



**TESIS DE GRADO
GESEA - SEMILLERO DE GESTIÓN ENERGÉTICA
Y SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICO-AMBIENTAL**

ENTREGA FINAL

Caracterización de los beneficios socio-ambientales generados por la obtención de energía mediante fuentes renovables, en el corregimiento de Jurubirá, municipio de Nuquí, en el Pacífico Colombiano.

**Dora Lizet Espitia Pinilla
Evelyn Yulieth Martínez Murcia**

**Universidad ECCI
Facultad ingeniería
Programa ingeniería ambiental
Bogotá, DC.
Año 2015**



**TESIS DE GRADO
GESEA - SEMILLERO DE GESTIÓN ENERGÉTICA
Y SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICO-AMBIENTAL**

ENTREGA FINAL

Caracterización de los beneficios socio-ambientales generados por la obtención de energía mediante fuentes renovables, en el corregimiento de Jurubirá, municipio de Nuquí, en el Pacífico Colombiano.

**Dora Lizet Espitia Pinilla
Evelyn Yulieth Martínez Murcia**

Proyecto de investigación

**William Evelio Rodríguez
Msc. Energías renovables y eficiencia energética.**

**Universidad ECCI
Facultad ingeniería
Programa ingeniería ambiental
Bogotá DC.
Año 2015**



DEDICATORIA

A Dios por darnos la sabiduría y fortaleza para culminar este proyecto, a nuestros padres y seres amados que nos brindaron su confianza y apoyo, y a un angelito que esperamos Dios bendiga para que tenga una maravillosa vida a pesar de las circunstancias.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a Dios por guiarnos durante este magnífico camino de la vida, en segundo lugar, a nuestro director de tesis William Rodríguez por su Apoyo incondicional y el conocimiento que nos otorgó durante este proyecto, y finalmente a nuestros padres, amigos y esposo de una de nosotras, que nos dieron su fuerza y apoyo para no desfallecer.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTOS	3
Listado De Tablas	8
Listado de Figuras	10
Resumen.....	12
Abstract	13
Palabras Clave.....	14
Key Words	14
Introducción	15
II. Título de la investigación.....	18
III. Problema de Investigación.....	18
i. Descripción del problema.....	18
ii. Formulación Del Problema.....	20
IV. Justificación y delimitación de la investigación	21
iii. Justificación	21
iv. Delimitación.....	22
V. Objetivos	24
a. Objetivo general	24
b. Objetivos Específicos	24
1. Marco de referencia de la investigación	25
1.1 Marco teórico.....	25
1.1.1 Hidrografía Y Clima De La Cuenca Pacifica.....	29
1.1.2 Formaciones Vegetales	29
1.1.3 Suelos	30
1.1.4 Energías Renovables	30
1.1.5 El Municipio De Nuquí.....	34
1.1.6 Corregimiento de Jurubirá:.....	36
1.2 Marco Conceptual.....	38
1.2.1 Energías Renovables No Convencionales.....	38
1.2.2 Contexto Internacional	39
1.2.3 Beneficios De Las ERNC (Energías Renovables No Convencionales):.....	39
1.2.4 Colombia Una Potencia En Energías Alternativas.....	40
1.2.5 Energía Solar	41
1.2.6 Energía Hidráulica.....	42
1.2.7 Energía Eólica	43

1.2.8	Energía Oceánica.....	45
1.2.9	Energía Geotérmica.....	47
1.2.10	Energía mareomotriz:.....	48
1.2.11	Energía undimotriz.....	49
1.2.12	Energía De Biomasa.....	49
1.2.13	RETScreen.....	51
1.2.14	TIO (Tasa Interna De Oportunidad):.....	51
1.2.15	TIR (Tasa Interna De Retorno):.....	52
1.3	Marco Legal.....	52
2.	Tipo De Investigación.....	59
3.	Diseño Metodológico.....	59
4.	Capitulo I.....	62
	Caracterización del recurso energético de la zona de estudio.....	62
4.1	Potencial De Energía Solar.....	63
4.2	Potencial De Energía Undimotriz.....	68
4.3	Energía Eólica.....	76
4.4	Energía De Biomasa Residual.....	85
4.4.1	Calculo Del Potencial Energético De Biomasa.....	92
4.5	OBSERVACIONES CAPITULO I.....	95
5.	Capitulo II.....	97
	Tecnologías aplicables a la zona de estudio.....	97
5.1	Criterios De Evaluación.....	97
5.1.1	Garantía:.....	98
5.1.2	Vida Útil.....	98
5.1.3	Disponibilidad En Colombia.....	98
5.1.4	Experiencia.....	98
5.1.5	Costos De Inversión.....	98
5.1.6	Mantenimiento.....	99
5.2	Tecnologías De Energía Solar.....	99
5.2.1	Inversor.....	103
5.2.2	Regulador.....	104
5.2.3	Baterías.....	104

5.2.4 COSTOS	105
5.3 Análisis comparativo entre equipos solares:.....	106
5.3 Tecnologías De Energía Del Mar	107
5.3.1 Pelamis.....	108
5.3.2 Wave Dragon	110
5.3.3 Equipos Complementarios.....	111
5.3.3.1 Cables Submarinos.....	111
5.3.3.2 Inversor	112
5.3.3.3 Obras:	112
5.3.4 Costos.....	113
5.3.5 Análisis comparativo entre equipos energía del mar:	115
5.4 Tecnologías De Energía Mini-Eólica.....	116
5.4.1 Equipos Complementarios.....	119
5.4.1.1 Inversor	119
5.4.1.2 Regulador:.....	120
5.4.1.3 Baterías:	121
5.4.2 Costos.....	121
5.4.3 Análisis comparativo entre equipos eólicos:.....	122
5.5 Energía A Partir De Biomasa Residual.....	124
5.5.1 Gasificador Pp-20	125
5.6 Análisis comparativo entre las tecnologías seleccionadas:.....	127
5.6.1 Relación Costo/ kW Como Parámetro Comparativo Entre Las Tecnologías Aplicables ...	128
6. Capitulo III.	130
Descripción socio-económica de la zona de estudio.....	130
6.1 Educación.....	130
6.2 Transporte:	130
6.3 Industria.....	130
6.4 Sectores Económicos	131
6.5 Población.....	131
6.6 Ingreso Per-Cápita	132
7. Capitulo IV.	134



**TESIS DE GRADO
GESEA - SEMILLERO DE GESTIÓN ENERGÉTICA
Y SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICO-AMBIENTAL**

ENTREGA FINAL

Caracterización ambiental de la zona	134
7.1 Consumo Energético Actual	134
7.2 Emisiones actuales del sistema implementado para el suministro de energía en Jurubirá Nuquí-Colombia.	137
7.3 Caracterización de la energía primaria en la zona de estudio.	141
8. Capítulo V.....	144
Valoración técnico-ambiental y financiera	144
8.1 Valoración Para La Tecnología De Energía Solar	148
8.1.1 Valoración Técnica	148
8.1.1.1 Modo De Rastreo Solar.....	149
8.1.1.2 Inclinación.....	149
8.1.1.3 Azimut.....	149
8.1.1.4 Datos De La Zona De Estudio	150
8.1.1.5 Datos Específicos Del Equipo	151
8.1.2 Valoración Financiera.....	152
8.2 Valoración Para La Tecnología De Energía Undimotriz.....	155
8.2.1 Valoración Técnica	155
8.2.2 Valoración Financiera.....	155
8.3 Valoración Para La Tecnología De Energía Eólica	157
8.3.1 Valoración Técnica	157
8.3.2 Valoración Financiera	161
8.4 Valoración Para La Tecnología De Energía Biomasa	163
8.4.1 Valoración Técnica	163
8.4.2 Valoración Financiera	165
8.5 Valoración ambiental de la zona de estudio.	167
8.5.1 Emisiones Generadas Durante La Implementación De Las Energías Renovables	171
8.6 Observaciones Capítulo IV	173
9. Capítulo V.....	176
Valoración social de la zona de estudio.....	176
9.1 Comparación Con El Ingreso Per Cápita De La Zona De Estudio	179
10. Conclusiones	184
11. Recomendaciones	189
Apéndice 1	191
BIBLIOGRAFÍA	195



Listado De Tablas

Tabla 1	26
Tabla 2	35
Tabla 3	37
Tabla 4	53
Tabla 5	58
Tabla 6	60
Tabla 7	64
Tabla 8	66
Tabla 9	67
Tabla 10	70
Tabla 11	72
Tabla 12	74
Tabla 13	75
Tabla 14	77
Tabla 15	79
Tabla 16	80
Tabla 17	81
Tabla 18	82
Tabla 19	84
Tabla 20	86
Tabla 21	88
Tabla 22	89
Tabla 23	90
Tabla 24	91
Tabla 25	91
Tabla 26	92
Tabla 27	95
Tabla 28	96
Tabla 29	97
Tabla 30	101
Tabla 31	105
Tabla 32	106
Tabla 33	109
Tabla 34	111
Tabla 35	113
Tabla 36	114
Tabla 37	115
Tabla 38	118
Tabla 39	122
Tabla 40	123
Tabla 41	126
Tabla 42	127



**TESIS DE GRADO
GESEA - SEMILLERO DE GESTIÓN ENERGÉTICA
Y SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICO-AMBIENTAL**

ENTREGA FINAL

Tabla 43	128
Tabla 44	131
Tabla 45	132
Tabla 46	135
Tabla 47	136
Tabla 48	138
Tabla 49	140
Tabla 50	168
Tabla 51	168
Tabla 52	171
Tabla 53	172
Tabla 54	173
Tabla 55	174
Tabla 56	177
Tabla 57	181
Tabla 58	182
Tabla 59	191
Tabla 60	192
Tabla 61	193
Tabla 62	194

Listado de Figuras

Figura 1. Ubicación del Departamento del Chocó.....	28
Figura 2. Municipio de Nuquí-Chocó.....	36
Figura 3. Población Infantil Del Corregimiento De Jurubirá.	37
Figura 4. Energía Solar Fotovoltaica. Fuente	41
Figura 5. Represa De Una Planta De Energía Hidráulica.....	43
Figura 6. Aerogeneradores Utilizados En La Guajira-Colombia.....	45
Figura 7. Plataforma Flotante Prototipo De Siemens.	46
Figura 8. Central Eléctrica Geotérmica	48
Figura 9. Planta de extracción de la energía contenida en la biomasa.....	50
Figura 10: Diagrama de Marco Legal.....	57
Figura 11. Radiación solar año 2005.	65
Figura 12. Radiación Solar Nuquí Últimos Años	67
Figura 13. Comparativo potencial solar Nuquí.....	68
Figura 14. Altura De Olas Año 2013 Nuquí – Chocó.....	71
Figura 15. Periodo (T) De Duración De Olas Año 2013 Nuquí – Chocó.....	71
Figura 16. Altura De Olas Año 2014 Nuquí - Chocó.	72
Figura 17. Periodo (T) De Duración De Olas Año 2014 Nuquí – Chocó.....	73
Figura 18. Potencial Energético De Olas Año 2014 Nuquí.....	74
Figura 19. Potencial Energético Final De Olas.....	76
Figura 20. Velocidad De Vientos Año 2005 Nuquí.....	78
Figura 21. Potencial De Energía A 20m Año 2005 Nuquí	79
Figura 22. Potencial De Energía A 50m Año 2005 Nuquí	80
Figura 23. Potencia Eolica Municipio De Nuquí.....	83
Figura 24. Comparación datos de potencia eólica Nuquí	84
Figura 25. Hectáreas cosechadas en Nuquí. Año 2005.....	87
Figura 26. Toneladas de biomasa producida en Nuquí. Año 2005.....	87
Figura 27. Potencial energético de biomasa en Nuquí. Año 2005.....	88
Figura 28. Ecuaciones Para Hallar Potencial Energetico De Biomasa.....	93
Figura 29. Principio Basico De Una Instalación Solar Fotovoltaica	100
Figura 30. Tipos De Células De Un Panel.....	100
Figura 31. Inversor Xtender-Xtm	103
Figura 32. Regulador Xantrex C-40.....	104
Figura 33. Baterías 48v Vision Power	104
Figura 34. Ejemplo Basico De Energía Undimotriz: Boyas	108
Figura 35. Pelamis	109
Figura 36. Wave Dragon.....	110
Figura 37. Cable Submarino	112
Figura 38. Inversor Xtender-Xtm	112
Figura 39. Principio Basico De Energía Eolica	117
Figura 40. Ejemplos De Aerogeneradores Mini-Eolicos.....	117
Figura 41. Inversor Xtender-Xtm	120

Figura 42. Regulador Xantrex C-40.....	120
Figura 43. Baterías 48v Vision Power	121
Figura 44. Ejemplo De Un Sistema Básico De Gasificación.....	124
Figura 45. Gasificador Pp-20.....	125
Figura 46. Factores de la red de distribución actual.	141
Figura 47. Costos De Generación En \$/Kwh.....	146
Figura 48. Costos De Generación En \$/Kwh.....	147
Figura 49. Método RETScreen	149
Figura 50. Datos De La Zona De Estudio Y Producción De Electricidad.....	150
Figura 51. Datos Específicos Del Equipo A Instalar En Zona De Estudio.....	151
Figura 52. Datos De Total De Equipos Y Producción Total De Energía	152
Figura 53. Análisis Financiero De Equipo Solar	153
Figura 54. Flujo De Caja Acumulado	154
Figura 55. Datos Generales De Tecnología Y Equipo.....	155
Figura 56. Análisis Financiero Tecnología Wave Dragon.....	156
Figura 57. Flujo De Caja Acumulado	157
Figura 58. Datos Específicos Y Curvas De Potencia Enair-30.....	158
Figura 59. Curva De Potencia Estándar Enair-30.....	159
Figura 60. Condiciones De La Zona De Estudio, Equipo Y Producción Energética	160
Figura 61. Producción Energética Con Total De Equipos A Necesitar	161
Figura 62. Análisis Financiero Mini eólica Enair-30.....	162
Figura 63. Flujo De Caja Acumulado	163
Figura 64. Datos De Producción Con Tecnología De Biomasa.....	164
Figura 65. Análisis Financiero Tecnología Pp-20	165
Figura 66. Flujo De Caja Acumulado	166
Figura 67. Comparación costo vs TIR	178
Figura 68. Comparación Costo Vs Años De Recuperación De La Inversión.....	179

Resumen

El presente proyecto de investigación se desarrolló a partir de información secundaria del corregimiento de Jurubirá en el municipio de Nuquí- Choco en el pacifico colombiano y tuvo como finalidad la identificación de un tipo de tecnología a base de energía renovable que proporcionara la cantidad necesaria de electricidad que requiere la población para satisfacer sus necesidades básicas, teniendo en cuenta las características sociales, económicas y por supuesto ambientales de la zona de estudio, puesto que así se garantiza que el proyecto sea socialmente aceptable, económicamente viable y ambientalmente sostenible. Para poder escoger este tipo de tecnología fue necesario el uso del software RETScreen el cual es un sistema generado por Natural Resources Canadá para este tipo de proyectos. En este software usaron datos meteorológicos de cada una de las energías renovables investigadas, las cuales corresponden a: energía solar, energía mareomotriz, energía eólica y energía de biomasa. Así mismo fue necesario el uso de datos de las fichas técnicas de las tecnologías estudiadas para cada una de las energías renovables. Con la anterior información se determinó la cantidad de equipos a utilizar para cubrir la demanda energética de la población de estudio, el costo total del proyecto y la viabilidad económica del mismo. En cuanto al componente ambiental, se calculan las emisiones de gases efecto invernadero como el CO₂ (dióxido de carbono) del sistema actual de energía con el que cuenta el corregimiento de Jurubirá (planta de energía a base de combustible fósil diésel), para evidenciar la reducción de las mismas a la hora de implementar una determinada tecnología según las diferentes energías renovables estudiadas.

El resultado de este análisis muestra a la tecnología del gasificador con motor-generator a base de pistones y combustible renovable a base de biomasa como la opción viable en la zona de estudio, se identifica que esta tecnología tiene emisiones neutras con respecto al sistema actual y que su costo de operacional mínimo por kWh de electricidad generada corresponde a \$140 sin colocar el proyecto en un riesgo financiero.

Así pues se identifica que se puede generar el mayor beneficio social con este proyecto, representado en el costo de producción de energía, sin embargo si se manejan valores menores, se corre el riesgo de disminuir la TIR por debajo de la tasa de oportunidad manejada para el proyecto, equivalente al 12%, por lo que su rentabilidad se vería reducida y perdería viabilidad. Al comparar los costos por kWh del proyecto, con las tarifas mínimas recomendadas por la UPME para las zonas no interconectadas, se evidencia que de cualquier forma el proyecto debe ser subsidiado para que pueda implementarse.

Abstract

The Present Research Project Development one secondary information from the village of Jurubirá Nuquí- In the municipality of Choco in the Colombian Pacific and aimed to the identification of a type of technology base Renewable Energy To provide the Necessary Amount of Electricity Requiring para Population meet their basic needs, taking into account the Social, Economic and Environmental COURSE For the Study Area, Since This ensures Que Que Sea Project socially acceptable, economically viable and environmentally sustainable. Power to choose this type of technology WAS Necessary Rescreen Software Use the What Is A System Generated By Natural Resources Canada paragraph This type of projects. In this software they used meteorological data Each One of the Renewable Energy investigated, corresponding to: Solar Energy, Tidal Energy, Wind and Biomass energy.

Also it was necessary to use data from the data sheets of the technologies studied for each of the renewable energies. With this information the amount of equipment was determined to use to cover the energy demand of the study population, the total project cost and economic viability. Regarding the environmental component, emissions of greenhouse gases such as CO₂ (carbon dioxide) of the current energy system that counts the village of Jurubirá (power plant based on fossil diesel) are calculated to demonstrate the reduce them when implementing a particular technology as the studied renewable energy.

The result of this analysis shows gasifier technology engine generator based pistons and renewable fuel based on biomass as a viable option in the study area is identified that this technology is neutral emissions over the current system and its minimum operating cost per kWh of electricity generated corresponds to \$ 140 without placing the project in a financial risk.

