 90
13140	BOLIVAR	CALAMAR	246	94,11	90,1 – 95
13160	BOLIVAR	CANTAGALLO	870	61,46	<= 70
13001	BOLIVAR	CARTAGENA DE INDIAS (Distrito Turist	559	98,24	> 95
13188	BOLIVAR	CICUCO	132	89,78	70,1 – 90
13222	BOLIVAR	CLEMENCIA	84	95,25	> 95
13212	BOLIVAR	CORDOBA	573	95,48	> 95
13244	BOLIVAR	EL CARMEN DE BOLIVAR	900	88,66	70,1 – 90
13655	BOLIVAR	SAN JACINTO DEL CAUCA	428	40,66	<= 70

Tabla 8. Cobertura Total de Energía Eléctrica en el Departamento de Bolívar, 2005

Fuente: INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, SIGOT, DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTADIFICA. 2014

Si bien la cobertura de los servicios de energía en La eco-región de La Mojana presenta buenos registros, con el 80% de las viviendas de los núcleos rurales con conexión eléctrica, se destacan, como se aprecia en la Tabla 8, municipios como San Jacinto del Cauca donde se encuentra la menor tasa de conexión, con el 40%, y Achí con el 50% de las viviendas conectadas. Esto concuerda con el porcentaje de viviendas con servicios públicos inadecuados, que en San Jacinto del Cauca es del 69,8% y en Achí del 49,26%.

Pese a ser una zona altamente productiva, y propietaria de una gran cantidad de recursos, las fuentes de ingresos para sus pobladores son escasas, estando limitados en el acceso a los factores de producción agrícola, que es la actividad de mayor influencia, lo que genera el abandono de muchos de sus jóvenes habitantes, en busca de mejores opciones laborales en las cabeceras municipales o en ciudades como Cartagena o Sincelejo. Para el año 2004 los ingresos de los municipios pertenecientes a La Mojana se calcularon en \$121.955 millones de pesos, “los cuales el 48,2% corresponde a los tres municipios de Bolívar, el 35,3% a los seis municipios de Sucre, el 11,6% al municipio de Ayapel y el restante 4,9% al municipio de Nechí en Antioquia.”¹³

Conclusión

¹³ INCODER, DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. Estrategias para la reactivación económica y social de la región de La Mojana, Abril de 2006. [En línea]. [Citado el 5 de noviembre de 2015]. Disponible en Internet:

<http://www.incoder.gov.co/documentos/Estrategia%20de%20Desarrollo%20Rural/Pertiles%20Territoriales/AD R%20MOJANA/Otros/Conpes%203421%20La%20Mojana.pdf>.

Teniendo en cuenta toda la información recopilada, el municipio de Achí, en el departamento de Bolívar, se presta como el municipio escogido para la implementación de un sistema de generación de energía con métodos alternativos, ya que es en este municipio donde se encuentra la segunda menor tasa de conexiones a la red eléctrica, con apenas el 50% casas que cuentan con este servicio.

Figura 11. Ubicación geográfica del municipio de Achí, Bolívar



Fuente: SUÁREZ, ISABEL. Limitaciones de movilidad afectan a 16.000 personas en el municipio de Achí, suroccidente de Bolívar, Septiembre de 2014. [En línea]. [Citado el 5 de noviembre de 2015]. Disponible en Internet: <https://www.humanitarianresponse.info/en/operations/colombia/article/limitaciones-de-movilidad-afectan-16000-personas-en-el-municipio-de-ach%C3%AD>.

Además se tiene muy en cuenta que Achí se encuentra ubicado en la ribera del río Cauca, como se muestra en la Figura 11, gozando así de una vasta fuente de energía hídrica, que puede ser utilizada por alguno de los sistemas de generación de energía eléctrica que aquí se estudian. Es también importante destacar que al estar ubicado en el municipio Bolívar, se podrá contar con una financiación adecuada en caso de querer implementar el sistema, invirtiendo este departamento en 2015 “más de \$691.000 millones en obras de minas y energía.”¹⁴

El potencial energético de este municipio se acentúa si se tiene en cuenta que muchos de los sistemas de generación de energía con métodos alternativos se sustentan en el uso de las corrientes y flujos de cuerpos de agua, aprovechando

¹⁴ DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. Inversión social y obras de infraestructura, prioridades del Plan de Desarrollo para Cartagena y Bolívar, Enero de 2015. [En línea]. [Citado el 5 de noviembre de 2015]. Disponible en Internet: <https://www.dnp.gov.co/Paginas/Inversi%C3%B3n-social-y-obras-de-infraestructura,-prioridades-del-Plan-de-Desarrollo-para-Cartagena-y-Bol%C3%ADvar.aspx>.

entonces que el municipio se encuentra en la orilla del río Cauca, para así implementar un sistema que pueda aprovechar esta fuente.

El río Cauca a la altura del municipio de Achí presenta “velocidades que varían entre 0,73 y 1,08 m/s, y caudales que van entre 531 m³/s y 1557 m³/s”¹⁵, lo que quiere decir que la capacidad del río de convertir su corriente en energía cinética es más que adecuada.

¹⁵ RAMÍREZ, C.A., GARCÍA J.L. Estudios de caracterización y simulación del río Cauca para fines de manejo y aprovechamiento, Marzo de 2007. [En línea]. [Citado el 5 de noviembre de 2015]. Disponible en Internet: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/agua2003/carac.pdf>.

6. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA

ARTÍCULO O SISTEMA	TIPO DE ENERGÍA	FUENTE DE ENERGÍA	ESTRUCTURA	CAPACIDAD DE GENERAR ELECTRICIDAD	COSTO DE INVERSIÓN	COSTOS DE MANTENIMIENTO	VIDA ÚTIL
AFRICA - SMALL HYDROPOWER	Renovable	Ríos, arroyos	Vertedero, Tanque de sedimentación, tubería forzada, turbina, Sistema de transmisión de potencia mecánica al generador, Generador, Sistema de transmisión de electricidad.	1 MW - 10 MW	US \$ 1,000 a US \$ 20,000 POR kW (INTERMEDIO)	BAJO	50 AÑOS
MICRO TURBINA	Renovable	Ríos, arroyos	Turbina, generador, sistema de transmisión de electricidad	HASTA 100 KW	US \$ 500 POR Kw (BAJO)	BAJO	5 AÑOS
CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE PEQUEÑA ESCALA	Renovable	Ríos, arroyos	Bocatoma, desarenado, canal, cámara de carga, rebose, tubería de presión, turbina, generador, casa de máquinas, línea de transmisión, desagüe.	91 KW	US \$ 887,500 (ALTO)	INTERMEDIO	35 - 150 AÑOS
ENERGÍA EOLICA	Renovable	Viento	Aerogenerador	300 a 7000 KW	US \$ 1000 A US \$ 2000 POR Kw (INTERMEDIO)	US \$ 0,01 kWh	20 - 30 AÑOS
CONJUNTO DE ENERGÍA SOLAR Y EÓLICA	Renovable	Sol , Viento	Generador Fotovoltaico (Panel solar); Generador Eólico (aerogenerador: rotor, caja de cambios, generador eléctrico).	7 MW (aerogenerador) - 130 W (Panel)	ALTO	BAJO	N.D
ENERGIAS RENOVABLES MARINAS	Renovable	Corrientes marinas	Rotor abierto, Tipo Turbina, Eje vertical, Eje horizontal, Palas oscilantes, Atenuadores lineales, Convertidores de columna de agua oscilante, absolvedores puntuales.	92 KW	ALTO	INTERMEDIO	N.D

ARTÍCULO O SISTEMA	VENTAJAS	DESVENTAJAS	SOCIAL	AMBIENTAL
AFRICA - SMALL HYDROPOWER	Es una tecnología de larga duración. Su capacidad de generación eléctrica es buena para satisfacción de industrias y sectores comerciales. Es posible dimensionar el sistema para satisfacer la demanda de potencia. El sistema puede ser integrado con otros sistemas de energía renovable de otra escala.	Es una tecnología específica de sitio y como tal no todas las ubicaciones en el curso del caudal del río son ideales.	Contribuye al mejoramiento de la calidad de vida, abasteciendo de energía eléctrica, viviendas, hospitales, entre otros. Genera oportunidades de empleo e impulsa la educación.	Este sistema puede afectar el hábitat del lugar en donde se vaya a desarrollar el proyecto, por las obras que se ejecuten en el río y en los alrededores del mismo, afectando así las condiciones de flora y fauna del lugar. Reduce las emisiones de gases de efecto invernadero.
MICRO TURBINA	Puede producir suficiente electricidad para una casa, granja, rancho, o pueblo. Es una buena técnica para proporcionar electricidad a lugares remotos donde la línea de transmisión no se puede conectar con facilidad o el costo llega a ser muy alto.	Debe controlarse el fenómeno de la cavitación. Hay que considerar una condición óptima de caudal, es decir, mantener un valor constante para generar la energía suficiente.	Contribuye al mejoramiento de la calidad de vida, abasteciendo de energía eléctrica, viviendas, hospitales, entre otros.	Puede generar una afectación a las especies del río, por los diferentes mecanismos que se necesitan para desarrollar este sistema en su interior. Reduce las emisiones de GEI.
CENTRAL HIDROELECTRICA DE PEQUEÑA ESCALA	Es limpia no contamina el agua ni el aire. La energía producida puede ser utilizada en apoyo de cualquier proyecto sostenible. La operación requiere de poco personal.	La inversión requerida está muy concentrada en el desarrollo inicial del proyecto. La potencia máxima generada está dada por el valor del caudal, el cual puede variar según la condición climática de la época del año. Depende de estudios técnicos para conocer el potencial disponible y la factibilidad técnica.	Contribuye al mejoramiento de la calidad de vida, abasteciendo de energía eléctrica, agua entubada o potable. Genera oportunidades de empleo e impulsa la educación.	Favorece, principalmente, en la disminución del consumo de productos derivados del petróleo, carbón y leña, reduciendo con ello las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