So identifies which can generate the greatest social benefit with this project, represented in the cost of energy production, however if smaller values are handled, you run the risk of diminishing the TIR below is the rate of opportunity managed to the project, equivalent to 12%, so its profitability would be reduced and lose viability. When comparing costs per kWh of the project with the minimum rates recommended by the UPME for areas not interconnected, it is evident that in any way the project should be subsidized so that it can be implemented.



**TESIS DE GRADO
GESEA - SEMILLERO DE GESTIÓN ENERGÉTICA
Y SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICO-AMBIENTAL**

ENTREGA FINAL

Palabras Clave

Energías renovables alternativas, factor de emisión, energía primaria, RETScreen, Valoración técnico-ambiental, social y financiera, flujo de caja, TIR.

Key Words

Renewable Energy Alternatives, , emission factor, primary energy, RETScreen, environmental valuation, technique valuation, social valuation, economic valuation, cash flow, IRR.

Introducción

El trabajo que se presenta a continuación se centra en el estudio de las diferentes fuentes renovables tales como la energía solar, mareomotriz, eólica y biomasa que se encuentran en Colombia específicamente en el municipio de NUQUI en el corregimiento de JURUBIRÁ ubicado en el departamento de Choco, y como a partir de estas fuentes renovables se puede obtener energía renovable con el fin de beneficiar a la comunidad de la zona de estudio. Para ello se realizó una revisión bibliográfica donde se caracterizó el recurso energético del municipio de Nuquí; aquí se recolectan todos los datos meteorológicos relevantes para el estudio de las energías solar, mareomotriz, eólica y de biomasa. Una vez recolectados estos datos se procede al análisis de los mismos, este análisis permite identificar cuál de estas energías presenta condiciones aptas en la zona de estudio para el desarrollo eficiente de la misma, además de esto es necesario evaluar los diferentes tipos de tecnologías las cuales pueden ser aplicadas en la zona teniendo en cuenta características tales como su facilidad de instalación en la zona de estudio, precio en el mercado, costos y facilidades de mantenimiento entre otras. Por otra parte se identifican las características de la red de energía con la cual cuenta actualmente el corregimiento de JURUBIRÁ, con el objetivo de reconocer las emisiones de CO₂ (dióxido de carbono) que actualmente emite este sistema y como a partir de la implementación de un sistema de energía renovable que pueden lograr una disminución en estas emisiones.

En el primer capítulo; Caracterización del recurso energético de la zona de estudio se presentan las condiciones del recurso usado por las energías solar, mareomotriz, eólica y biomasa en la zona, para esto se hace necesario el estudio de los datos del atlas de radiación solar, atlas de brillo solar de Colombia, boletines meteorológicos mensuales que presenta DIMAR (Dirección General Marítima), los datos del Atlas de Viento Energía Eólica del año 2005 y Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia, Base de datos de Agronet del 2015 y otros complementarios. Una vez recolectados estos datos se procede a realizar el análisis de los mismos, para esto es necesario generar gráficos donde se evidencie el comportamiento de las condiciones meteorológicas de la zona por los meses del año en cual se encontraron los datos, además de esto es necesario identificar como estas condiciones caracterizan la generación de energías renovables en la zona de estudio en determinadas épocas

del año, teniendo en cuenta aquellos meses en los cuales se puede generar un déficit en el funcionamiento de determinada tecnología.

En el segundo Capítulo; Tecnologías aplicables a la zona de estudio se identifican los equipos que por sus características permiten la generación de energía de manera eficiente y sostenible; a su vez se especifican los equipos por cada una de las energías estudiadas (energía solar, mareomotriz, eólica y biomasa) y se escogen con una serie de criterios de evaluación los cuales se exponen en una matriz de evaluación de equipos. Para evidenciar la viabilidad de la implementación de cada uno de estos equipos en la zona de estudio, se usó el software RETScreen. Así mismo la información para el análisis técnico del proyecto, fue la obtenida del capítulo anterior y de las fichas técnicas de los equipos; mientras que la información para el análisis financiero se realizó, solicitando cotizaciones de los diferentes equipos.

En el tercer Capítulo denominado descripción socio-económica de la zona de estudio se realiza una descripción de las condiciones económicas y sociales del corregimiento de Jurubirá; tales como educación, transporte, industria, sectores económicos y población actual, además de esto se describe el ingreso per-capital de la población con el fin de identificar la cantidad de recursos que se destinan a la energía en la zona de estudio.

Caracterización Ambiental de la Zona se evidencia en el capítulo cuarto aquí se estima la demanda energética de la población de estudio, a través de una caracterización promedio del consumo de energía de los electrodomésticos que usan en la actualidad para satisfacer sus necesidades básicas. Esto se realiza con el objetivo de identificar la cantidad de combustible que se requiere para que la planta que actualmente suministra energía a la población cubra esta demanda, una vez identificada la cantidad en galones se realizan los debidos cálculos para identificar las emisiones de gases efecto invernadero como el CO₂ (dióxido de carbono) que emite actualmente la red de suministro de energía. Además de esto se calcula la cantidad de energía primaria que requiere actualmente el sistema para cubrir la demanda de la población de Jurubirá

La evaluación técnico- ambiental y financiero del proyecto se muestra en el capítulo quinto. Se realiza una evaluación financiera y técnica de cada uno de los equipos seleccionados en el capítulo dos (Tecnologías aplicables a la zona de estudio), esta se lleva a cabo por medio del



**TESIS DE GRADO
GESEA - SEMILLERO DE GESTIÓN ENERGÉTICA
Y SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICO-AMBIENTAL**

ENTREGA FINAL

software RETScreen con el fin de identificar la tecnología renovable de mayor viabilidad en la zona de estudio teniendo en cuenta aspectos financieros con el objetivo de identificar el costo operacional mínimo por kWh de electricidad generada y técnicos.

Por otra parte se realiza la caracterización ambiental de la tecnología, en esta se determina la cantidad de emisiones de CO₂ (dióxido de carbono) que se disminuyen a la hora de implementar las diferentes energías renovables estudiadas para el presente proyecto, conjunto con la energía primaria

Una vez escogida la tecnología de generación de energía más viable en la zona de estudio, se procede a identificar la valoración social en cuanto al costo mínimo de inversión posible de manejar en pesos por MWh y pesos por kWh, que no ponga en riesgo la viabilidad financiera de la tecnología escogida para el desarrollo de este proyecto.

Este costo es analizado a partir de los datos arrojados por el software RETScreen teniendo en cuenta que las variables financieras de oportunidad establecidas, el ingreso per- capital de la zona de estudio y los años de recuperación de la inversión. De esta manera se plantea el desarrollo de los objetivos planteados en el presente proyecto. Y se da finalidad con las conclusiones y recomendaciones dadas por el autor.

II. Título de la investigación

Caracterización de los beneficios socio-ambientales generados por la obtención de energía mediante fuentes renovables, en el corregimiento de Jurubirá, municipio de Nuquí, en el Pacífico Colombiano.

III. Problema de Investigación

i. Descripción del problema

El actual crecimiento descontrolado del consumo mundial de energía, los conflictos socio-políticos y económicos que esto conlleva y su extensa demanda, han originado una preocupación a nivel mundial en cuanto al desmesurado uso de fuentes fósiles y aumento de las emisiones de CO₂ a la atmósfera, que se refleja en los diversos acuerdos y conferencias firmados por varios países (Kioto – Copenhague – Durban). Frente a esta preocupación, como se analizó en el documento “Modelado Energético de Convertidores Primarios para el Aprovechamiento de las Energías Renovables Marinas”, se ha visto un aumento considerable en los estudios económicos y sustentables de diversas fuentes de energía alternativa que disminuyan estos problemas y permitan aprovechar las energías renovables a las que se tiene acceso (Lopez, Somolinos, & Nuñez, 2014).

En Colombia, las fuentes de energía renovables son un potencial extenso debido a la gran cantidad de recursos naturales renovables que posee en todo su territorio. Para diciembre de 2013 La Subdirección de Energía eléctrica de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) realizó el Informe Mensual De Variables De Generación Y Del Mercado Eléctrico Colombiano donde se evidenció que la generación de energía aún sigue siendo contribuida por las fuentes fósiles (Gas natural 61%, Carbón 37%, otros 1.2%), y pese a la gran capacidad hídrica del país, se aumentó la generación de energía por centrales (hidráulicas 68%, Térmica gas 16.%, térmica

carbón 9.3%, cogeneradores 0.6%, Térmica líquidos 0.25%), pero aún se ve un mínimo enfoque a otras fuentes de energía que disminuyan los impactos ambientales generados por las anteriores fuentes mencionadas, y que permitan que todo el territorio tenga acceso a este recurso (Subdirección de energía eléctrica, 2013).

Por otro lado, Colombia no cuenta con una cobertura completa del servicio de energía eléctrica sobre el territorio nacional. Según el instituto de planificación y promoción de soluciones energéticas para zonas no interconectadas IPSE(IPSE, n.d.), aproximadamente un 52% del territorio nacional carece de interconexión. Las principales Zonas no Interconectadas (ZNI) se encuentran ubicadas en la región rural; de tal modo que la mayor cantidad de población afectada está distribuida en zonas rurales que involucran a 1.441 localidades, principalmente en el oriente y sur colombiano y en la región pacífica del Chocó, Nariño y Cauca (IPSE, n.d.). Estas comunidades, en su mayoría presentan conflictos en cuanto a la seguridad (conflicto armado, ingobernabilidad), la dimensión poblacional (marginalidad y exclusión), y la dimensión social (pobreza, desigualdad, racismo, xenofobia y acceso a servicios adecuados de salud, educación, energía, agua potable y transporte).

Durante el 2013, COLCIENCIAS generó una convocatoria de proyectos de energía para el litoral pacífico, donde se encontró que pese a la falta de recursos y al no acceso de los subsidios que brinda el IPSE (Instituto de Planeación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas), los habitantes de distintos municipios del litoral pacífico colombiano (especialmente comunidades indígenas) no tienen acceso a la energía eléctrica por lo que han tenido que utilizar métodos de obtención de energía convencional como lo son el uso de combustibles en plantas personales insostenibles por su costo, Carbón, leña y Kerosene, generando así un conjunto de necesidades priorizadas que se basan principalmente en los siguientes aspectos (COLCIENCIAS, 2013):

- Almacenamiento (refrigeración) de alimentos y medicamentos
- Deficiencia en calidad de educación por falta de implementación de TIC
- Conexión de equipos de comunicación y electrodomésticos
- Centros de salud inhabilitados por falta de energía eléctrica
- Unidades pequeñas de comercio sin apertura de locales



- Alumbrado ineficiente

Resulta muy importante para la comunidad desarrollar un proyecto que permita responder a estas problemáticas y atender a sus necesidades, con el objetivo de producir electricidad para el sector, reducir su impacto ambiental y mejorar la calidad de vida de la comunidad.

ii. Formulación Del Problema

Debido a la falta del recurso energético en la zona de estudio, el cambio climático y aumento de emisiones contaminantes por la quema de combustibles convencionales que generan un impacto ambiental y social en la zona de estudio se presenta el siguiente problema:

¿Cuáles son los beneficios ambientales asociados a la reducción de emisiones de GEI y el consumo de energía primaria, y los beneficios sociales por la reducción del costo de producción de electricidad, con la implementación de tecnologías de generación eléctrica renovable en el corregimiento de Jurubirá, Municipio de Nuquí (Choco)?

IV. Justificación y delimitación de la investigación

iii. Justificación

El propósito de proponer recursos energéticos renovables en el litoral pacífico colombiano, particularmente para el municipio de Nuquí - Chocó es darle una solución a una necesidad que durante muchos años ha estado presente y que continuamente aumenta en cuanto a su demanda. En la actualidad el empleo de energía es indispensable y generalizado tanto en actividades productivas, como en la prestación de servicios que permitan cubrir las NBI (Necesidades Básicas Insatisfechas). La energía actualmente es sinónimo de crecimiento económico e internacional en campos de salud, educación, desarrollo y medio ambiente, tal como lo indica Häfele en su documento “Etapas de transición de los sistemas energéticos conforme a las condiciones ambientales y del suministro”, por lo que continuamente se buscan métodos que permitan obtener energía sin sobrecostos, pero en grandes cantidades y sin perjudicar al medio ambiente y sus interacciones con el entorno y la sociedad, y que a su vez permita un desarrollo sostenible en la sociedad (W. Häfele, 1989).

Frente a lo anterior, es indispensable que todas las comunidades de bajos recursos y resguardos indígenas puedan tener acceso a la energía sin poner en riesgo su forma de vida, su salud, su ambiente, su seguridad alimentaria y su economía puesto que muchas de estas poblaciones presentes en el país no cuentan con recursos económicos para poder acceder al servicio de energía, además de esto se evidencia que no se cuenta en muchos casos con una red que comunique a estas poblaciones con la red central de energía con la que cuenta el país, así mismo en la actualidad la mayoría de estas poblaciones optan por la adquisición de plantas de generación de energía las cuales funcionan a base de combustibles fósiles y generan emisiones de gases efecto invernadero como lo son el CO₂ Y SO₂ (dióxido de carbono y dióxido de azufre) entre otros.

A esto se le suma que la mayor parte de la comunidad actualmente cuenta con plantas que funcionan con combustibles como gasolina o diésel, y que amortiguan la falta de este servicio; sin embargo estas plantas solo suministran energía en horas específicas principalmente en la

noche, lo que genera que la población no tenga acceso constante al servicio de energía y por ende no puedan suplir sus necesidades básicas.

Por esta razón se propone la generación de electricidad con fuentes renovables, en búsqueda de fomentar soluciones a la problemática de suministro de energía de las zonas no interconectadas del país, puesto que así se logrará que la población de estas zonas pueda obtener energía eléctrica renovable y por ende se contribuya a la disminución de los diferentes impactos ambientales que la electricidad fósil ha traído al planeta. Además de esto, se garantizará un suministro de energía mayor al que actualmente tienen estas poblaciones logrando la satisfacción de las necesidades básicas de la misma. Sin embargo cabe mencionar que para poder escoger una energía renovables es importante desarrollar estudios donde se evidencia la viabilidad de la misma teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas de la zona de estudio, generando proyectos ambientalmente sostenibles. A esto se le suma las diferentes caracterizaciones que se tienen que desarrollar como la caracterización social y económica de la zona, puesto que de esta manera se puede establecer la tarifa mínima a la cual puede acceder a la población y las diferentes herramientas metodológicas donde se logre un cambio de percepción de la comunidad en cuanto al tema de energías renovables logrando proyectos socialmente aceptables.

iv. Delimitación

Pese a la lejanía que se tiene entre las autoras del proyecto, y la zona de estudio, se delimita el proyecto de la siguiente manera:

- El estudio se enfocará en la caracterización de fuentes que se puedan implementar en la zona de estudio. Esta caracterización se realizará con un robusto análisis bibliográfico que identifique las tecnologías más apropiadas en la zona y con las que se pueda satisfacer la necesidad energética existente.
- El potencial energético se analizará y hallará mediante herramientas y matrices de evaluación multi-criterio
- Se verificará toda la información con fuentes secundarias y con las diferentes entidades encargadas de la generación de los datos requeridos para los diferentes análisis planteados dentro de la investigación.



**TESIS DE GRADO
GESEA - SEMILLERO DE GESTIÓN ENERGÉTICA
Y SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICO-AMBIENTAL**

ENTREGA FINAL

- El análisis socio-económico que se realizará se enfocará en la obtención de una tarifa que les permita a la población acceder al recurso energético.
- El análisis ambiental se basará en las emisiones atmosféricas producto de la quema de combustibles convencionales, y las afectaciones del cambio climático en la zona.

Cabe destacar que cada uno de los ítems nombrados anteriormente solo será parte del estudio previo para la obtención de energía mediante fuentes renovables, puesto que no se plantea dentro del presente estudio la implementación de ninguna de estas energías.

	TESIS DE GRADO GESEA - SEMILLERO DE GESTIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICO-AMBIENTAL	ENTREGA FINAL
---	---	----------------------

V. Objetivos

a. Objetivo general

Determinar los beneficios ambientales y sociales producto de la implementación de tecnologías de generación eléctrica renovables en el corregimiento de Jurubirá, municipio de Nuquí (Choco).

b. Objetivos Específicos

- Determinar el potencial de energía renovable en el corregimiento de Jurubirá del municipio de Nuquí, ubicado en la zona del Chocó.
- Realizar un análisis comparativo entre las tecnologías de generación eléctrica renovable aplicables a las condiciones de la zona de estudio.
- Realizar un análisis de las condiciones técnicas, ambientales y económicas de las tecnologías con mayor viabilidad en la zona de estudio.
- Determinar el costo de operacional mínimo por kWh de electricidad generada por la tecnología de mayor viabilidad en la zona de estudio.

1. Marco de referencia de la investigación

1.1 Marco teórico

La dependencia del petróleo, el carbón y el gas ha generado conflictos de orden político (guerras entre naciones) y ambiental (emisiones de dióxido de carbono, azufre, etc.); por esta razón, en los últimos años se ha hecho necesario invertir en el desarrollo y aplicación de tecnologías alternativas de producción de energía que funcionen con recursos renovables. Para el ser humano es claro que estas fuentes de energía están disponibles en su entorno, entonces su interés por explotarlas también radica en una mejor administración de los recursos locales. Además, en el mundo entero el término renovable se asocia con la disminución de emisiones contaminantes y con la "no-producción" de desechos, lo cual garantiza un medio ambiente más limpio y apropiado para nosotros y para las futuras generaciones. Actualmente las energías renovables cubren cerca del 20% del consumo mundial de electricidad.

Para un mejor entendimiento y estudio se han clasificado estas energías en seis grupos principales:

- Energía solar
- Energía eólica
- Energía de la biomasa
- Energía hidráulica
- Energía de los océanos
- Energía de la geotermia

Cada una de las energías implica diferentes tipos de tecnologías que utilizan distintos elementos o equipos de transformación, según los cuales se obtiene energía en forma de electricidad, fuerza motriz, calor o combustibles. El siguiente esquema nos brinda un panorama general de cómo las energías renovables pueden ayudarnos a suplir nuestras necesidades energéticas.