ARTICULO O SISTEMA	VENTAJAS	DESVENTAJAS	SOCIAL	AMBIENTAL
ENERGÍA EOLICA	Contribuye con el cambio climático, ya que, no contamina, es inagotable y reduce el uso de combustibles fósiles. Es una energía autóctona. Su materia prima para el funcionamiento es un recurso inagotable (viento).	Los terrenos que se requieren para poder llevar a cabo esta obra de ingeniería son de un área muy grande, para los aerogeneradores, creando así, un impacto visual inevitable.	Impulsa la educación. Crea oportunidades de empleo para las personas que se encuentran en cercanía con el lugar del sistema.	No produce gases tóxicos ni contribuye al efecto invernadero; puede generar problemática en la fauna del lugar.
CONJUNTO DE ENERGÍA SOLAR Y EÓLICA	Los componentes principales para la generación de la energía son factibles para el desarrollo del sistema como tal (viento - sol). No genera contaminación. El sistema solar puede expandir su capacidad en la medida que se requiera.	Puede verse afectado por las condiciones climatológicas del lugar. De ser un sistema muy grande se necesitaran grandes cantidades de tierra para llevar a cabo la obra.	Favorece a la comunidad con la obtención de energía para sus viviendas, en su defecto para pequeños lugares comerciales.	En este aspecto el sistema solar muestra una gran consideración con el medio ambiente, puesto que, su impacto sobre el medio ambiente es prácticamente nulo. Reduce las emisiones de GEI.
ENERGIAS RENOVABLES MARINAS	No genera emisiones a la atmosfera. El oleaje de las mareas es abundante para la obtención de la energía. Su operación es muy silenciosa.	El coste de inversión es muy alto para la construcción de las instalaciones. Este tipo de generación de energía es selecta para algunas partes en el mundo. El traslado de la energía es muy costoso.	Impulsa la educación. Crea oportunidades de empleo para las personas que se encuentran en cercanía con el lugar del sistema.	Genera un gran impacto visual. Además de generar un gran impacto sobre la flora y la fauna. Contribuye a las emisiones de GEI.

En la tabla es posible apreciar cada uno de los modelos con los cuales se puede llegar a generar energía eléctrica ya sea la metodología que desarrolle cada sistema, generando así un análisis por medio de varios ítems, que evalúan diferentes características de cada uno de los sistemas, esto con se da con el fin de poder descifrar cual será el sistema más favorable para implementar en La Mojana, el cual se adapte de manera óptima a todas y cada una de las condiciones que se dan en la región.

6.1. ANÁLISIS DE VIABILIDAD

La selección del sistema se debe llevar a cabo teniendo en cuenta la caracterización de la zona en la que tentativamente se podría aplicar un sistema, contando con que las condiciones de la zona y la fuente de energía que se va a utilizar. Además se tiene que poner en consideración que los sistemas aquí estudiados, son implementaciones o modelaciones extranjeras, que se desarrollaron bajo condiciones muy distintas a las que se encuentran en La Mojana, por tanto es importante conocer las funcionalidades, ventajas y desventajas que cada uno de los sistemas analizados contiene.

Luego de escoger el municipio de Achí, en el departamento de Bolívar, como el lugar idóneo para una implementación de un sistema de generación de energía con métodos alternativos, ya que cuenta con una posición geográfica privilegiada, al estar en la orilla de un caudaloso río, como lo es el río Cauca. Además que este municipio se presta en gran medida para esta implementación, que en La Mojana, es el segundo municipio con menos conexiones a la red eléctrica, con apenas el 50% de las viviendas gozando del servicio.

Si bien en esta zona, como en toda La Mojana, la topografía es bastante plana, con pendientes que no superan los 0.6% en el curso del río. Por tal motivo se deben descartar los sistemas que se sustenten en caídas de agua o en un almacenamiento de la misma, si bien no se deja de lado que el río representa un gran potencial hidroenergético.

En tanto sistemas que se aprovechan de las caídas de agua no se podrían implementar, los que se aprovechan de los flujos, corrientes o caudales se presentan como buenos candidatos.

En el análisis de los distintos sistemas que se hizo en el primer capítulo, se encontró uno que cumple con las características específicas para la región de implementación, y cuyo método de funcionamiento se adapta a las condiciones del río Cauca a la altura del municipio de Achí.

El sistema de micro turbinas, que se basa en el aprovechamiento de corrientes de agua para la generación de energía, es entonces el sistema escogido para tal fin en el municipio de Achí, ya que es un sistema sustentable, que se abastece de un río caudaloso y con una velocidad más que óptima para su correcto y eficiente funcionamiento, requiriendo un mínimo de 0.5 m/s como velocidad de la corriente, teniendo el río Cauca velocidades de entre 0.73 m/s y 1.08 m/s.

Al no ser un sistema sumamente invasivo, se pueden poner más de una micro turbina, teniendo cada una la capacidad de abastecer de energía a una casa o granja, y por tanto, de acuerdo a la demanda que se presente, el número de micro

turbinas puede aumentar. Se tiene en cuenta también, que los costos de inversión son realmente bajos si se compara con los beneficios que puede traer este sistema, teniendo un valor de \$500 USD por kW producido. Este sistema también representa un muy bajo costo de mantenimiento, ya que la micro turbina tiene un sistema de generación bastante simple, y cuyo montaje no requiere grandes obras, más que el aislamiento de la zona en donde se ubicara la turbina y su posterior montaje.