Tabla 1

Energías renovables

RECUROS	TECNOLOGÍA	ELEMENTOS	APLICACIÓN
SOLAR	Fotovoltaica	Celdas solares	Electricidad
	Térmica	Colectores	Calor, electricidad
	Pasiva	Muros, ventanas entre otros	Calor, iluminación
EÓLICA	Generación eléctrica	Aerogeneradores	Electricidad
	Fuerza motriz	Aerobombéo.	Fuerza motriz
BIOMASA	Digestión anaerobia	Digestión	Biogás, combustible
	Gasificación	Gasificación	Gas combustible
	Pirólisis	Pirólizador	Bioetanol
	Fermentación	Destilería	Biodiesel
	Alcohólica	Unidad de esterificación	Calor, eléctrico
	Esterificación combustión	Hornos, calderas	
HIDRÁULICA	Centrales hidroeléctricas	Pequeñas centrales	Electricidad
	Pequeños aprovechamientos	hidroeléctricas ruedas.	Fuerza motriz
OCÉANOS	Mareas, olas	Barreras, turbinas,	Electricidad
	Diferencia de temperatura oceánica.	flotadores, columnas, aparatos focalizantes, turbinas, condensadores.	
GEOTERMICA	Generación eléctrica	Plantas de energía aguas	Electricidad
	Usos directos.	termales	Calor, recreación. Salud.

Nota: Tomada de (UPME, n.d.-a)

Por otra parte es importante analizar lo que según la revisión del artículo “The global and urban environment: the need for clean power systems” , hoy día, alrededor del 85% de la energía consumida a nivel mundial procede de combustibles fósiles que poco a poco se están agotando, sin embargo, aunque quizá no haya escasez durante los próximos 50 años, las reservas que conocemos están disminuyendo y las nuevas fuentes de petróleo no mantienen el ritmo de

consumo (F. Melle, 1998) así pues se identifica que los recursos naturales son unos de los factores más afectados a la hora de generar energías de manera no sostenible. Razón por la cual los diferentes gobiernos han generado políticas y estrategias en pro de la generación y utilización de energía renovables dentro de determinados procesos productivos que suplan las necesidades básicas de determinada población, sin embargo se es evidente que no todas estas estrategias han sido suficientes para generar soluciones a esta problemática energética. En el caso de Colombia por ejemplo existe la “política energética colombiana referidas a las energías renovables las cuales están contenidas en el Plan Energético Nacional; adicionalmente, existe un marco contextual definido por los acuerdos internacionales que ha suscrito el país. La metodología se aplica de esta manera a los programas, planes, leyes y decretos que inciden en la planeación, ejecución y operación de proyectos energéticos. Sin embargo en esta no se establecen que las Fuentes No Convencionales de Energía -FNCE son aquellas fuentes disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleadas o son utilizadas de manera marginal y no se comercializan ampliamente. Como se considera en la “reglamentación e incentivos de las energías renovables en Colombia” las fuentes no convencionales de energía, entre otras: la energía solar, energía eólica, energía geotérmica, energía proveniente de fuentes de biomasa, pequeños aprovechamientos hidro-energéticos y energía proveniente de los océanos.(AGUIRRE, 2012). Lo que genera dificultades a la hora de implementar programas, planes y proyectos con énfasis energético pues que no se definen de manera correcta este tipo de energías.

Colombia, según la universidad de los andes en su artículo “Biocombustibles de segunda generación y Biodiesel” es un país en vías de desarrollo que busca encaminar su futuro energético en tecnologías renovables que no dependan de la volatilidad de los precios del petróleo, ya que sus reservas actuales tan solo suplirán la demanda interna en el corto plazo. En el caso del carbón y gas natural, se cuenta con reservas suficientes para el próximo decenio pero tienen la problemática de la producción de gases de efecto invernadero. Tradicionalmente, Colombia ha estado a la vanguardia en el uso de energía hidroeléctrica. No obstante, aunque es una energía renovable, con lleva dificultades ambientales por las grandes zonas de inundación

generadas en estos proyectos que, debido a la alta biodiversidad existente, puede destruir por completo el hábitat de algunas especies únicas en el mundo. (Universidad de los Andes, 2009).

Por lo anterior, sectores públicos y privados hacen esfuerzos por adoptar diversos tipos de energías renovables. Existe, por tanto, un interés en el desarrollo de proyectos piloto pequeños con el fin de probar las tecnologías en el país.

Consecuentemente, y partiendo del potencial que tiene nuestro país en el campo de las energías renovables, dada su ubicación geográfica y la disponibilidad de recursos con que cuenta, se hace énfasis en el choco ubicado en el pacifico colombiano, como se evidencia en la figura 1, tomada de ESGEO (Escuela Nacional De Geografía).

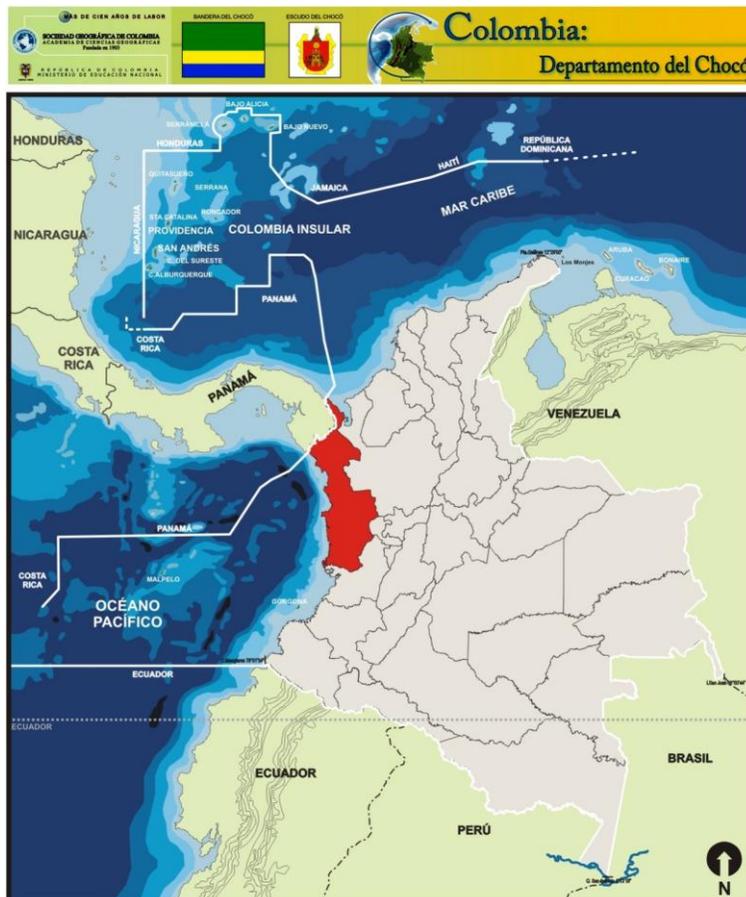


Figura 1. Ubicación del Departamento del Chocó

El litoral pacífico colombiano como lo explica José Gerardo Cardona en su tesis “Desarrollo Integral De La Cuenca Pacifica Colombiana” es una de las áreas más deprimidas y se encuentra

marginada del proceso de desarrollo económico y social del país y es la menos integrada físicamente al territorio nacional. Son necesarios la voluntad política, el respaldo financiero e industrial y comunitario, actores sin los cuales no es posible conseguir una exitosa culminación de los procesos de cambio. Se impone a la vez una acción más armónica, coordinada y quizá más energética por parte del estado, para prevenir la depredación de los recursos naturales de la costa colombiana del pacífico, que se ha proyectado hasta sus hoyas hidrográficas. A esto se le agrega la adjudicación discriminada de tierras, y la pesca ilegal que llevan a cabo en el mar territorial colombiano de naves extranjeras. También hay necesidad de actuar los requisitos mínimos que deben cumplirse en la expedición de licencias para el aprovechamiento de los recursos naturales del área del pacífico colombiano, como lo indica (“DESARROLLO INTEGRAL DE LA CUENCA PACÍFICA COLOMBIANA,” n.d.).

1.1.1 Hidrografía Y Clima De La Cuenca Pacífica

De acuerdo con la temática del IGAC, resumimos algunos aspectos del medio natural:

La región pacífica constituye con la amazonia la extensión más grande de bosques que tiene Colombia. El litoral pacífico está considerado como el andén pacificado.

La región tiene más de 240 ríos de la abundante caudal; las cuencas hidrográficas más importantes están consideradas por los ríos San Juan, Patía, Baudó, Mira Micay, Mataje, Guapi, Iscuande, Naya, Yuramangui, Dagua y Archicaya. La excesiva humedad y la temperatura, propias del bosque muy húmedo o súper húmedo tropical, acelerando los procesos de alteración de los minerales primarios y causando la pérdida por lavado (lixiviación), de los elementos químicos, muchos de los cuales son indispensables para la nutrición de las plantas.

1.1.2 Formaciones Vegetales

La vegetación es uno de los indicadores de desarrollo de los sectores agroforestal y pecuario como se explica en la tesis “Desarrollo Integral De La Cuenca Pacífica Colombiana”; comprende las siguientes asociaciones vegetales:

- playones de arena con escasa cobertura de arbustos.
- Bosques de manglar
- Bosques de natal
- Bosques de guandal
- Hylae del pacífico en mosaico con bosques inundables
- Hylae del pacífico
- Zonas cenagosas
- Selva subandinas
- Selva subandina alta
- Selva andina
- Selva antiandina y subpáramo. (Colombiana & Cardona, 1952)

1.1.3 Suelos

Los suelos del litoral pacífico como se explica en la tesis “Desarrollo Integral De La Cuenca Pacifica Colombiana” son pobres químicamente, si se examina su fase mineral. En ellos, al igual que en la amazonia la alimentación vegetal depende principalmente de los nutrientes almacenados en la fase orgánica del ecosistema. Estos suelos, dadas sus condiciones fisicoquímicas, son principalmente de vocación forestal.

El mal manejo de ellos y el aprovechamiento inadecuado de los recursos agroforestales, pesqueros, mineros y de fauna silvestre, han conducido al estado de pauperización de los pobladores de estas áreas. (Colombiana & Cardona, 1952)

1.1.4 Energías Renovables

Ahora bien según las condiciones de la zona de estudio Litoral del Pacifico según el reporte de “energías renovables descripción y usos finales” de la UPME se plantea la revisión de las siguientes energías, sin embargo se estudiaran a fondo las energía solar y eólica.

- **Energía solar fotovoltaica** La luz del Sol se puede convertir directamente en electricidad mediante celdas solares, conocidas también como celdas fotovoltaicas, que son artefactos que utilizan materiales semiconductores. La corriente eléctrica puede ser utilizada inmediatamente o puede ser almacenada en una batería para utilizarla cuando se necesite. Una celda fotovoltaica típica puede ser cuadrada y medir 10 centímetros por lado y producir cerca de 1 vatio de electricidad, más que suficiente para que un reloj de pulsera funcione, pero no para encender un radio. Las celdas individuales se ensamblan para formar módulos (40 celdas); si se necesita generar más electricidad los módulos se agrupan para formar lo que se conoce como arreglo (10 módulos).
Funcionamiento. Un sistema solar fotovoltaico funciona cuando el campo de módulos fotovoltaicos convierte en corriente eléctrica directa la energía solar que recibe durante el día. Dicha corriente transporta y almacena la energía eléctrica en la batería para ser utilizada en el momento que el usuario lo requiera para el televisor, radio o iluminación. La energía eléctrica que los módulos fotovoltaicos envían a la batería y que ésta suministra a la carga pasa por el controlador de carga, cuya función es proteger a los otros elementos del sistema contra sobrecargas o descargas excesivas, altas corrientes y bajos voltajes. Todos los módulos se conectan en serie o en paralelo para obtener las tensiones y corrientes que provean la potencia deseada. Los módulos se fabrican, generalmente, para tener una salida de 12 Vdc, varían desde unos cuantos vatios fotovoltaicos (2.8 Vatios- pico, Wp) hasta 300 Wp, y su voltaje y corrientes son variables según la configuración de los paneles.(UPME, n.d.-a)
- La energía eólica según el reporte de “energías renovables descripción y usos finales” es la que está presente en forma de energía cinética en las corrientes de aire o viento. Para el aprovechamiento energético del viento es esencial realizar una valoración energética del recurso disponible en una localidad y una caracterización de su comportamiento. Las estimaciones del recurso eólico se

basan en algunas estrategias útiles como son la colección de información de manera empírica, anemómetros totalizadores, por factores de correlación, o por adquisición de datos en tiempo real.(UPME, n.d.-a)

- Energía por biomasa, según el reporte de “energías renovables descripción y usos finales” La mayoría de seres vivos, como las plantas y los animales que están en nuestro entorno, dependen de la luz del sol, el agua y el aire para vivir. Las plantas, por su parte, transforman y almacenan la energía que reciben del sol; esta energía bien puede ser utilizada para producir electricidad, combustibles, químicos o servir de alimento a otros seres vivos. Al recibir este alimento (energía) o al morir, los animales y los seres humanos producen residuos orgánicos que al descomponerse generan gases. Estos ciclos, al repetirse continuamente, aseguran que la energía de la biomasa esté disponible permanentemente y que, según su manejo, se logre un verdadero autoabastecimiento energético.

De todas las energías renovables la biomasa es la que mejor se aprovecha en el mundo ya que representa el 14% del consumo energético mundial. En Colombia solamente se tienen estudios preliminares de los cuales existen los siguientes datos de interés según el reporte de “energías renovables descripción y usos finales”:

- Bagazo de la caña: se estima una producción anual cercana a los 7.5 millones de toneladas de bagazo, gran parte de la cual se emplea en actividades de producción de calor. La capacidad instalada de sistemas (calderas- cogeneración) que aprovechan el bagazo de caña se estima en 25 MW.
- Cascarrilla de arroz: se producen más de 457.00 toneladas al año; los principales productores son los Santanderes, los Llanos Orientales y la Costa Atlántica.

Aún hacen falta estudios concretos sobre el potencial de cultivos y de producción de residuos vegetales así como también censos sobre la población animal, que

permitan saber con exactitud en qué regiones está la posibilidad de implementar sistemas para el aprovechamiento de este recurso. Como una primera y básica aproximación a partir del Mapa de cobertura vegetal, realizado por el IGAC en 1987, se establece la siguiente clasificación a partir del tipo de vegetación, de acuerdo con su aporte de biomasa:

- . Bajo: pastos, pajonales, páramos y nieves perpetuas, vegetación xerofítica, pantanos y ciénagas, arbustos, ciénagas, áridos.
 - . Medio: pastos densos, pastos con cobertura rala, cultivos, rastrojos, misceláneos, banano, café, palma africana, frutales.
 - . Alto: bosques primarios, intervenidos, plantado y caña.(UPME, n.d.-a)
- La energía hidráulica según el reporte de “energías renovables descripción y usos finales” es aquella que proviene del agua y que se manifiesta como energía cinética en el caudal de las corrientes, y como energía potencial en la altura de las caídas de los ríos

La energía hidráulica es el segundo recurso renovable más utilizado en el mundo. Colombia, debido a su situación privilegiada desde el punto de vista hidrológico, tiene un gran potencial para desarrollar proyectos que impliquen aprovechamientos hidráulicos. Como una primera aproximación para establecer el potencial físico hidroenergético se han tomado como base las características del territorio, en este caso, el agua y las posibilidades del terreno para aprovecharla, a partir de dos variables:

1. La escorrentía, caudal (Q) o cantidad de agua que el río transporta en un tiempo determinado.
2. La pendiente del terreno, cabeza hidráulica o altura disponible entre el nivel de la superficie del fluido y el lugar inferior de la caída. Para obtener el mapa se realiza la siguiente clasificación de donde se obtienen los cinco niveles alto, medio alto, medio bajo, bajo y muy bajo:
 - a) Escorrentía, (en mm al año) se le asignó un peso de 0.6 en las siguientes 5

clasificaciones: muy baja (0 - 1 000), baja (1 000- 1 500), media (1 500 - 2 000), alta (2 000-2 500) y muy alta (>2 500).

b) Pendiente del terreno (en porcentaje), se le asignó un peso del 0.4 en las siguientes 3 clasificaciones: baja (0 - 3%), media (3% - 15%) y alta (> 15%).(UPME, n.d.-a)

- Energía de los océanos según el reporte de “energías renovables descripción y usos finales” Los océanos cubren más del 70% de la superficie de la tierra lo que hace de ellos el más grande colector solar del mundo. En ellos se pueden encontrar dos tipos de energía: la térmica proveniente del calentamiento solar y la mecánica a partir de las mareas, las olas y las corrientes marinas. El sol calienta la superficie de los océanos en una proporción muy alta en comparación con las zonas profundas de los mismos, de esta manera se crea una diferencia de temperaturas que también puede ser aprovechada. Las mareas se originan por la fuerza gravitatoria que la luna y el sol ejercen sobre la tierra; los vientos contribuyen a la producción de olas. Estación La Rance, Francia (energía mareomotriz).

Los resultados esperados de las tecnologías que se utilizan para generar energía eléctrica poseen un nivel de incertidumbre muy alto por el alto riesgo que implica la construcción y operación, puesto que estarán sujetas a todas las adversidades que se pueden presentar en los océanos. .(UPME, n.d.-a)

1.1.5 El Municipio De Nuquí

Por otra parte se identifican los aspectos más relevantes del municipio según el plan de desarrollo Municipal:

El municipio de Nuquí es fundado el 18 de diciembre de 1917 por Juanito Castro y colonizado por Jesús Muñoz y Matilde López. Por otra parte el municipio limita al norte con el

municipio de Bahía Solano, Al sur con el Municipio del Bajo Baudó, Al Oriente con el Alto Baudó, Al occidente con el Océano Pacifico.

En el siguiente cuadro se relacionan algunas de las características más importantes del municipio de Nuquí y sus características según lo muestra la alcaldía de este municipio, en su plan de desarrollo Municipal.