La implementación de este sistema podrá contribuir ampliamente a reducir los índices de desconexión a la red de energía eléctrica que se presenta en Achí, ya que complementará el servicio que ya se presta, y significara un alza en la calidad del mismo, ya que la micro turbina podrá estar generando energía de forma ininterrumpida por un periodo de 5 años, que es su vida útil, sin presentarse cortes o suspensiones. Además que es un sistema que no genera ningún tipo de gas o de desecho contaminante, que es amigable con el medio ambiente y que contribuye al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes del municipio, ya que contarán con un sistema que es completamente innovador en Colombia, que no representa grandes o cuantiosos gastos, y que no implicara un alza en las tarifas de energía que ya se cobran en la región.

6.2 ALTERNATIVAS DE IMPLEMENTACIÓN

Para el caso de Achí se tendrán dos alternativas para implementarse, en la primera el sistema está compuesto por tres turbinas de río, en donde cada turbina tiene tres álabes, los cuales presentan una rotación gracias a la corriente del río, de esta manera con el movimiento de los álabes se transmite esa energía a un sistema de poleas y al generador, con el objeto de transformar ese movimiento en energía eléctrica.

La energía que se obtiene del generador es conducida por medio de cables a una bodega, esta es almacenada en unas baterías, así mismo la energía es acondicionada y transmitida a la comunidad.

Figura 12. Casa de máquinas o balsa



Fuente: FUNDACIÓN ECUATORIANA DE TECNOLOGÍA APROPIADA. Manual de operación y mantenimiento del sistema de suministro de energía con turbinas de río, Octubre de 2011. [En línea]. [Citado el 14 de noviembre de 2015]. Disponible en Internet: http://fedeta.org/web_publicaciones/guias/guia_turbinasderio2.pdf.

En la Figura 12 se observa cada uno de los materiales y componentes que hacen parte de la turbina de río, la estructura está hecha en madera permitiéndole flotar sobre el río, tiene una cubierta de tejas en zinc, esta se encuentra al borde del río, tiene un área confortable, en la que se pueda ver localizado cada uno de los elementos necesarios para el sistema y así mismo para el traslado de personal de operación o mantenimiento.

Figura 13. Turbina



Fuente: FUNDACIÓN ECUATORIANA DE TECNOLOGÍA APROPIADA. Manual de operación y mantenimiento del sistema de suministro de energía con turbinas de río, Octubre de 2011. [En línea]. [Citado el 14 de noviembre de 2015]. Disponible en Internet: http://fedeta.org/web_publicaciones/guias/guia_turbinasderio2.pdf.

En la Figura 13 se aprecian cada uno de los componentes de la turbina, el eje, sus tres álabes, estos se encuentran unidos por medio de un par de discos de acero inoxidable.

Se debe tener en cuenta que la estructura este en perfectas condiciones, es decir, que tenga cada uno de los elementos que la conforman, que estén en buen estado, de lo contrario deberá ser reparado o remplazado dicho elemento que presente fallas, esto con el fin de evitar daños mayores en un futuro.

Figura 14. Tecele o grúa



Fuente: FUNDACIÓN ECUATORIANA DE TECNOLOGÍA APROPIADA. Manual de operación y mantenimiento del sistema de suministro de energía con turbinas de río, Octubre de 2011. [En línea]. [Citado el 14 de noviembre de 2015]. Disponible en Internet: http://fedeta.org/web_publicaciones/guias/guia_turbinasderio2.pdf.

En la Figura 14 se aprecia un elemento metálico, el cual tiene como función soportar el eje de la turbina, su función es la de poder mover la estructura de forma vertical para mantenimiento o lo que se tenga previsto.

Cabe aclarar que el mantenimiento de la grúa debe estar contemplado dentro de las actividades del conjunto estructural, manteniendo bien engrasado el cable y las ruedas que ayudan a generar el desplazamiento del eje.

Figura 15. Sistema de poleas



Fuente: FUNDACIÓN ECUATORIANA DE TECNOLOGÍA APROPIADA. Manual de operación y mantenimiento del sistema de suministro de energía con turbinas de río, Octubre de 2011. [En línea]. [Citado el 14 de noviembre de 2015]. Disponible en Internet: http://fedeta.org/web_publicaciones/guias/guia_turbinasderio2.pdf.

Debe llevarse a cabo un mantenimiento periódico al sistema de poleas, visto en la Figura 15, para tener un buen funcionamiento, es recomendable realizar un cambio de bandas cada dos años.

Figura 16. Generador



Fuente: FUNDACIÓN ECUATORIANA DE TECNOLOGÍA APROPIADA. Manual de operación y mantenimiento del sistema de suministro de energía con turbinas de río, Octubre de 2011. [En línea]. [Citado el 14 de noviembre de 2015]. Disponible en Internet: http://fedeta.org/web_publicaciones/guias/guia_turbinasderio2.pdf.