Tabla 2

Municipio de Nuquí

Característica	Descripción
Extensión total	956(Km2) Km2
Extensión área urbana	70(km2) Km2
Extensión área rural	886(Km2) Km2
Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar)	5 msnm
Temperatura media:	28°C C
Distancia de referencia:	184 Km aproximadamente – Quibdó

Nota: Tomada de (Alcaldía de Nuquí-Chocó., n.d.)

Según la página del municipio, la población actual corresponde a 7366 habitantes de los cuales 3095 corresponden a la cabecera municipal, 2679 en la zona urbana y 1592 comunidades indígenas. Sus tierras están regadas por los ríos Arusí, Coquí, Panguí, Chori, Jovi, Tribugá, Jurubira, Nuquí. Los ríos Arusí, Coquí, Chorí y Joví son de escaso caudal, desembocan en la bahías y radas del mismo nombre posee aeropuerto y la comunicación y transporte se realiza con buenaventura, Quibdó y Bahía Solano.

La economía según lo explica el informe general de Nuquí- Choco; la constituye la pesca, ganadería en menor escala y la agricultura. Actualmente se encuentra en construcción la carretera Panamericana, que sale a esta población, la cual constituirá la red de comunicación y transporte más importante del pacifico Colombiano. El municipio de Nuquí- Choco ubicado cerca de la capital del departamento, como se evidencia en la figura 2 tomada de (Alcaldía de Nuquí-Chocó., n.d.), cuenta actualmente con 8 corregimientos; Jurubirá, Tribugá, Panguí, Coquí, Joví,

Termales, Partado y Arusí, y con 6 comunidades indígenas Panguí, Nuquí, Jurubirá, Chori – Puerto Indio, Chori – Loma, Chori – Jagua.(Alcaldía de Nuquí-Chocó., n.d.)



Figura 2. Municipio de Nuquí-Chocó.

1.1.6 Corregimiento de Jurubirá:

Actualmente el municipio de Nuquí según el plan de desarrollo del municipio de Nuquí 2012-2015 cuenta con 8 corregimientos dentro de los cuales se encuentra el corregimiento de Jurubirá; este limita al norte con el resguardo indígena Alto Baudó, el Parque Nacional Natural de Utría y el municipio de Bahía Solano, al sur con el corregimiento de Tribugá, al oriente con la comunidad indígena de Jurubirá y el río Chorí y al occidente con el Océano Pacífico.

Su población mayoritariamente negra, alcanza los 625 habitantes que se albergan en 120 casas. Poseen grupos organizados de eco turístico Copeagroture, los principales atractivos turísticos son: Los morros de Chorí, san Francisco, Cambutero, Redondo, de las Zancas, de los Pájaros, Pelao del Árbol (Gobernación del Chocó, 2012).



Figura 3. Población Infantil Del Corregimiento De Jurubirá.

En la tabla 3 se describen algunas de las características más importantes del corregimiento de Jurubirá según el plan de desarrollo del Municipio de Nuquí 2012-2015:

Tabla 3

Corregimiento de Jurubirá

CARACTERISTICA	DESCRIPCIÓN
Educación:	En cuanto a los servicios de educación este corregimiento cuenta con dos (2) C.E (centros educativos), y ocho docentes para la educación de la población de este corregimiento.
Acueducto y alcantarillado:	En la actualidad el corregimiento de Jurubirá no cuenta con el servicio de acueducto y alcantarillado. Puesto que se ha generado un déficit en cuanto a la obtención de recursos para la construcción de estas plantas de tratamiento de aguas.
Cultura:	El corregimiento cuenta con una festividad patronal conmemorada por la virgen del Carmen la cual es celebrada el 16 de julio.
Recreación y deporte:	En la actualidad el corregimiento de Jurubirá no cuenta con infraestructura para la recreación y deporte.
Vivienda:	En corregimiento de Jurubirá se encuentran ubicadas

120 casas sin embargo la mayoría de estas presentan problemas a nivel de infraestructura dados por las condiciones de erosión del suelo ocasionado por la cercanía que existe con fuentes de agua como lo son los ríos Nuquí y Ancachí.

Sector agropecuario y pecuaria:

La población del corregimiento de Jurubirá se dedica principalmente a cultivar; arroz, banano, plátano y en menor cantidad; yuca, caña y algunos frutales. En cuanto a la producción pecuaria la población de este corregimiento se dedica principalmente a la producción de cerdos y en una menor cantidad a la producción de ganado.

Nota: Datos tomados de (Choco, 2012)

1.2 Marco Conceptual

1.2.1 Energías Renovables No Convencionales

A diferencia de las energías fósiles, las energías renovables se caracterizan porque en sus procesos de transformación y aprovechamiento en energía útil no se consumen ni se agotan en una escala humana. Entre estas fuentes de energías están: la hidráulica, la solar, la eólica y la de los océanos. Además, dependiendo de su forma de explotación, también pueden ser catalogadas como renovables la energía proveniente de la biomasa, la energía geotérmica y los biocombustibles. Las energías renovables suelen clasificarse como lo explica el Ministerio de Energía de Chile en su reporte de energías renovables no convencionales en convencionales y no convencionales, según sea el grado de desarrollo de las tecnologías para su aprovechamiento y la penetración en los mercados energéticos que presenten. Dentro de las convencionales, la más importante es la hidráulica a gran escala.(Chile, 2009)

1.2.2 Contexto Internacional

Desde los 90, como lo explica el Ministerio de Energía de Chile en su reporte de energías renovables no convencionales se observa a nivel internacional un notable aumento de la participación de las ERNC en los mercados energéticos. A comienzos de 2007, la capacidad instalada de generación eléctrica con ERNC alcanza los 182 GW a nivel mundial, equivalente a un 4 por ciento de la capacidad instalada total (4.100 GW).

Este aumento es resultado de la introducción de mecanismos de incentivos para las ERNC en diversos países. La motivación para los países de invertir en este sector se debe, entre otras razones, a la necesidad de diversificar las fuentes energéticas para lograr una mayor independencia de las importaciones, una mayor seguridad en el suministro y en abordar aspectos relacionados con el desarrollo sustentable.(Chile, 2009)

1.2.3 Beneficios De Las ERNC (Energías Renovables No Convencionales):

Según el Ministerio de Energía de Chile en su reporte de energías renovables no convencionales:

- ✓ Fuentes autóctonas que contribuyen a la diversificación y a disminuir la vulnerabilidad externa.
- ✓ Costos de generación estables. Independientes de costos de derivados del petróleo. Contribuyen a disminuir la incertidumbre del precio a largo plazo de la energía.
- ✓ Suministro confiable en escalas temporales largas: Poca variabilidad interanual (eólica, biomasa, geotermia), a excepción de la pequeña hidráulica.
- ✓ Menores plazos de maduración y construcción (eólica, biomasa, pequeña hidráulica), a excepción de la geotermia.
- ✓ Proyectos pequeños o modulares y distribuidos geográficamente, lo que brinda flexibilidad para adaptarse al crecimiento de la demanda sistémica y local.
- ✓ En términos generales, las ERNC son de menor impacto ambiental (local y global).
- ✓ Pueden contribuir a valorizar zonas degradadas o de bajo valor. Por ejemplo, proyectos eólicos en zonas de secano costero.

- ✓ Pueden contribuir a diversificar los giros de negocios de diferentes actividades industriales y agropecuarias (uso de residuos de biomasa).
- ✓ Oportunidades para el desarrollo tecnológico o de industria de servicios propios (geotermia, biomasa, biogás).(Chile, 2009)

1.2.4 Colombia Una Potencia En Energías Alternativas

El agotamiento de las fuentes tradicionales de energía (combustibles fósiles) como lo explica el Ministerio de Educación en su reporte “Colombia una potencia en Energías Alternativas” ha puesto a la mayoría de países del mundo a encontrar soluciones en energías alternativas. Colombia tiene un gran potencial en la generación de este tipo de energías por su posición geográfica y ya está trabajando en ello. Las energías alternativas o renovables son las que se aprovechan directamente de recursos considerados inagotables como el sol, el viento, los cuerpos de agua, la vegetación o el calor interior de la tierra.(Educación, 2013)

La Agencia Internacional de Energía (AIE) dice que la base de la vida moderna del mundo depende en un 80% del petróleo y que a medida que los países se industrializan y sus poblaciones aumentan, también crece el consumo de energía.

En Colombia como lo explica el Ministerio de Educación en su reporte “Colombia una potencia en Energías Alternativas” la producción de energía primaria proviene de la hidroelectricidad, por la abundancia de agua en la mayoría de zonas del país, y en un segundo lugar de los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón), cuyas reservas ya se están agotando. Por eso el Gobierno Nacional en los últimos años ha invertido en el desarrollo y aplicación de tecnologías alternativas de producción de energía, que funcionen con recursos renovables, para solucionar el problema de la crisis energética mundial y contribuir a un medio ambiente más limpio. (Ministerio de Educación, 2013)

Según La Unidad de Planeación Nacional Minero Energética (UPME), las energías renovables cubren actualmente cerca del 20% del consumo mundial de electricidad.

1.2.5 Energía Solar



Figura 4. Energía Solar Fotovoltaica. Fuente

Algunos de los estudios que se adelantan en materia energética en el país son desarrollados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) que en conjunto con la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) desarrollan desde 2004 un documento de referencia en el país que contiene 13 mapas específicos en “Energía Solar”, uno para cada mes del año y uno adicional que compila el promedio anual; este documento se conoce como “Atlas de Radiación Solar de Colombia”, definido como un compendio de mapas que evidencian el valor promedio diario de radiación solar global, brillo y radiación ultravioleta por metro cuadrado.

Este instrumento “Atlas de Radiación Solar de Colombia” permite: Identificar las zonas estratégicas para el desarrollo de este tipo de energía, para lograr con éxito la implementación de tecnologías como sistemas fotovoltaicos o térmicos que transformen tal potencial en electricidad, tecnologías encaminadas a la destilación solar para la separación de contaminantes, tecnologías que logren la climatización de edificios e incluso como fuente directa para la producción de biomasa. Determinar las zonas más favorables dentro del territorio colombiano para el desarrollo de este tipo de energía, dentro de las que el informe destaca La Guajira y la Orinoquia.

	TESIS DE GRADO GESEA - SEMILLERO DE GESTIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICO-AMBIENTAL	ENTREGA FINAL
---	---	----------------------

Establecer el documento como un referente técnico y científico para las áreas de: biología, agronomía, ecología, ingeniería energética, y medicina, entre otras (IDEAM & UPME, 2005).

En el Atlas de Radiación Solar de Colombia, se encuentra el mapa de Radiación Solar Global para 2005, que destaca las zonas más favorables para el desarrollo de proyectos que involucren Energía Solar, dentro de las cuales se encuentran los departamentos de: La Guajira, Atlántico, Magdalena, Sucre; la zona norte de los departamentos de Bolívar, Cesar y Córdoba; y el nororiente de los departamentos de Arauca y Vichada. Al comparar este documento con otros similares que anteriormente había desarrollado el IDEAM en este se evidencia “la influencia de las cordilleras y de las zonas planas, encontrándose que la distribución de los rangos de valores de la radiación solar refleja la existencia de las cordilleras” (IDEAM & UPME, 2005).

Este tipo de energía como lo explica el Ministerio de Educación en su reporte “Colombia una potencia en Energías Alternativas” es gratuita, no genera emisiones y es silenciosa. Además es una de las pocas tecnologías renovables que pueden ser integradas al paisaje urbano y es útil en zonas rurales de difícil acceso. En Colombia se podría generar en mayor escala en las zonas del Magdalena, La Guajira, San Andrés y Providencia. (Educación, 2013)

1.2.6 Energía Hidráulica

El Plan Energético Nacional 2006-2025, contempla que la energía hidráulica es la más desarrollada en Colombia, representando en promedio el 75% de la generación de electricidad. Lo anterior, pese a los efectos que este tipo de energía ocasiona en el ambiente, como desplazamientos de biodiversidad generados por la inundación de grandes extensiones de tierras, donde se obliga a muchas de las especies a desplazarse o eventualmente a su extinción. Esto también ha sido la causa del desplazamiento o migración de muchos asentamientos humanos aledaños a las zonas de intervención.

La implementación de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, como lo explica el “análisis costo beneficio de energías renovables no convencionales en Colombia” hace que disminuyan en gran medida estos efectos secundarios para el hábitat. Muchas de estas centrales son clasificadas como proyectos MDL; en el documento de Canseco (2010, 11) se encuentra un proyecto de este

tipo denominado “Desplazamiento de la Electricidad de la Red Eléctrica Nacional por la Autogeneración de Energía Renovable en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cañaveralejo”, el cual tuvo como objetivo generar electricidad desde una planta de tratamiento de aguas residuales hasta satisfacer el consumo de la misma central (UPME 2007).

La hidroelectricidad es un método altamente eficiente según el Ministerio de Educación en su reporte “Colombia una potencia en Energías Alternativas” en la generación de electricidad y no contamina. Sólo es aconsejable para los países que tienen climas y topografías apropiadas, como Colombia, donde hay un gran desarrollo de estas infraestructuras. Para generar este tipo de energía se deben construir represas, que pueden incluir la desviación del curso de ríos, inundación de tierras arables y el desplazamiento de personas. Por otro lado, los hábitats silvestres son afectados y los peces pueden morir atrapados en las turbinas tal como se evidencia en la figura 5 (Ministerio de Educación, 2013):



Figura 5. Represa De Una Planta De Energía Hidráulica

1.2.7 Energía Eólica

El viento según lo explica el Ministerio de Educación en su reporte “Colombia una potencia en Energías Alternativas”; es aire en movimiento, una forma indirecta de la energía solar, este movimiento de las masas de aire se origina por diferencia de temperatura causada por la radiación solar sobre la tierra. Cuando el aire se calienta, su densidad se hace menor y sube,

mientras que las capas frías descienden, así se establece una doble corriente de aire. La energía eólica puede transformarse principalmente en energía eléctrica por medio de aerogeneradores, o en fuerza motriz empleando molinos de viento. Es una energía segura y gratuita, pero tiene las desventajas de que la velocidad del viento es variable y poco confiable, los aerogeneradores producen ruido y la vida silvestre puede verse afectada, ya que existe el riesgo que las aves caigan en ellos y mueran. En Colombia la zona norte cuenta con las mejores potencialidades para generar este recurso. Por ejemplo, en la Alta Guajira, Empresas Públicas de Medellín (EPM) puso en funcionamiento el primer parque eólico, Jepirachí, con 15 aerogeneradores que aportan 19.5 megavatios al Sistema Interconectado Nacional. (Educación, 2013)

En los resultados del “Atlas de Viento Y Energía Eólica En Colombia”, se destacan 16 lugares de Colombia aptos para el desarrollo e implantación de tecnologías a favor de este tipo de energía, tres de estos lugares presentan vientos “persistentes y superiores a 5 m/s durante todo el año: Galerazamba en el Departamento de Bolívar, Gachaneca en Boyacá y la isla de San Andrés en el mar Caribe colombiano”; otros tres lugares se destacan porque las “velocidades son persistentes pero en el rango entre los 4 y 5m/s: La Legiosa en el Huila, Isla de Providencia en el Mar Caribe y Riohacha en La Guajira”; los restantes diez lugares a pesar de que no presentan una continuidad en velocidad, determinan épocas especiales del año como son: “Villa Carmen en Boyacá, Obonuco en Nariño, Cúcuta y Ábrego en Norte de Santander, Urrao en Antioquia, Soledad en Atlántico, Santa Marta en Magdalena, Bucaramanga en Santander, Anchique en Tolima y Bogotá en Cundinamarca” (IDEAM & UPME, 2006, 15).

Frente a este mismo tema, el Plan Energético Nacional 2006-2025 destaca el proyecto Jepirachi, como un proyecto innovador en el país, con una capacidad instalada de 19,5 MW, y cuya generación de energía se considera limpia porque no produce efectos secundarios y al mismo tiempo ayuda a reducir los gases efecto invernadero sin involucrar combustión de ningún tipo. Sin embargo, a pesar de estas ventajas, se debe tener en cuenta que la intermitencia de los vientos puede generar bajas tasas de producción (UPME, 2007).



Figura 6. Aerogeneradores Utilizados En La Guajira-Colombia

1.2.8 Energía Oceánica

Los océanos según lo explica el Ministerio de Educación en su reporte “Colombia una potencia en Energías Alternativas”; cubren más del 70% de la energía terrestre. En ellos se pueden encontrar dos tipos de energía: la térmica que proviene del calentamiento solar y la mecánica a partir de las mareas y las olas. El sol calienta la superficie de los océanos en una proporción muy alta, en comparación con las zonas profundas, de esta manera se crea una diferencia de temperaturas que también puede ser aprovechada, pero es insegura por los fenómenos a que están sujetos los océanos. (Educación, 2013). Colombia, según el UPME, tiene un potencial estimado en los 3000 Km de costas colombianas de 30 GW.

En el caso de la energía oceánica como lo explica John M. Polo en su artículo “Potencial de generación de energía a lo largo de la costa colombiana mediante el uso de corrientes inducidas por mareas”, el potencial de generación a lo largo de la costa colombiana está dado por el uso de corrientes inducidas por mareas, técnica que requiere de tecnologías mucho más avanzadas de las actuales, para el aprovechamiento del recurso energético. En los estudios de este tipo de energías en la costa pacífica colombiana se han podido establecer varias bahías con amplios potenciales

de generación eléctrica por corrientes, es el caso de: La Bahía Punta Catripe, Bahía Delta Chavica, Bahía Bocana Raposo, Bahía Boca Naya y Bahía Bocana Armerías (Polo et al., 2008).

Así mismo según el artículo “una revisión a la reglamentación e incentivos de las energías renovables en Colombia.” se refiere a la energía de las olas, enunciando las corrientes que afectan las costas colombianas: “en el Atlántico por la corriente del Nordeste del Brasil, que posteriormente alimenta la corriente del Golfo, y en el Pacífico por la corriente de Humbolt, que se mueve por la costa occidental de Suramérica desde el Ártico y es una corriente fría”.(AGUIRRE, 2012). En la figura 7 se evidencia un ejemplo de un equipo montado en zona oceánica, tomada de (eleconomista, 2015)



Figura 7. Plataforma Flotante Prototipo De Siemens.

La principal característica que el mar como lo explica la asociación Ecogent en su artículo “Aprovechamiento De La Energía Del Mar” nos ofrece, y concretamente las energías marinas, es su densidad, la cual es muchísimo mayor que en cualquier otro tipo de energía. Pensemos por ejemplo en la energía eólica, los aerogeneradores no siempre están funcionando ya que es necesaria una velocidad mínima para que estos se pongan en funcionamiento. Pensemos ahora en los millones de litros de agua marina moviéndose continuamente por influencia de la luna, las olas, las subidas y bajadas de las mareas, la concentración de sal, etc. Sin duda, el potencial del mar es muchísimo mayor que cualquier otro tipo de energía limpia.

Básicamente existen cinco principios o formas de obtención de energía del mar según el artículo “Aprovechamiento De La Energía Del Mar”:

- Las mareas, basadas en las subidas y bajadas del nivel del mar provocadas por los efectos gravitatorios de la Tierra, el Sol y la Luna.
- Las olas, provocadas por la acción del viento sobre la superficie del mar, trasladándose a través de kilómetros de distancia.
- Las corrientes marinas, originadas por las diferencias de sal, temperatura, densidad, así como la evaporación y la rotación de la tierra.
- El gradiente térmico, es decir, la diferencia de temperatura existente entre las distintas capas de agua más o menos profundas.
- El gradiente salino, que aprovecha la diferencia de concentración de sal entre las aguas del mar y la de los ríos.(Ecogent, 2008)

1.2.9 Energía Geotérmica

La Energía Geotérmica según lo explica el Ministerio de Educación en su reporte “Colombia una potencia en Energías Alternativas”; proviene del calor procedente del centro de la tierra. Se transforma mediante perforaciones muy profundas para usar la fuerza calorífica bajo la superficie de la tierra para producir electricidad.

Esta energía es libre de contaminación, pero cuesta dos o tres veces más de lo normal y es limitada en zonas con actividad tectónica.

El Atlas Geotérmico de Colombia destaca como zonas de mayor potencialidad los volcanes Chiles - Cerro negro, el volcán Azufral en el departamento de Nariño, El Parque Nacional de los Nevados y el Área Geotérmica de Paipa - Iza Boyacá. (Educación, 2013). En la figura 8 se evidencia un ejemplo de una planta de energía geotérmica, tomada de (isolari, n.d.)



Figura 8. Central Eléctrica Geotérmica

1.2.10 Energía mareomotriz:

La energía mareomotriz la describe Carmen Castillo Martin en su tesis “Energía Renovable Energía Oceánica” como aquella que resulta de aprovechar las mareas, es decir, la diferencia de altura media de los mares. Las mareas son oscilaciones periódicas del nivel del mar. La energía mareomotriz se aprovecha embalsando agua del mar en bahías naturales. Durante el ascenso y descenso de las mareas el agua pasa a través de una serie de turbinas hidráulicas, lo que genera energía mecánica y, en última instancia, energía eléctrica. El movimiento ascendente del agua se llama flujo, creciente, marea alta o entrante. Cuando el agua alcanza el nivel más alto (pleamar) el avance de ésta se suspende. En la superficie del mar permanece en calma y estacionaria durante ocho o diez minutos. Posteriormente, se produce un movimiento de descenso se llamado refluo, bajante, marea baja o saliente. El nivel más bajo alcanzado por el mar se denomina bajamar.

El período es el tiempo comprendido entre una pleamar y la bajamar que la sigue. El periodo dura aproximadamente 6 horas y 12 minutos. Se denomina amplitud de una marea a la diferencia de nivel entre la pleamar y la bajamar. La altura de las mareas es distinta durante el curso del año, se debe a que se modifica la intensidad de atracción según la posición de la Luna y del Sol respecto de la Tierra.(Martin, 2009)

1.2.11 Energía undimotriz

La energía undimotriz según lo explica el Ing. Haim Pablo Alejandro en su documento “Energía Undimotriz” esta energía es aquella que poseen las ondas marinas. Las ondas marinas a su vez son una fuente de energía inagotable y limpia, es decir, representa una excelente oportunidad para la generación de energía eléctrica en forma sustentable.

Las plantas de transformación de energía undimotriz, también denominadas olamotriz, a eléctrica están constituidas, generalmente, por una cierta cantidad de dispositivo, tipo parque. En su mayoría, los equipos modulares generan energía eléctrica en alterna, en el mismo equipo es transformado a corriente continua, luego se colecta esta energía en corriente continua de todos los equipos para ser enviado mediante un único cable submarino a una estación transformadora de corriente continua a alterna.

La energía undimotriz está en una etapa de transición donde recién en esta década se están instalando equipos de etapa comercial, por lo que los costos de la energía son inicialmente altos como toda tecnología nueva.

La mayoría de los proyectos de aprovechamiento de la energía undimotriz se están llevando a cabo en el Reino Unido de la Gran Bretaña, Portugal y España; la mayoría de ellos se encuentran en estado experimental y solo unos pocos en la etapa comercial.

La energía generada a partir de estos dispositivo puede ser catalogada como “energía limpia”; esta definición se basa en que para su generación no necesita tan solo del viento y no genera ningún tipo de productos residuales ni se emite dióxido de carbono al ambiente, solo se produce la conversión de la energía undimotriz en fluido eléctrico mediante un dispositivo electromecánico. (Renovables, 2010)

1.2.12 Energía De Biomasa

La biomasa según lo explica el Ministerio de Educación en su reporte “Colombia una potencia en Energías Alternativas”; es cualquier material de tipo orgánico proveniente de seres vivos que puede utilizarse para producir energía. Se produce al quemar biomasa, como madera o plantas.

Utilizan tecnologías que dependen de la cantidad y clase de biomasa disponible. Con los principales sistemas de transformación pueden obtenerse combustibles, energía eléctrica, fuerza motriz o energía térmica.

Este tipo de energía emite poco dióxido de carbono y podría ser una solución a los métodos alternativos para eliminar desechos (entierro de basura y quema al aire libre). La dificultad es que requiere alta inversión de capital y su rentabilidad sólo se vería a largo plazo.

En Colombia se tienen estudios de producción de biomasa con el bagazo de la caña, que se estima una producción anual de 1.5 millones de toneladas y de cascarilla de arroz, con la que se producen más de 457.000 toneladas al año. Las zonas más adecuadas para generar esta energía son los Santanderes, los Llanos Orientales y la Costa Atlántica. (Educación, 2013). En la figura 9 se evidencia un ejemplo de planta de extracción de energía por biomasa, tomada de (agenciaandaluz, n.d.):



Figura 9. Planta de extracción de la energía contenida en la biomasa.

Ahora bien luego de realizar la revisión bibliográfica de las diferentes tecnologías de las energías renovables a utilizar, procede a realizar la revisión del software RETSCREEN con el cual se plantea dentro del proyecto realizar el análisis la capacidad técnica de la generación de energía en la zona de estudio e identificar costo de operacional mínimo por kWh de electricidad generada.

	TESIS DE GRADO GESEA - SEMILLERO DE GESTIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICO-AMBIENTAL	ENTREGA FINAL
---	---	----------------------

1.2.13 RETScreen

Es un sistema software de gestión de energías limpias para el análisis de viabilidad de proyectos de eficiencia energética, energías renovables y cogeneración, así como para el análisis del rendimiento energético operativo. Existen dos tipos de software; el RETScreen 4 y el RETScreen Plus.

RETScreen 4 es una herramienta de software de análisis de proyectos de energía limpia basada en Excel que ayuda a los gestores a determinar de manera rápida y económica la viabilidad técnica y financiera de proyectos potenciales de energía renovable, eficiencia energética y cogeneración.

RETScreen Plus es una herramienta de software de gestión energética basada en Windows que permite a los responsables de proyectos comprobar con facilidad el desempeño energético de sus instalaciones. (Canada., n.d.).

- Conceptos Financieros

A continuación se realiza la debida revisión bibliográfica de los conceptos financieros más relevantes dentro del análisis financiero del presente proyecto.

1.2.14 TIO (Tasa Interna De Oportunidad):

La tasa interna de oportunidad o tasa de interés de oportunidad o tasa mínima de descuento según el artículo “La Tasa Interna de Oportunidad – TIO- y la creación de empresas”, es la tasa de interés mínima a la que el gestor o el inversor, está dispuesto a ganar al invertir en un proyecto. Esta tasa es bien importante y a veces no se les da la relevancia que merece.

Puede suceder que las técnicas y herramientas utilizadas para desarrollar y evaluar un proyecto en cada uno de los estudios sean las más apropiadas, pero si se utiliza una TIO inadecuada, puede conducir a interpretaciones falsas.

La TIO es la tasa mínima que se utiliza para determinar el valor actual neto de los flujos futuros de caja del proyecto y es la rentabilidad mínima que se le debe exigir el proyecto para tomar la decisión de no invertir en un uso alternativo de los recursos o en otro proyecto. (Olaya, 2008)

1.2.15 TIR (Tasa Interna De Retorno):

La tasa interna de retorno de una inversión o proyecto es la tasa efectiva anual compuesto de retorno o tasa de descuento que hace que el valor actual neto de todos los flujos de efectivo (tanto positivos como negativos) de una determinada inversión igual a cero.

En términos más específicos, la TIR de la inversión es la tasa de interés a la que el valor actual neto de los costos (los flujos de caja negativos) de la inversión es igual al valor presente neto de los beneficios (flujos positivos de efectivo) de la inversión.

Las tasas internas de retorno se utilizan habitualmente para evaluar la conveniencia de las inversiones o proyectos. Cuanto mayor sea la tasa interna de retorno de un proyecto, más deseable será llevar a cabo el proyecto. Suponiendo que todos los demás factores iguales entre los diferentes proyectos, el proyecto de mayor TIR probablemente sería considerado el primer y mejor realizado. (Financiera, n.d.)

1.3 Marco Legal

Como se detalló anteriormente, Colombia tiene un potencial enorme para producir energía a base de fuentes renovables, debido a su ubicación geográfica y a la disponibilidad de recursos. Frente a esto, las políticas y legislación creadas en el país acorde al tema energético abarcan no solo el tema directo de energía en cuestiones de producción, distribución y comercialización, sino temas relacionados con medio ambiente, sociedad y servicios públicos. Igualmente, la zona de estudio por ser una Zona No Interconectada (ZNI), también posee una serie de leyes que rigen el tema de energización y que son pertinentes para el presente proyecto. A continuación se detalla el marco

legal, normativo y regulatorio en la tabla 4, tomando datos de distintas fuentes como Congreso de Colombia, CREG, Ministerio de minas y energía, etc.:

Tabla 4

Marco legal colombiano

LEY/DECRETO/ NORMA	ASUNTO	DESCRIPCIÓN/ANÁLISIS
Constitución Política de Colombia (Asamblea Nacional Constituyente, 1991)	<i>Art. 79 Derecho a gozar de un ambiente sano.</i> <i>Art. 80 El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.</i>	El recurso energético proviene de los recursos naturales renovables del territorio Colombiano, por lo que su explotación y aprovechamiento debe conllevar no solo al buen uso, sino a la conservación y restauración del ambiente para que no se vulnere el derecho al ambiente sano.
Ley 99 de 1993 (Congreso Colombia, 1993)	<i>Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.</i>	El recurso energético proviene de los recursos naturales renovables del territorio Colombiano, por lo que la ley busca “Regular la conservación, preservación, uso y manejo del medio ambiente y de los recursos naturales renovables”.
Ley 142 de 1994 (Congreso Colombia, 1994a)	<i>Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.</i>	Son una prioridad para toda la población colombiana, la ley permite establecer no solo obligaciones de prestaciones del servicio y los prioritarios, sino el derecho de los usuarios a recibir energía eléctrica en sus viviendas.

Ley 143 de 1994 (Congreso de Colombia, 1994b)	<i>Por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética.</i>	Permite identificar todo lo correspondiente a la energía eléctrica en una población, lo que es de carácter prioritario tener en cuenta en el presente proyecto.
Ley 697 de 2001 (Congreso de Colombia, 2001)	<i>Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se Promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.</i>	Debido a que es un asunto social, y a que fomenta la utilización de energías alternativas producto del presente proyecto.
Decreto 3683 de 2003 (Congreso de Colombia, 2003a)	<i>Por el cual se reglamenta la Ley 697 de 2001 y se crea una Comisión Intersectorial.</i>	N/A
Ley 855 de 2003 (Congreso de Colombia, 2003b)	<i>Por la cual se definen las Zonas No Interconectadas.</i>	Dentro de las ZNI se encuentra la mayor parte del pacifico colombiano por lo que es prioridad en el presente proyecto.
Decreto 160 de 2004 (Minminas, 2004)	<i>Por el cual se reglamenta el fondo especial de Energía Social - FOES</i>	El fondeo especial de energía social es un mecanismo destinado a dar sostenibilidad a la prestación del servicio de energía eléctrica en las zonas denominadas por esta misma ley como de difícil gestión, áreas rurales de menor desarrollo y zonas subnormales, aplica para la zona de estudio.
Decreto 4299 de 2005 (Minminas, 2004)	<i>Por la cual se establecen los requisitos, obligaciones y el régimen sancionatorio, aplicables a los agentes de la cadena de distribución de combustibles líquidos derivados del petróleo, excepto GLP, señalados en el artículo 61 de la Ley 812 de 2003, con el fin de resguardar a las personas, los bienes y preservar el medio ambiente</i>	Permite corroborar la calidad del combustible según la ley colombiana

Ley 1117 de 2006 (Congreso de Colombia, 2006)	<i>Por la cual se expiden normas sobre normalización de redes eléctricas y de subsidios para estratos 1 y 2.</i>	Aplicable solamente para estudio de la factibilidad de normalización de la red eléctrica de la zona de estudio.
Decreto 1333 de 2007 (Minminas, 2007)	<i>Por el cual se modifica el Decreto 4299 de 2005 y se establecen otras disposiciones</i>	N/A
Decreto 388 de 2007 (Minminas, 2007)	<i>Por el cual se establecen las políticas y directrices relacionadas con el aseguramiento de la cobertura del servicio de electricidad, que debe seguir la Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG</i>	Contribuye a la calidad y cobertura en cuanto al suministro del servicio de energía, en pro del suministro constante de energía. Aplicable para los resultados esperados del presente estudio.
Decreto 1124 de 2008 (Minminas, 2008)	<i>Por el cual se reglamenta el Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas no Interconectadas -FAZNI-</i>	N/A solo aplica a proyectos presentados por entidades territoriales y por las Empresas Prestadoras del Servicio de Energía Eléctrica
Decreto 3450 de 2008 (Minminas, 2008)	<i>Por el cual se dictan medidas tendientes al uso racional y eficiente de la energía eléctrica.</i>	Direcciona estrategias en pro del ahorro y uso eficiente de la energía en la zona de estudio.
Decreto 3451 de 2008 (Minminas, 2008)	<i>Por el cual se modifica el Decreto 388 de 2007</i>	N/A (la modificación realizada).
Decreto 111 de 2012 (Minminas, 2012)	<i>Por el cual se reglamenta el Fondo de Energía Social – FOES, y se dictan otras disposiciones.</i>	Aplicable por el tipo de zona de estudio, las cuales entran dentro de la clasificación dada por el FOES.
Decreto 1144 de 2013 (Minminas, 2013)	<i>Por el cual se modifica y adiciona el decreto 111 de 2012</i>	Identificar la aplicabilidad de cubrir un valor de hasta cuarenta y seis pesos (\$46) por kilovatio hora, del valor de la energía eléctrica destinada al consumo de subsistencia de los usuarios residenciales de los estratos 1 y 2 de las Áreas Rurales de Menor Desarrollo, Zonas de Difícil Gestión y Barrios Subnormales. Según los establece el decreto.



**TESIS DE GRADO
GESEA - SEMILLERO DE GESTIÓN ENERGÉTICA
Y SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICO-AMBIENTAL**

ENTREGA FINAL

Ley 1715 de 2014 (Congreso Colombia, 2014)	<i>Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional.</i>	Impulsa la investigación y financiación a proyectos con enfoque de desarrollo de tecnologías limpias, buscando oportunidad de financiación del proyecto si se contempla en sus recomendaciones la implementación del mismo.
RESOLUCIÓN CREG 004 de 2014 (CREG, 2014)	<i>Por el cual se establece formula tarifaria y metodologías generales para remunerar las actividades de generación, distribución y comercialización del servicio de energía en ZNI</i>	Se utiliza como referencia para crear la tarifa social más adecuada para la zona de estudio, teniendo en cuenta que es parte de las ZNI
Resolución 182138 de 2007 (Minminas,2007)	<i>Por la cual se expide el Procedimiento para otorgar subsidios del sector eléctrico en las Zonas No Interconectadas.</i>	Presenta información sobre la demanda existente y capacidad energética de las ZNI
Resolución 90677 de 2014 (Minminas, 2014)	<i>Por la cual se establece el valor del flete de transporte entre planta mayorista hasta las estaciones de servicio para el Municipio de Bahía Solano - Chocó</i>	Permite corroborar la proveniencia del combustible utilizado en la zona de estudio

La tabla anterior presenta todo el marco legal al que el presente proyecto debe acogerse para no generar discrepancias con las exigencias legales del país. En la figura 10 se generaliza el marco legal en tres componentes principales: El marco general que abarca leyes a tener en cuenta en el proyecto, el marco energético y el marco de servicios públicos para todo lo concerniente al estudio tarifario.