En la Figura 16 se aprecia el generador este al girar por medio del sistema de poleas, produce la energía eléctrica.

Cuando se llega a este punto se conduce la electricidad a un cuarto de control, en el cual se almacena la energía en baterías para posteriormente distribuir esta energía a la población, esto con la ayuda de elementos electrónicos que controlan, regulan las cargas de energía.

Figura 17. Esquema para la micro turbina a emplear

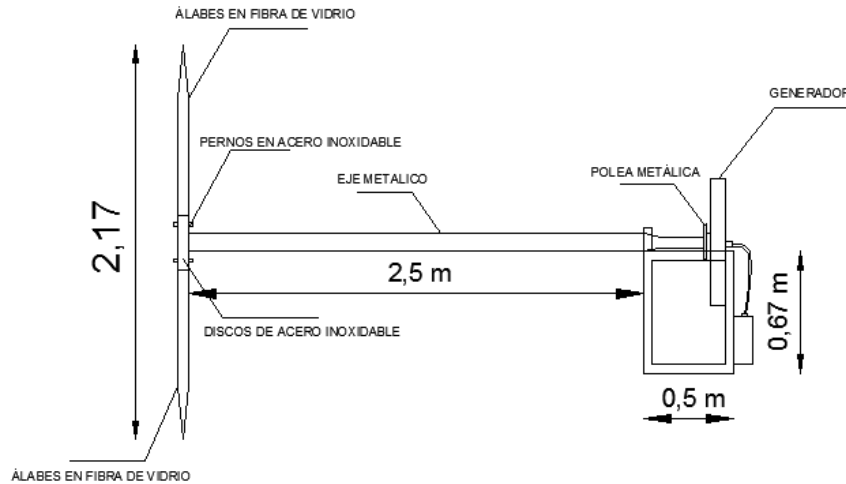
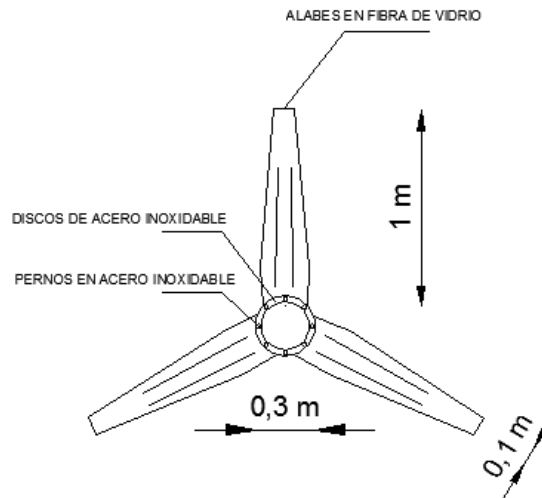


Figura 18. Detalle de la micro turbina



En la Figura 17 se aprecia esquema realizado para la micro turbina que se implementara en Achí, además de ubicar sus dimensiones y materiales, apreciando así que es un sistema simple y cuya construcción no implica grandes esfuerzos. En la Figura 18 se detallan las dimensiones de los alabes de la micro

turbina, los cuales serán en fibra de vidrio, con pernos de sujeción de acero inoxidable.

Se recomienda para el sistema hacer una revisión mensual, ejecutando mantenimientos preventivos para el cuidado de cada uno de los componentes, así mismo con el fin de detectar a tiempo posibles fallas en la estructura, por ejemplo con la grúa se recomienda mantener su mecanismo muy bien engrasado; los álabes deben limpiarse al menos una vez al mes teniendo cuidado de no dañarlos, ya que, están hecho en fibra de vidrio; en el sistema de poleas debe de ajustarse de forma periódica para asegurar así un muy buen funcionamiento.

Se recomienda cambiar las bandas cada dos años o antes en caso de verse deterioradas de alguna manera; los rodamientos deben ser engrasados en un periodo no mayor a los tres meses; en el generador se deben engrasar los rodamientos máximo cada tres meses; los pernos deben de mantenerse muy bien engrasados, para poder evitar la oxidación y la corrosión de los mismos, así mismo la estructura metálica deberá ser repintada con pintura anticorrosiva, una vez que se vea desgaste en la estructura.

FICHA TECNICA TURBINA			
ELEMENTO	MATERIAL	DIMENSIONES	COSTO
ÁLABES	Fibra de Vidrio	1 m x 0,10 m	\$ 150.000
DISCOS	Acero Inoxidable	0,3 m	\$ 60.00
PERNOS	Acero Inoxidable	0,02 m	\$ 2.50
EJE	Metálico	0,10 m x 2,5 m	\$ 100.000
POLEA	Metálico	0,20 m	\$ 50.000
GENERADOR	Metálico	0,70 m	\$ 120.000

Tabla 9. Ficha técnica del sistema de micro turbinas

En la **Tabla 9** se dan a conocer todas las características físicas del sistema que se implementará en el municipio, así como sus costos y materiales. Se tiene que una micro turbina costaría un aproximado de \$500.000 (pesos colombianos), a esto se le agregaría el costo de la construcción de la balsa donde su ubicaran las micro turbinas, que según sus dimensiones, puede llegar a mantener de tres a seis micro turbinas.