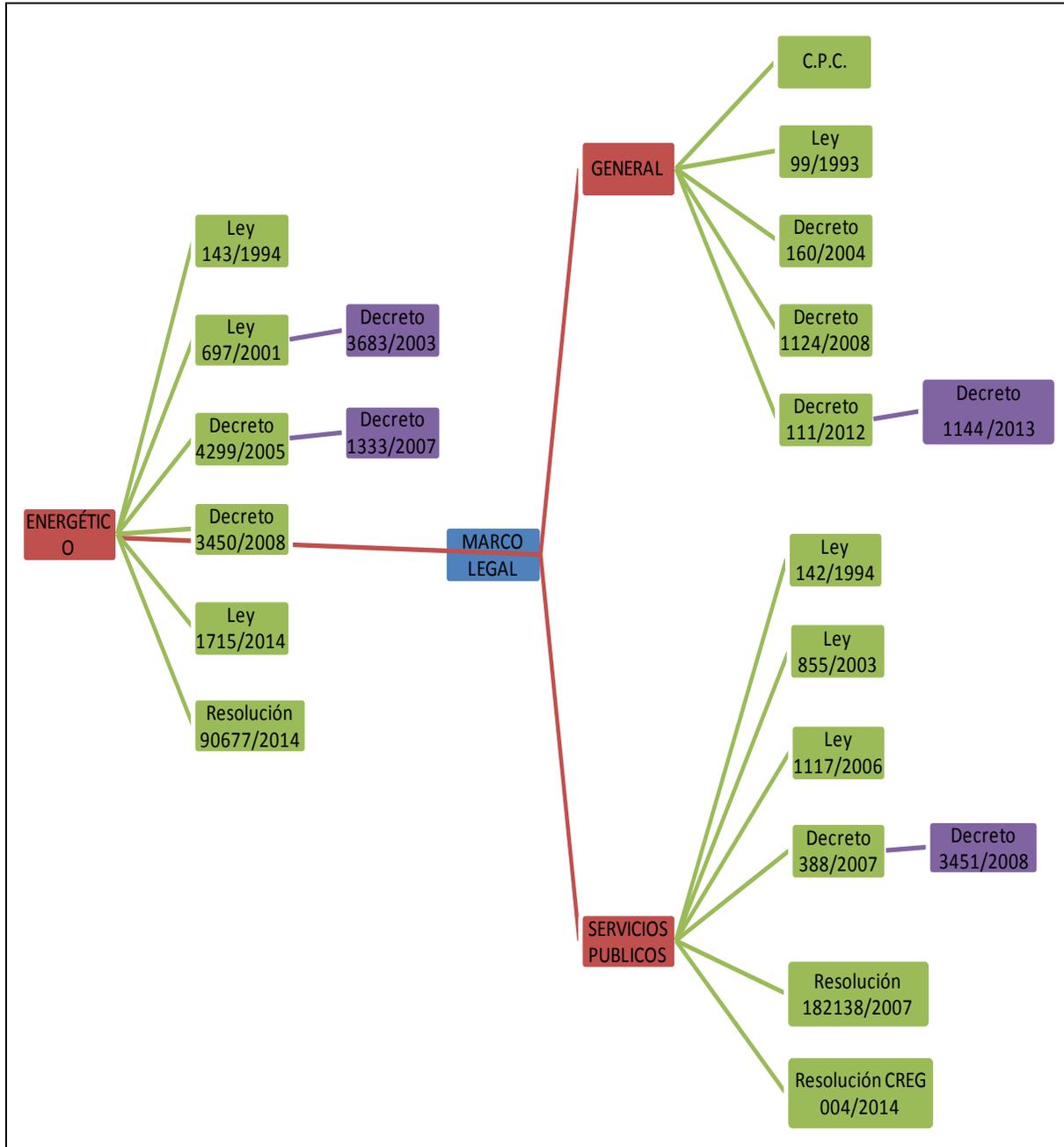


Figura 10: Diagrama de Marco Legal.

Tabla 5.

Normas técnicas colombianas aplicables a energías renovables

NTC	ASUNTO	DESCRIPCIÓN/ANÁLISIS
NTC-1736	Mecánica. Energía Solar. Definiciones Nomenclatura.	Establece términos, nomenclatura, simbología y unidades referentes a energía solar
NTC-2775	Energía Fotovoltaica. Definiciones y terminología	Establece definiciones, clasificación y designación de la energía fotovoltaica
NTC-4405	Eficiencia energética. Evaluación de la eficiencia de los sistemas solares fotovoltaicos y sus componentes.	Presenta una metodología para la evaluación de la eficiencia de los sistemas solares fotovoltaicos, reguladores y acumuladores, cubre la etapa de paneles o módulos, la etapa de regulación y de acumulación
NTC-5363 de 2013	Aerogeneradores. Requisitos de diseño	Presenta requisitos esenciales de diseño para asegurar la integridad de la ingeniería de los aerogeneradores. Su propósito es proveer un nivel de protección adecuado contra los daños por cualquier riesgo durante su vida útil planificada
NTC-5725	Aerogeneradores. Requisitos de diseño para aerogeneradores pequeños	Presenta requisitos esenciales de diseño de aerogeneradores pequeños, y normas de seguridad aplicables.

2. Tipo De Investigación

El tipo de investigación corresponde a una investigación descriptiva que permita caracterizar y analizar atributos de la zona de estudio correspondientes al componente social, económico, energético y ambiental sin influir directamente en dicha zona. A pesar que se utilizarán variables de tipo cualitativo para el presente proyecto, también serán usadas variables cuantitativas que permitan analizar estadísticamente la viabilidad de un proyecto de energía no convencional, sin implementarlo en la zona de estudio.

3. Diseño Metodológico

La metodología planteada se plasma en la tabla 6, aquí se logra identificar las actividades y las herramientas metodológicas para lograr el desarrollo de cada uno de los objetivos planteados, en el Ítem 1 se evidencia la caracterización del potencial de energía renovable en la zona, para lograr este objetivo se realiza una revisión bibliográfica donde se identifiquen principalmente los datos meteorológicos que se deben involucrar para identificar el potencial de las energías priorizadas; energía solar, mareomotriz, eólica y biomasa. Una vez identificados estos datos se procede a graficarlos por meses del año con el objetivo de identificar el comportamiento meteorológico teniendo en cuenta los mínimos, máximos y promedios, esto para evidenciar cuáles son los meses en los cuales se evidencia la presencia de condiciones meteorológicas aptas para la identificación del potencial energético por periodos de tiempo en el año estudiado.

Tabla 6

Diseño metodológico

ITEM	OBJETIVO	ACTIVIDADES	HERRAMIENTAS METODOLÓGICAS
1	Determinar el potencial de energía renovable en el corregimiento de Jurubirá del municipio de Nuquí, ubicado en la zona del Chocó.	Identificar el potencial energético de las fuentes alternativas de energía renovable posibles de implementar en Colombia	Revisión bibliográfica
2	Realizar un análisis comparativo entre las tecnologías de generación eléctrica renovable aplicables a las condiciones de la zona de estudio	Identificar las tecnologías más eficientes en el pacífico colombiano Valorar su aplicabilidad en la zona de estudio	Revisión Bibliográfica Matrices de evaluación multicriterio
3	Realizar un análisis de las condiciones técnicas, ambientales y económicas de las tecnologías con mayor viabilidad en la zona de estudio	Analizar la capacidad técnica de la generación de energía en la zona de estudio Analizar las emisiones de CO ₂ generadas por estas fuentes de energía y compararlas con fuentes de energía convencionales Analizar económicamente la posibilidad de implementar sistemas de energía alternativa en la zona de estudio	Revisión bibliográfica RETSCREEN Factores de emisión RETSCREEN Solicitud de cotizaciones Indicadores financieros y económicos, Flujos de caja
4	Determinar el costo de operacional mínimo por kWh de electricidad generada por la tecnología	Realizar una caracterización socioeconómica de la zona Realizar una caracterización	Revisión Bibliográfica



**TESIS DE GRADO
GESEA - SEMILLERO DE GESTIÓN ENERGÉTICA
Y SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICO-AMBIENTAL**

ENTREGA FINAL

de mayor viabilidad en la industrial de la zona de estudio Revisión Bibliográfica
zona de estudio

Identificar el costo de producción mínimo que redunde en beneficios sociales para que la población acceda al servicio de energía. RETSCREEN (Ajuste de tarifas sin perder la viabilidad económica de la alternativa con mejores condiciones financieras)

Nota: Elaborada por el Autor

Ahora bien, en el Ítem 2 se identifican las tecnologías aplicadas para cada una de las energías renovables estudiadas, para esto se realiza una revisión bibliográfica la cual contiene las características de los posibles equipos a ser utilizados, tales como sus fichas técnicas, accesibilidad de compra y mantenimiento en el país junto con su adecuación en la zona de estudio entre otros. Una vez identificados se realiza una comparación entre estos equipos, con el objetivo de identificar cual es el más eficiente y rentable en cuanto a producción de energía en la zona de estudio teniendo en cuenta las gráficas desarrolladas en el Ítem número 1.

4. Capítulo I.

Caracterización del recurso energético de la zona de estudio.

Un adecuado manejo de los recursos energéticos puede lograr un incremento en la eficiencia energética de determinada zona o sector. Esta eficiencia energética hace referencia a disminución del consumo de energía producido a partir de recursos naturales no renovables con el fin de reducir la cantidad de energía consumida manteniendo el mismo servicio o nivel de determinada actividad. Para lograr una eficiencia energética se plantea como alternativa la generación o desarrollo de tecnologías que contribuyan a una obtención de energía sin afectar los recursos naturales. Además de esto la generación de estas alternativas contribuye a una disminución de los costos de la producción de energía, obteniendo resultados favorables a nivel económico y también ambiental.

Para poder llegar a esta eficiencia se es necesario desarrollar una caracterización energética con el objetivo de identificar la situación actual de los recursos naturales y las características meteorológicas con los cuales se cuenta para desarrollar alternativas energéticas que contribuyan a la solución de determinada problemática en cuanto a la obtención de energía en una población. Esta caracterización busca la recolección de datos principalmente meteorológicos con los cuales se identifica de manera cualitativa el potencial energético de determinada zona y así se logra evidenciar que tipo de energía y tecnología se puede implementar para generar energía de manera eficiente y constante en una población, que para este estudio carece de este servicio.

Para el desarrollo de esta capítulo se identifica que esta caracterización energética gira entorno a la zona de estudio (municipio de Nuquí-Choco), y se basa principalmente en una descripción y análisis cualitativo de los datos meteorológicos tales como como radiación solar, oleaje, altura de olas y velocidad de viento entre otras. (Cabe destacar que para este capítulo; la caracterización de energía por biomasa residual no tendrá en cuenta datos meteorológicos, si no datos de áreas cosechadas en la región) estos datos corresponden a los recursos naturales implícitos en la generación de energía solar, mareomotriz, eólica y biomasa residual.

A continuación se muestran los datos tomados de diferentes fuentes bibliográficas principalmente de instituciones de investigación del país y análisis del mismo especificados por cada una de las energías planteadas en el presente estudio.

4.1 Potencial De Energía Solar

La caracterización energética de la energía solar en Colombia se encuentra a cargo del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia) el cual se encarga de transformar la información meteorológica en información energética para poder publicarla en el Atlas De Radiación Solar De Colombia cuya última actualización se dio en el 2005.

Para la caracterización de este tipo de energía se es necesario identificar la radiación solar como factor importante en la eficiencia energética solar, puesto que este tipo de energía se encarga de captar la luz que emite el sol conjunto con la energía de la radiación solar para transformarla en energía térmica.

Los datos meteorológicos de este factor sirven para evidenciar el potencial energético que se produce a partir de esta radiación solar puesto que su aprovechamiento gira en torno a las horas del día en que hay sol, teniendo en cuenta las condiciones atmosféricas (nubosidad y brillo solar) y la ubicación geográfica.

Ahora bien según (UPME, n.d.-b), el litoral pacífico posee radiaciones inferiores a 3kWh/m². Sin embargo en el 2010 construyeron una central hibrida solar-diésel que abastece a 606 habitantes, con una producción del campo solar fotovoltaico de 110kwp (IPSE, 2013). Esto permite evidenciar que a pesar de su baja radiación, es posible implementar proyectos que modifiquen la curva de demanda energética de la zona, y a su vez cubra las necesidades energéticas de una zona específica.

Aquellos datos que se tomaron de referencia para analizar el potencial energético de la zona de estudio provienen del atlas de radiación solar generado en el año 2005 por (IDEAM, 2005a). El atlas, como lo indica en su apéndice D, recolecta la información histórica de radiación solar de 22 años atrás correspondientes al periodo 1980 – 2002. Igualmente, el atlas incluye todo tipo de

variables indispensables para el cálculo de la radiación solar, como lo cita (IDEAM, 2005a) en este mismo apéndice:

“La información se validó, modeló y almacenó utilizando hojas electrónicas de Excel con los valores diarios de radiación global, brillo, humedad, temperaturas máximas y mínimas, asociando las coordenadas de cada estación y la fecha de los datos. Posteriormente para cada día del año se realizaron los análisis estadísticos, el cálculo de la declinación (δ), la duración astronómica del día (N) y la radiación solar en la parte superior de la atmósfera (H_0).” (IDEAM, 2005a)

Teniendo en cuenta lo anterior, se presentan los datos extrapolados de los mapas de radiación solar para el municipio de Nuquí:

Tabla 7

Radiación solar municipio Nuquí año 2005

MES	RAD. S.	UNIDAD
Enero	3,9	kWh/m ² xdía
Febrero	4,2	kWh/m ² xdía
Marzo	4,3	kWh/m ² xdía
Abril	3,7	kWh/m ² x día
Mayo	3,6	kWh/m ² xdía
Junio	3,7	kWh/m ² x día
Julio	4,1	kWh/m ² xdía
Agosto	3,8	kWh/m ² x día
Septiembre	3,8	kWh/m ² xdía
Octubre	3,6	kWh/m ² xdía
Noviembre	3,3	kWh/m ² xdía
Diciembre	2,9	kWh/m ² xdía
Multianual	3,7	kWh/m ² xdía

Nota: Elaborada por el Autor. Referencia: (IDEAM, 2005a)

Los datos registrados para el municipio de Nuquí representan la cantidad de energía de la radiación solar que inciden por cada metro cuadrado de superficie horizontal, esto permite evidenciar que en la zona es posible retener un máximo de 4,3kWh/m²día, presentando dos picos

durante los meses de marzo y julio, y teniendo una radiación mínima de 2,9kWh/m²día en el mes de diciembre. Es posible analizar que la radiación en la zona no varía considerablemente y cabe aclarar que pueden existir horas del día con mayor radiación que otras. En la figura 11 se evidencian graficados los datos tomados de la tabla 7:

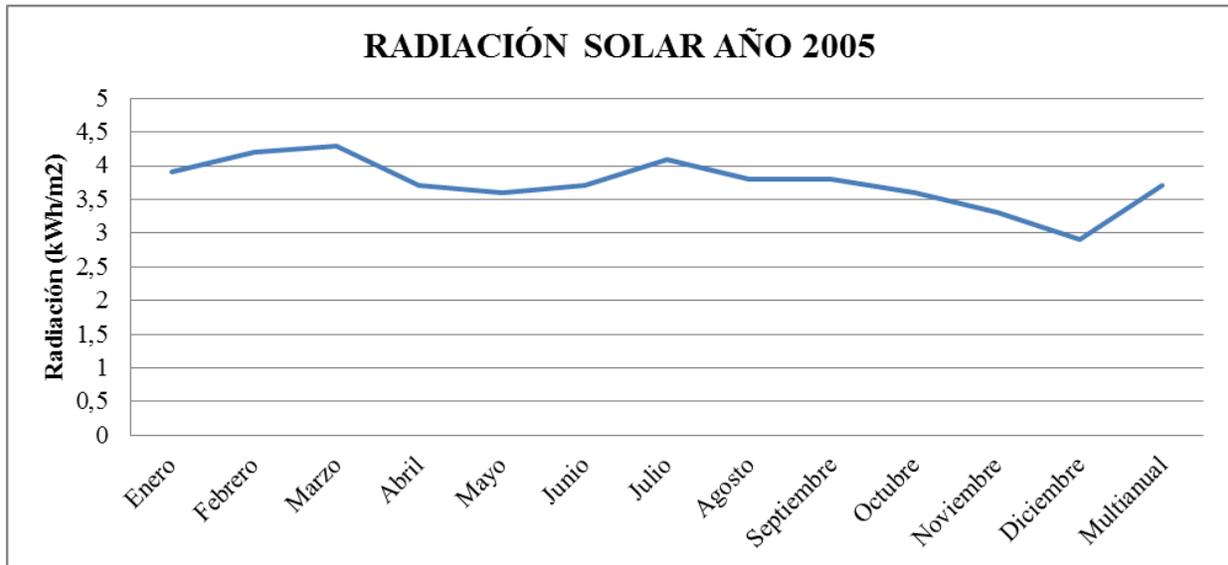


Figura 11. Radiación solar año 2005.

Como se denotó anteriormente, los datos de radiación solar del atlas fueron tomados por un periodo de 22 años. Sin embargo, para el presente proyecto se decidió buscar una segunda fuente bibliográfica más actual que permita corroborar la radiación solar de la zona, y por ende su potencia energética.

Así, se presentan los datos de radiación solar media diaria en kWh/m²/día, del municipio de Nuquí tomados de la base de datos de la (NASA 2015), referentes a datos meteorológicos de un periodo de 20 años, indicados en la tabla 8:

Tabla 8.

Radiación solar municipio de Nuquí periodo de 20 años

Month	Daily solar radiation - horizontal
	kWh/m ² /d
January	4,06
February	4,67
March	5,02
April	4,21
May	4,01
June	3,58
July	4,04
August	3,86
September	3,49
October	3,55
November	3,46
December	3,51
Annual	3,95

Nota: Elaborada por el Autor. Referencia: NASA

Comparando los datos tomados del atlas para el año 2005, junto con los datos de la NASA de un periodo de 20 años, se puede evidenciar que no se presenta un cambio significativo de radiación solar con el pasar de los años. En la figura 12 se puede evidenciar un pico de radiación para el mes de marzo y una radiación casi constante entre los meses de agosto y diciembre.