La otra alternativa a considerar se encuentra ligada más a la innovación tecnológica, es una turbina fabricada en china, de estilo Francis, esta es de eje horizontal, está elaborada en acero, tiene una frecuencia de 50 – 60 hz, su unidad de potencia es de 100kw – 10 mw aproximadamente, su vida útil es de unos 50

años, es resistente a la corrosión, esta debería ser importada. Su referencia en el mercado es Hla708a-wj-53.

Figura 19. Turbina de agua Tipo Francis



Fuente: TUV Rheinland

En la Figura 19 se muestra la turbina de fabricación china, marca WaWushan, instalación y operación fáciles.

La posición geográfica de la implementación del sistema se encontrara en las coordenadas $8^{\circ}33'45.22''$ N $74^{\circ}33'05.86''$ O, apreciando así con mayor claridad la ubicación del sistema a implementarse.

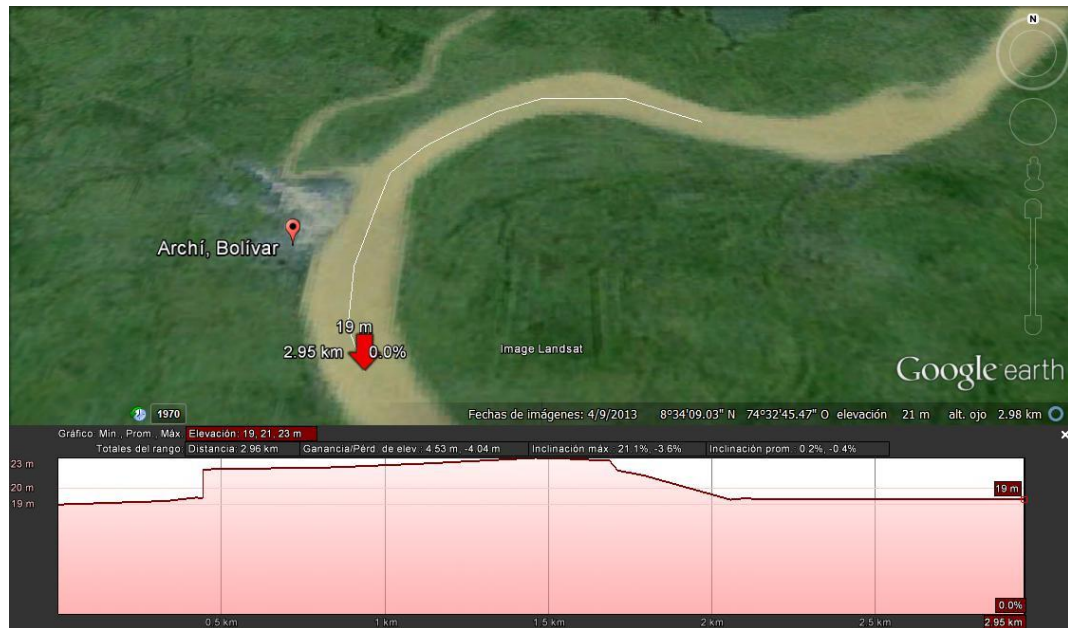
Figura 20. Ubicación del sistema de generación eléctrica



Fuente: Google Earth

En la Figura 20 se muestra el lugar de ejecución del proyecto se dará aguas debajo del río Cauca, colindante con municipio de Achí.

Figura 21. Perfil de elevación del río Cauca en la sección aguas arriba y aguas abajo del municipio de Achí.



Fuente: Google Earth

En la Figura 21 se muestra el perfil de elevación del río Cauca en esta sección del río, esta se da con el fin de observar el posicionamiento del sistema aguas abajo del municipio por la respectiva elevación del río.

7. CONCLUSIONES

- Se estudiaron varias metodologías para la obtención de energía eléctrica por medio de energías alternativas renovables, con este fin se propuso establecer un sistema de generación eléctrica con la implementación de micro turbinas, ya que, para el caso de estudio en La eco-región de La Mojana, esta alternativa es la más viable para poder ser ejecutada.
- Se realizó una investigación sobre varios modelos y aplicaciones desarrolladas en otras partes del mundo, analizando varias de sus características, diseños, componentes, materiales, lugares de implementación, costos de inversión y mantenimiento, entre otros aspectos.
- Se hizo la caracterización de La eco-región de La Mojana, estudiando varios aspectos que se desarrollan a lo largo de la región, ubicación, economía, condición social, fauna y flora.
- El municipio de Achí, en el departamento de Bolívar, fue el escogido para la tentativa implementación de un sistema de generación de energía eléctrica por métodos alternativos, debido a que se ubica en la ribera del río Cauca, posición estratégica para el aprovechamiento del potencial hidroeléctrico del río.
- También se escogió este municipio debido a que es el segundo más afectado por la desconexión a la red eléctrica en toda la eco-región de La Mojana, con un 50% de los hogares sin conexión, haciéndose necesario encontrar una medida alternativa que ayude a abastecer a aquel porcentaje restante.
- Se estudiaron los distintos sistemas de generación de energía, teniendo en cuenta los factores sociales, económicos, ambientales y energéticos. Esto con el fin de poder distinguir el sistema que mejor se adapte a las características y necesidades propias del municipio de Achí.
- El sistema que se escogió, y que se presentó como el más factible para una posible implementación, fue el de micro turbinas hídricas, el cual se basa en el aprovechamiento de las corrientes y caudales de ríos y arroyos para la generación de energía eléctrica.
- Al ser La Mojana una región en su mayoría de topografía plana, no se pudieron tomar sistemas de recolección de agua o que usen caídas para la generación de energía, por tanto sistemas que parecían tan factibles como el de pequeñas hidroeléctricas, tuvieron que ser descartados.
- Si bien el sistema de micro turbinas se estudió para la ejecución y uso en el municipio de Achí, este podría ser implementado en otros municipios, y no solo de La Mojana, ya que sus requerimientos técnicos son bastante escasos, y solo se hace menester tener un flujo de agua constante, cuya velocidad supere los 0.5 m/s, algo que es bastante común en la mayoría de cuerpos hídricos.

- A partir de la tabla comparativa que se construyó, se pudieron definir los parámetros por los cuales se escogería el sistema a aplicar, pudiéndose reconocer beneficios y desventajas en cada uno de ellos.
- El sistema de las micro turbinas también gana peso al ser un sistema de fácil y económica implementación, contando con estructuras y armado bastante simple, remarcando así el favorable factor de costo-beneficio que implicaría para la región.
- La ubicación de sistema de micro turbinas no necesitara de una intervención excesivo o invasiva en la zona o en el rio, ya que su esquema se basa en la utilización de balsas que hacen las veces de cuartos de máquinas, y con esto se podrán ubicar las turbinas dentro del rio.
- La implementación de un sistema de generación de energía por métodos alternativos podrá hacer que más personas puedan acceder a este servicio de manera económica, de una manera fácil y eficiente.
- Los costos de mantenimiento y de uso del sistema de micro turbinas es bastante menor al de sistemas de similares características o destinadas al mismo fin, si bien tiene una vida útil de apenas 5 años.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILERA, MARÍA. La Mojana: Riqueza natural y potencial económico, Octubre de 2004. [En línea]. [Citado el 25 de julio de 2015]. Disponible en Internet: http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/DTSER-48.pdf.

BETANCUR, LUIS. Energías renovables: marco jurídico en Colombia, Septiembre de 2009. [En línea]. [Citado el 1 de agosto de 2015]. Disponible en internet: <http://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/energias-renovables-marco-juridico-en-colombia>.

CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPUBLICA. Comunicado de Prensa No. 122. Julio de 2015. [En línea]. [Citado el 24 de Julio de 2015]. Disponible en Internet: http://www.contraloriagen.gov.co/web/guest/boletinprensa/-/asset_publisher/mQ19/content/ante-mala-calidad-del-servicio-de-energia-en-la-region-caribe-vigilancia-especial-de-la-contraloria-a-la-superintendencia-de-servicios-publicos-para-v.

DEFINICIÓN DE. Central Hidroeléctrica. [En línea]. [Citado el 2 de agosto de 2015]. Disponible en internet: <http://definicion.de/central-hidroelectrica/>.

DEFINICIÓN DE. Energía Renovable. [En línea]. [Citado el 2 de agosto de 2015]. Disponible en internet: <http://definicion.de/energia-renovable/>.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. Inversión social y obras de infraestructura, prioridades del Plan de Desarrollo para Cartagena y Bolívar, Enero de 2015. [En línea]. [Citado el 5 de noviembre de 2015]. Disponible en Internet: <https://www.dnp.gov.co/Paginas/Inversi%C3%B3n-social-y-obras-de-infraestructura,-prioridades-del-Plan-de-Desarrollo-para-Cartagena-y-Bol%C3%ADvar.aspx>.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. Plan integral de ordenamiento ambiental y desarrollo territorial de La Mojana, Abril de 2012. [En línea]. [Citado el 14 de octubre de 2015]. Disponible en Internet: <http://www.planesmojana.com/documentos/estudios/27.plan%20integral%20de%20ordenamiento%20ambiental%20mojana.pdf>.

ECURED, Turbina Hidráulica. [En línea]. [Citado el 3 de agosto de 2015]. Disponible en internet: http://www.ecured.cu/index.php/Turbina_hidr%C3%A1ulica.

ECURED. Generación de energía eléctrica. [En línea]. [Citado el 2 de agosto de 2015]. Disponible en internet:

http://www.ecured.cu/index.php/Generaci%C3%B3n_de_Energ%C3%ADa_EI%C3%A9ctrica.

EL MERIDIANO DE CÓRDOBA. La Mojana se quedaría a oscuras. Noviembre de 2013. [En línea]. [Citado el 6 de agosto de 2015]. Disponible en internet: <http://elmeridianodecordoba.com.co/region/item/45965-la-mojana-se-quedar%C3%ADa-a-oscuras>.