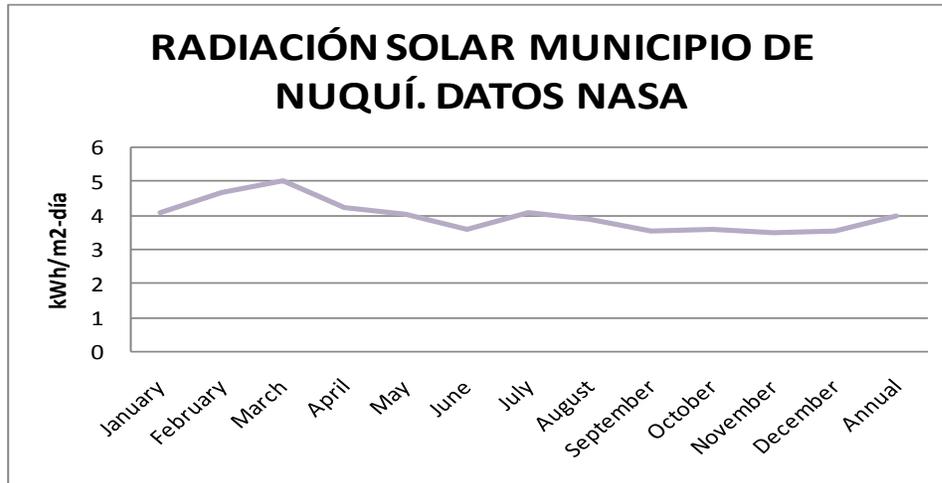


Figura 12. Radiación Solar Nuquí Últimos Años

Frente a los datos analizados, se realiza un análisis comparativo demostrado en la tabla 9, que permite evidenciar la poca discrepancia en los mismos; concluyendo así que cualquiera de las dos bases de datos es apropiada para el análisis de los otros capítulos:

Tabla 9

Comparativo datos solares Nuquí

MES	Radiación Solar (kWh/m²/d)	
	NASA	ATLAS
January	4,06	3,9
February	4,67	4,2
March	5,02	4,3
April	4,21	3,7
May	4,01	3,6
June	3,58	3,7
July	4,04	4,1
August	3,86	3,8
September	3,49	3,8
October	3,55	3,6
November	3,46	3,3
December	3,51	2,9
Annual	3,95	3,7

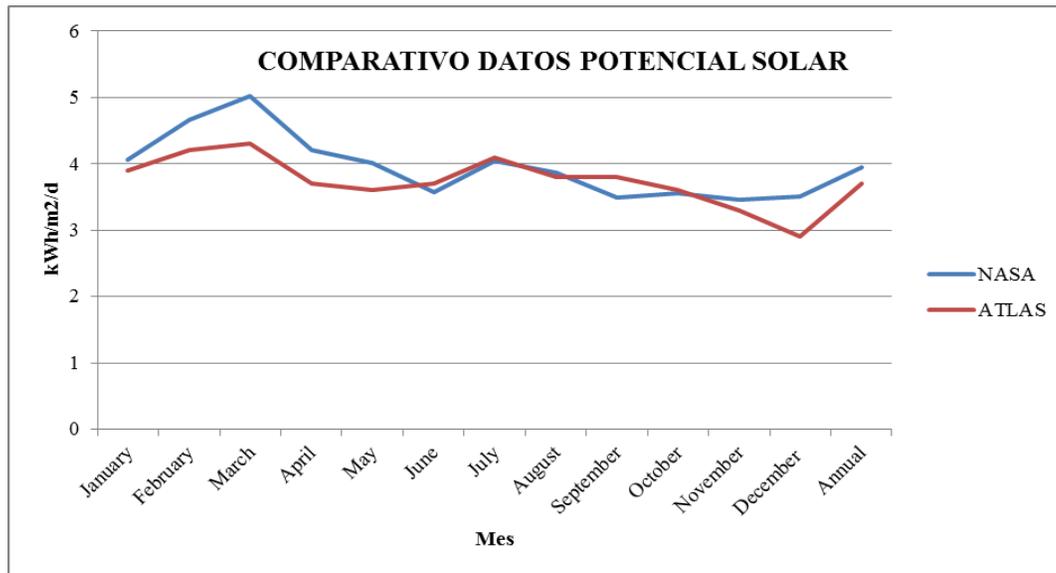


Figura 13. Comparativo potencial solar Nuquí

Como se evidencia en la figura 13, los datos de potencial energético solar tomados tanto de la NASA, como del ATLAS presentan grandes similitudes tanto en los picos de generación (mes de marzo), como en los puntos mínimos de generación (mes de diciembre).

Finalmente, se opta por tomar como datos de referencia, los de la NASA, ya que son datos tomados del aeropuerto y de estaciones meteorológicas ubicadas dentro del municipio de Nuquí. El atlas permite analizar los datos de la zona de estudio, pero pueden variar un poco debido a que no se tiene acceso a la base de datos utilizada para generar el atlas, sino es un punto de vista en un mapa, que puede variar dependiendo del lector.

4.2 Potencial De Energía Undimotriz

Este tipo de energía no convencional obtenida por los océanos es clasificada como: energía del gradiente térmico, energía de las mareas y energía de las olas.

Para El pacífico se tiene que es posible aprovechar el potencial energético proveniente del océano debido a que, según (UPME, n.d.-a), la zona presenta un potencial de energía mareomotriz de 500MW. Igualmente, se tiene que sus mareas son superiores a los 3m, como lo refirió (Rodríguez, Sarmiento, & Polo, 2009) en su artículo “*Potencial de generación de energía*

a lo largo de la costa colombiana mediante el uso de corrientes inducidas por mareas”, y su oleaje presenta una intensidad suficiente como para generar 3 o 4kW/m de frente de onda durante todo el año; según lo analizado del artículo web de (Arias, Restrepo, Otero, Correa, & Ortega, n.d.) “*Las energías del mar*”, publicado en la página web de propiedadpublica.com.co.

Para el presente estudio se tiene en cuenta la energía producida por las olas, la cual busca generar energía eléctrica por medio de la transformación de la energía cinética y potencial de las mareas las cuales son los movimientos de las olas en el mar; para esto se es necesario la identificación de datos de altura de las olas y su periodo de tiempo.

Aunque se conoce un dato teórico de la altura de las mareas en el pacifico colombiano que puede ser aprovechable a la hora de generar energía, las mareas tienen una intermitencia que no permitirá tener durante largos periodos, mareas altas que generen energía, ya que como lo especifica (Bert, 2009a), “*Desgraciadamente el aprovechamiento de las mareas para generar electricidad, con un embalse o con turbinas que aprovechen la energía cinética, siempre tendrá momentos de cero-generación al igualarse los niveles del mar y el embalse o tener mareas muertas. En el caso de la generación con embalse, habrá momentos en los cuales la generación sea máxima y largas horas en los que sea cero. Es decir, la mareomotriz aporta una buena cantidad de energía, pero no es potencia firme, aunque en este caso la generación es totalmente predecible en comparación a las otras fuentes renovables como la solar y la eólica*”. Por esta razón, y el hecho que los proyectos de mareas generados actualmente a nivel mundial son de zonas con mareas de 10 a 13 metros como lo menciona (Bert, 2009b) en su artículo “*Potencial energético de las mareas para generar electricidad*”, la energía mareomotriz no será objeto de análisis para los capítulos siguientes.

Para poder conocer el potencial energético que presenta el municipio de Nuquí, se tomaron datos de los boletines meteorológicos mensuales que presenta DIMAR (Dirección General Marítima) de los años 2013 y 2014, de los cuales se tomaron la estación ubicada en Buenaventura, para el año 2013 (DIMAR, 2013); y la estación ubicada en Bahía Solano, para el año 2014 (DIMAR, 2014) ya que del municipio no se tiene registro alguno de oleaje.

Se debe tener en cuenta en las próximas tablas una conversión utilizada para denotar la falta de datos en el mes, esta convención es “SD” que significa “SIN DATO”:

Tabla 10

Datos de oleaje zona Nuquí –Chocó año 2013

AÑO	MES	ZONA/ESTACIÓN	OLEAJE			
			Hsignificativa	Hmaxima	t prom.	t Pico
2013	ENERO	BUENAVENTURA	0,9	1,4	4,8	10,3
2013	FEBRERO	BUENAVENTURA	0,6	1	5,6	16,2
2013	MARZO	BUENAVENTURA	0,74	1,13	5,1	10,3
2013	ABRIL	BUENAVENTURA	0,7	1,1	5,5	13,1
2013	MAYO	BUENAVENTURA	1	1,5	4,8	11,9
2013	JUNIO	BUENAVENTURA	1	1,5	4,6	9,8
2013	JULIO	BUENAVENTURA	SD	SD	SD	SD
2013	AGOSTO	BUENAVENTURA	SD	SD	SD	SD
2013	SEPTIEMBRE	BUENAVENTURA	SD	SD	SD	SD
2013	OCTUBRE	BUENAVENTURA	1,04	1,59	4,45	8,01
2013	NOVIEMBRE	BUENAVENTURA	SD	SD	SD	SD
2013	DICIEMBRE	BUENAVENTURA	1	1,5	4,2	8,8

Nota: Elaborada por el Autor. Referencia: (DIMAR, 2013). H = Altura, dada en metros (m), T = Periodo de tiempo, dado en segundos (s)

A continuación se presentan las figuras 14 y 15 correspondientes al año 2013, donde se evidencia que a pesar de no poseer datos en todo el año, existe una altura significativa de ola que según la clasificación de olas de Sir Percy Douglas (1876-1939), el pacífico presenta un mar número 3 de marejada.

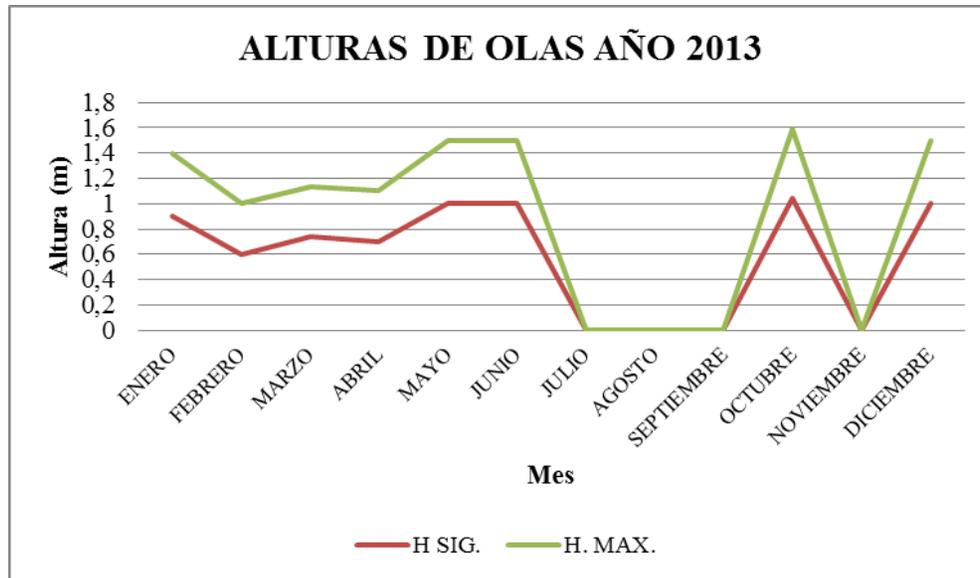


Figura 14. Altura De Olas Año 2013 Nuquí – Chocó.

El periodo de tiempo permite evidenciar cuanto es la duración de la ola desde su valle hasta su pico, lo que permite analizar que el periodo de tiempo normalmente está entre 4 y 6 segundos.

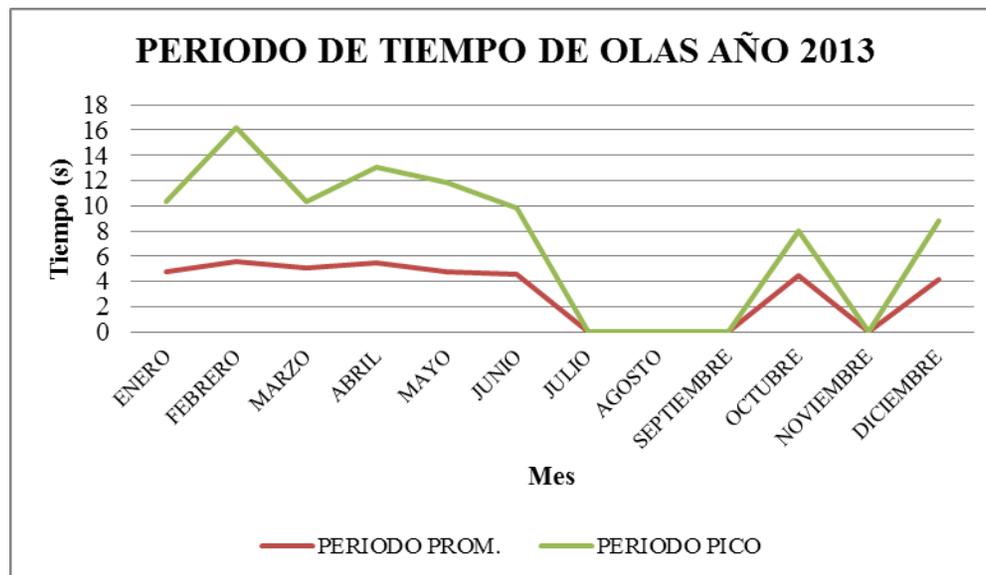


Figura 15. Periodo (T) De Duración De Olas Año 2013 Nuquí – Chocó

Tabla 11

Datos De Oleaje Zona Nuquí – Chocó Año 2014

AÑO	MES	ZONA/ESTACIÓN	OLEAJE			
			Hsignificativa (m)	Hmaxima (m)	t (s) prom.	t (s) Pico
2014	ENERO	BAHIA SOLANO	SD	SD	SD	SD
2014	FEBRERO	BAHIA SOLANO	SD	SD	SD	SD
2014	MARZO	BAHIA SOLANO	0,8	1,2	6	12,9
2014	ABRIL	BAHIA SOLANO	1,1	1,7	7,2	14,4
2014	MAYO	BAHIA SOLANO	1,01	1,53	6,66	14,3
2014	JUNIO	BAHIA SOLANO	1,12	1,66	6,49	13,43
2014	JULIO	BAHIA SOLANO	0,96	1,45	5,58	12,36
2014	AGOSTO	BAHIA SOLANO	1,09	1,67	6,26	14,49
2014	SEPTIEMBRE	BAHIA SOLANO	1,28	1,97	6,39	13,8
2014	OCTUBRE	BAHIA SOLANO	1,2	1,91	6,47	13,93
2014	NOVIEMBRE	BAHIA SOLANO	SD	SD	SD	SD
2014	DICIEMBRE	BAHIA SOLANO	SD	SD	SD	SD

Nota: Elaborada por el Autor. Referencia: (DIMAR, 2014). H = Altura, dada en metros (m), T = Periodo de tiempo, dado en segundos (s)

Las figuras 16 y 17 correspondientes al año 2014, permiten analizar que la altura significativa sobrepasa 1m durante el 75% del año. Se sigue evidenciando un mar tipo marejada.

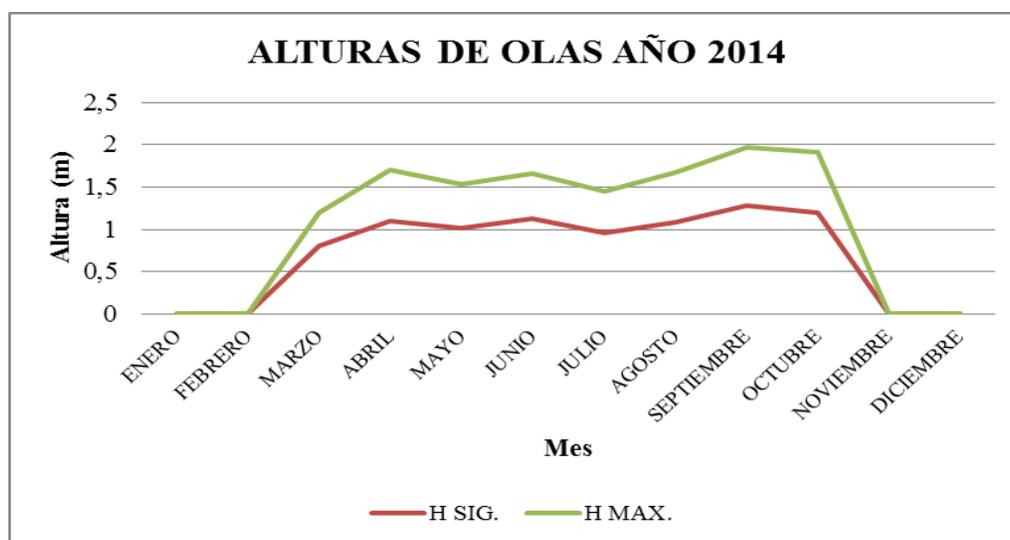


Figura 16. Altura De Olas Año 2014 Nuquí - Chocó.

El periodo durante el año 2014 osciló entre 5 y 7 segundos.

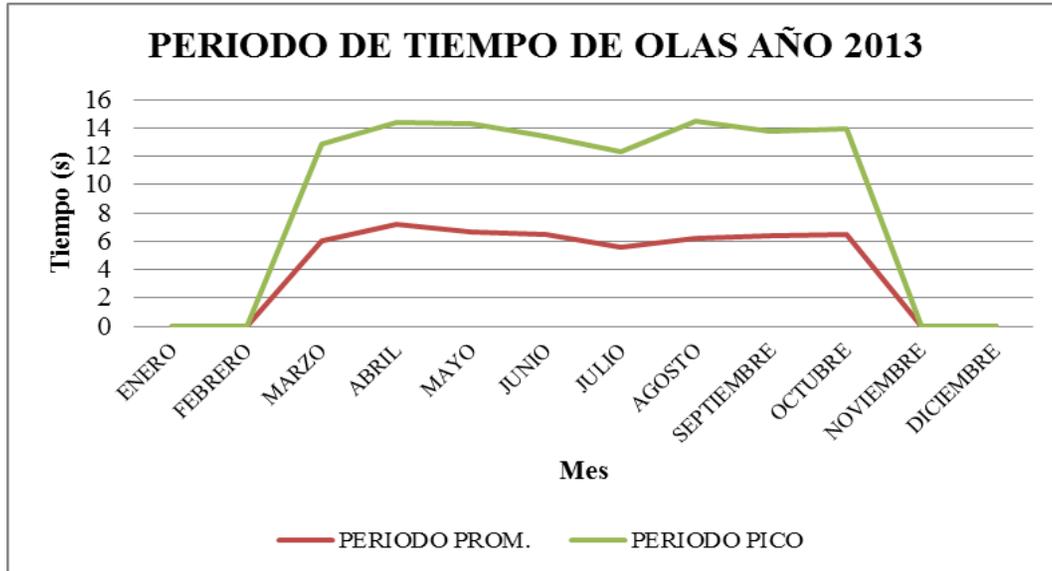


Figura 17. Periodo (T) De Duración De Olas Año 2014 Nuquí – Chocó.