FUNDACIÓN ECUATORIANA DE TECNOLOGÍA APROPIADA. Manual de operación y mantenimiento del sistema de suministro de energía con turbinas de río, Octubre de 2011. [En línea]. [Citado el 14 de noviembre de 2015]. Disponible en Internet: http://fedeta.org/web_publicaciones/guias/guia_turbinasderio2.pdf.

FUNDACIÓN SOLAR DE GUATEMALA. Centrales hidroeléctricas de pequeña escala, la experiencia de la Fundación Solar en Guatemala, Enero de 2013. [En línea]. [Citado el 14 de septiembre de 2015]. Disponible en Internet: <http://www.fundacionsolar.org.gt/wp-content/uploads/2014/01/06-Centrales-Hidroel+%C2%AEctricas-peque+%C2%A6a-escala.pdf>.

HOQ, TANBHIR; SYFULLAH, K.; RAHMAN, RAIYAN. Micro Hydro Power: Promising Solution for Off-grid Renewable Energy Source, Agosto de 2011. [En línea], [Citado el 2 de agosto de 2015]. Disponible en internet: <http://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/energia-hidroelectrica-a-escala-micro-solucion-prometedora-para-fuentes-de-energia-renovable-no-conectadas-a-la-red>.

INCODER, DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. Estrategias para la reactivación económica y social de la región de La Mojana, Abril de 2006. [En línea]. [Citado el 5 de noviembre de 2015]. Disponible en Internet: <http://www.incoder.gov.co/documentos/Estrategia%20de%20Desarrollo%20Rural/Pertiles%20Territoriales/ADR%20MOJANA/Otros/Conpes%203421%20La%20Mojana.pdf>.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, INVIAS. Red de Carreteras 2014. [En línea]. [Citado el 1 de noviembre de 2015]. Disponible en Internet: http://www.invias.gov.co/index.php/servicios-al-ciudadano/biblioteca-virtual/doc_download/2046-mapa-de-carreteras-pdf.

KAUNDA, CHIYEMBEKESO; KIMAMBO, COUTHBERT; NIELSEN, TORBJORN. Potential of Small-Scale Hydropower for Electricity Generation in Sub-Saharan Africa, Julio de 2012. [En línea], [Citado el 1 de agosto de 2015]. Disponible en internet: <http://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/potencial-de-la-energia-hidroelectrica-a-pequena-escala-para-la-generacion-de-electricidad-en-el-africa>

subsahariana.

LÓPEZ, AMABLE; NÚÑEZ, LUIS RAMÓN; SOMOLINOS, JOSÉ ANDRÉS. Modelado energético de convertidores primarios para el aprovechamiento de las energías renovables marinas, Julio de 2014. [En línea]. [Citado el 15 de septiembre de 2015]. Disponible en internet: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1697791214000120>.

M. MIKATI, M. SANTOS, C. ARMENTA. Modelado y Simulación de un Sistema Conjunto de Energía Solar y Eólica para Analizar su Dependencia de la Red Eléctrica, Septiembre de 2012. [En línea]. [Citado el 16 de septiembre de 2015]. Disponible en Internet: <http://ezproxyucdc.ucatolica.edu.co:2052/science/article/pii/S1697791212000404>.

NEOTROPICOS.ORG. La región de La Mojana, Abril de 2011. [En línea]. [Citado el 4 de agosto de 2015]. Disponible en internet: <http://www.neotropicos.org/ZenuesWEB/mojana.html>.

RAMÍREZ, C.A., GARCÍA J.L. Estudios de caracterización y simulación del río Cauca para fines de manejo y aprovechamiento, Marzo de 2007. [En línea]. [Citado el 5 de noviembre de 2015]. Disponible en Internet: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/agua2003/carac.pdf>.

SUÁREZ, ISABEL. Limitaciones de movilidad afectan a 16.000 personas en el municipio de Achí, suroccidente de Bolívar, Septiembre de 2014. [En línea]. [Citado el 5 de noviembre de 2015]. Disponible en Internet: <https://www.humanitarianresponse.info/en/operations/colombia/article/limitaciones-de-movilidad-afectan-16000-personas-en-e12l-municipio-de-ach%C3%AD>.

SUAREZ, SERGIO; LEÓN, GABRIEL. Energía eólica en el istmo de Tehuantepec: desarrollo, actores y oposición social, Julio de 2014. [En línea]. [Citado el 16 de septiembre de 2015]. Disponible en internet: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030170361470879X>.

TORRES QUINTERO, ERNESTO. Determinación de caudal, tiempo de tránsito, velocidad y coeficiente de dispersión en el río Bogotá, Frío y Magdalena utilizando técnicas nucleares, Marzo de 2006. [En línea]. [Citado el 23 de octubre de 2015]. Disponible en internet: http://www.unilibre.edu.co/revistaavances/avances-5/r5_art2.pdf.

TORRES, PILAR; PEÑARANDA, GABRIEL. Regionalización de caudales mínimos por métodos estadísticos de la cuenca del Magdalena Cauca, Noviembre de 2006. [En línea], [Citado el 27 de octubre de 2015]. Disponible en internet: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14188/T41.06%20T636r.pdf?sequence=1>.