Para efectos del cálculo del potencial de olas en la zona de estudio, se decidió tomar únicamente los datos del año 2014 ya que son los más recientes, y provienen de una estación meteorológica más cercana a la zona de estudio.

A continuación se realiza el cálculo de la potencia por metro de frente de ola generada en el municipio de Nuquí mensualmente, con la siguiente formula tomada de (Chozas, 2008), en su artículo “Una Aproximación al Aprovechamiento de la energía de las olas para la generación de electricidad”:

$$P = 0.96H^2t \quad (1)$$

Donde

P= potencial por metro de frente de ola en unidades de (kW/m)

H= Altura de la ola dada en unidades de (m)

t =Periodo de tiempo de la ola dada en unidades de (s)

Tabla 12

Potencia por metro de frente de ola Nuquí. 2014

AÑO	MES	ZONA/ESTACIÓN	OLEAJE		
			Hsignificativa (m)	t (s) prom.	Potencial (kW/m)
2014	ENERO	BAHIA SOLANO	SD	SD	SD
2014	FEBRERO	BAHIA SOLANO	SD	SD	SD
2014	MARZO	BAHIA SOLANO	0,8	6	3,69
2014	ABRIL	BAHIA SOLANO	1,1	7,2	8,36
2014	MAYO	BAHIA SOLANO	1,01	6,66	6,52
2014	JUNIO	BAHIA SOLANO	1,12	6,49	7,82
2014	JULIO	BAHIA SOLANO	0,96	5,58	4,94
2014	AGOSTO	BAHIA SOLANO	1,09	6,26	7,14
2014	SEPTIEMBRE	BAHIA SOLANO	1,28	6,39	10,05
2014	OCTUBRE	BAHIA SOLANO	1,2	6,47	8,94
2014	NOVIEMBRE	BAHIA SOLANO	SD	SD	SD
2014	DICIEMBRE	BAHIA SOLANO	SD	SD	SD

Nota: Elaborada por el Autor. Referencia: Tabla 11

Para el año 2014 se presenta un aumento considerable en la potencia para los meses de abril, junio, agosto, septiembre y octubre lo que podría significar una mayor cobertura energética en la zona de estudio. En la siguiente gráfica se evidencia que los picos energéticos se presentaron en los meses de septiembre y octubre y los meses de menor generación serán marzo y julio.

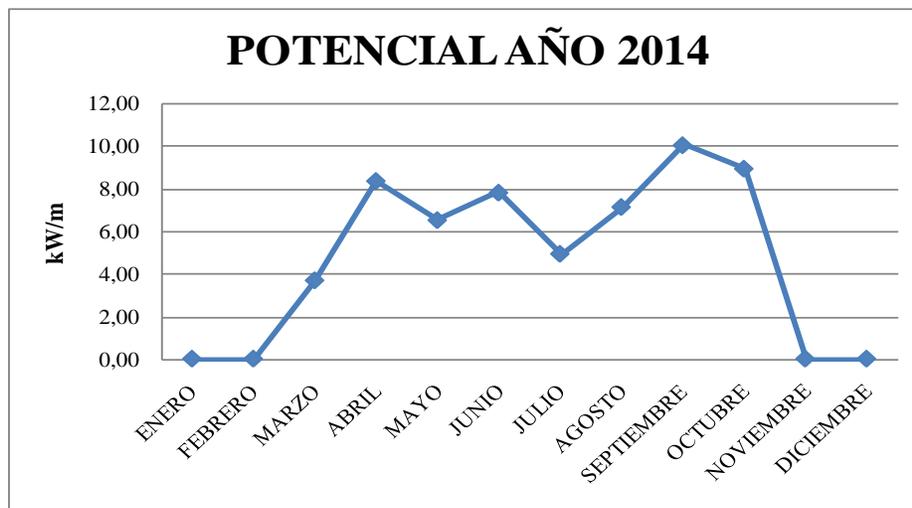


Figura 18. Potencial Energético De Olas Año 2014 Nuquí.

Como se evidencia en las tablas y figuras anteriores, la falta de datos puede variar considerablemente el potencial de la zona de estudio, por lo que para esto, se completan los datos de potencial energético de los meses faltantes del año 2014 el cual se tomará de referencia para analizar los otros capítulos, con el valor menor de potencia para poder tener un estimado de la potencia anual de la zona:

Tabla 13
Datos Finales Potencial Energético De Olas

AÑO	MES	ZONA/ESTACIÓN	Potencial (kW/m)
2014	ENERO	BAHIA SOLANO	3,69
2014	FEBRERO	BAHIA SOLANO	3,69
2014	MARZO	BAHIA SOLANO	3,69
2014	ABRIL	BAHIA SOLANO	8,36
2014	MAYO	BAHIA SOLANO	6,52
2014	JUNIO	BAHIA SOLANO	7,82
2014	JULIO	BAHIA SOLANO	4,94
2014	AGOSTO	BAHIA SOLANO	7,14
2014	SEPTIEMBRE	BAHIA SOLANO	10,05
2014	OCTUBRE	BAHIA SOLANO	8,94
2014	NOVIEMBRE	BAHIA SOLANO	3,69
2014	DICIEMBRE	BAHIA SOLANO	3,69

Nota: Elaborada por el Autor. Referencia Tabla 12

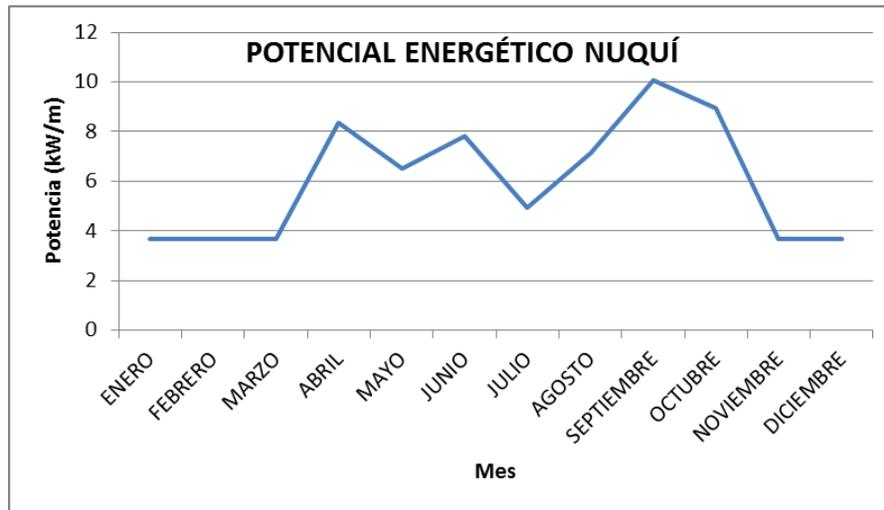


Figura 19. Potencial Energético Final De Olas.

Frente a esta modificación, se concluye que la zona de estudio presenta potencia energética por encima de 3.69kW/m que puede ser mayormente aprovechable en los meses de abril, junio, septiembre y octubre, pero con una marcada intermitencia.

Es importante aclarar que al contar con datos de recurso de solamente de un año, existe un gran nivel de incertidumbre en los resultados obtenidos.

4.3 Energía Eólica

La energía eólica es tal vez una de las energías renovables más antiguas puesto que sus primeros avances se evidenciaron con la generación de molinos de viento cuya energía era utilizada principalmente para el procesamiento de granos. Como se analizó en la tesis “La Energía como factor fundamental en el proceso económico”; este tipo de energía fue evolucionando y actualmente la energía eólica funciona en su mayoría con aerogeneradores y hélices, una vez el viento llega a las hélices el rotor de un generador convierte esta fuerza en energía eléctrica (Poveda, 2013). Razón por la cual se hace necesario la identificación de datos de velocidades de viento de la zona de estudio, esto con el objetivo de identificar en primer lugar el comportamiento meteorológico de este parámetro conjunto con la densidad de energía eólica para evidenciar la eficiencia de este tipo de energía en determinados meses del año e identificar si cubre o no la demanda de energía de esta población.

Los datos necesarios para esta caracterización eólica se encuentran plasmados para Colombia en el Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia desarrollados por la UPME y el IDEAM, con el uso de datos de 22 años de Estaciones meteorológicas en el país. Este atlas muestra la información por medio de mapas de las velocidades medias mensuales y promedios anuales de vientos de superficies, así como las desviaciones estándar de las velocidades. Cabe aclarar que los datos mostrados en el presente estudio fueron tomados ubicando el municipio de Nuquí en el mapa para lograr leer los datos de la velocidad media mensual (m/s), la desviación estándar de velocidades (m/s) o la densidad de potencia eólica (W/m²) sea está a 20m o a 50 m de altura sobre el nivel del suelo.

Así pues los mapas presentados por el Atlas de Viento y Energía Eólica del año 2005 (IDEAM, 2005b), permiten analizar que la zona presenta una velocidad de entre 0.75 y 1.5m/s. Cabe aclarar que para analizar correctamente la información, se realizó un promedio de velocidad máxima y mínima para manejar mejor la información:

Tabla 14
Velocidad De Vientos Nuquí

MES	RANGO MIN.	RANGO MAX	VEL. PROM	UNIDAD
Enero	1	2	1,5	m/s
Febrero	0,5	1,5	1	m/s
Marzo	0,5	1	0,75	m/s
Abril	0,5	1	0,75	m/s
Mayo	0,5	1	0,75	m/s
Junio	0,5	1	0,75	m/s
Julio	1	2	1,5	m/s
Agosto	0,5	1,5	1	m/s
Septiembre	0,5	1,5	1	m/s
Octubre	0,5	1	0,75	m/s
Noviembre	0,5	1	0,75	m/s
Diciembre	0,5	1	0,75	m/s
Multianual	0,5	1,5	1	m/s

Nota: Elaborada por el Autor. Referencia (IDEAM, 2005b)

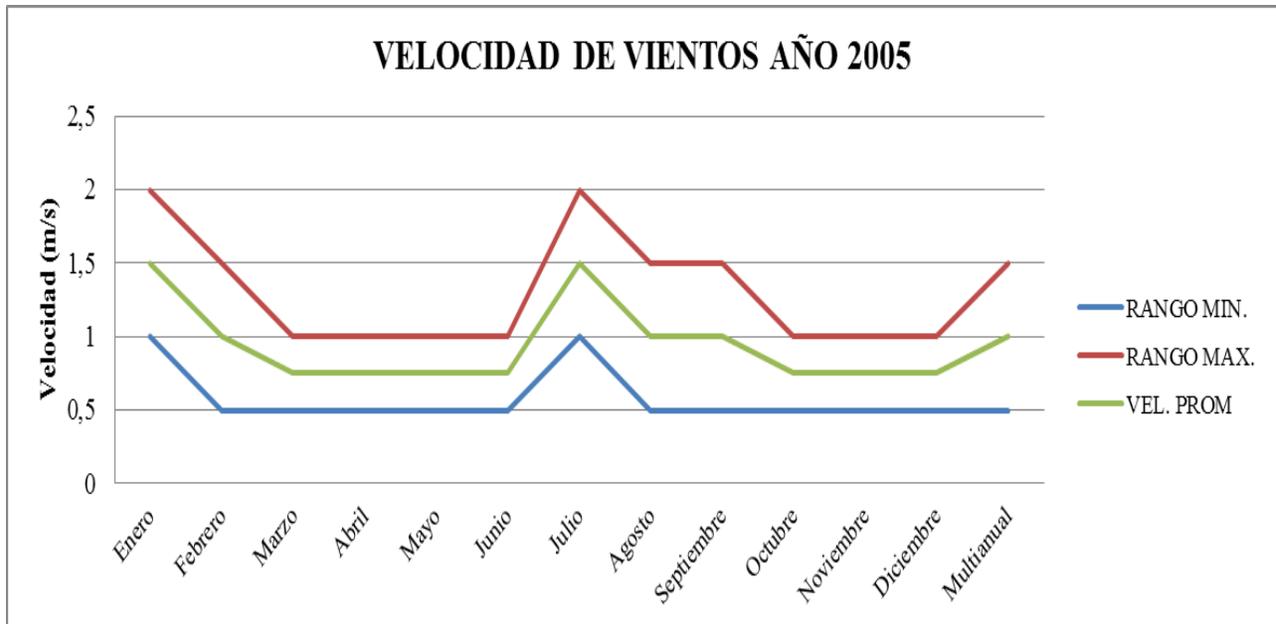


Figura 20. Velocidad De Vientos Año 2005 Nuquí.

La zona presenta velocidades muy bajas de viento, lo que posiblemente sería un punto en contra para esta alternativa. Se evidencia comportamiento bimodal en los meses de enero y julio, con presencia de vientos con 1.5 m/s siendo esta la velocidad máxima en la zona de estudio.

En cuanto al potencial de la zona, se presentan los datos generados por el atlas de Viento y energía eólica del año 2005 (IDEAM, 2005b), en cuanto a densidad de energía para alturas de 20m y 50m. Cabe aclarar que para analizar correctamente la información, se realizó un promedio de densidad o potencia máxima y mínima para manejar mejor la información:

Tabla 15

Densidad De Energía Año 2005 A 20m De Altura Nuquí

MES	DENS. MIN.	DENS. MAX.	DENS. PROM.	UNIDAD
Enero	1	8	4,5	W/m2
Febrero	1	8	4,5	W/m2
Marzo	0	1	0,5	W/m2
Abril	0	1	0,5	W/m2
Mayo	1	8	4,5	W/m2
Junio	0	1	0,5	W/m2
Julio	1	8	4,5	W/m2
Agosto	1	8	4,5	W/m2
Septiembre	1	8	4,5	W/m2
Octubre	0	8	4	W/m2
Noviembre	0	1	0,5	W/m2
Diciembre	0	8	4	W/m2
Multianual	1	8	4,5	W/m2

Nota: Elaborada por el Autor. Referencia: (IDEAM, 2005b)

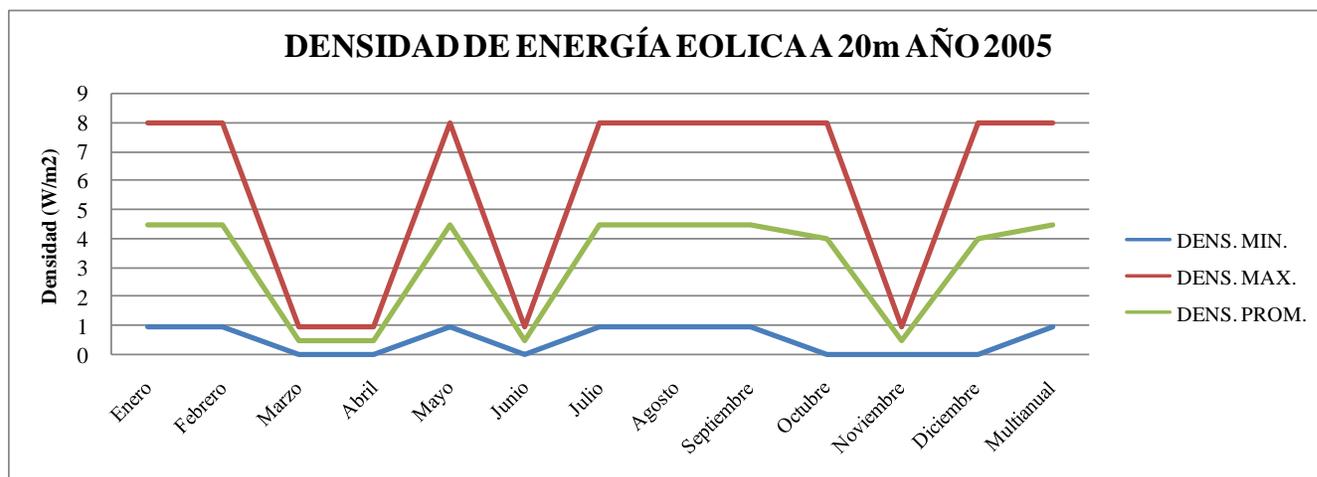


Figura 21. Potencial De Energía A 20m Año 2005 Nuquí

En la figura 21 se evidencia que durante los meses de marzo, abril, junio y noviembre se tendrá disminución considerable de la potencia energética en la zona lo que generaría la no producción adecuada de energía para suplir a la comunidad. Frente a lo anterior, se analiza y concluye que a

pesar de la altura (20m) se presenta potencia energética máxima de 4.5W/m^2 en la zona lo que posiblemente conlleve a la no satisfacción de la necesidad.

Tabla 16

Densidad De Energía Año 2005 A 50m De Altura Nuquí

MES	DENS. MIN.	DENS. MAX.	DENS. PROM.	UNIDAD
Enero	1	27	14	W/m2
Febrero	1	8	4,5	W/m2
Marzo	0	8	4	W/m2
Abril	0	8	4	W/m2
Mayo	1	8	4,5	W/m2
Junio	0	8	4	W/m2
Julio	1	27	14	W/m2
Agosto	1	8	4,5	W/m2
Septiembre	1	8	4,5	W/m2
Octubre	1	8	4,5	W/m2
Noviembre	1	8	4,5	W/m2
Diciembre	1	8	4,5	W/m2
Multianual	1	8	4,5	W/m2

Nota: Elaborada por el Autor. Referencia: (IDEAM, 2005b)

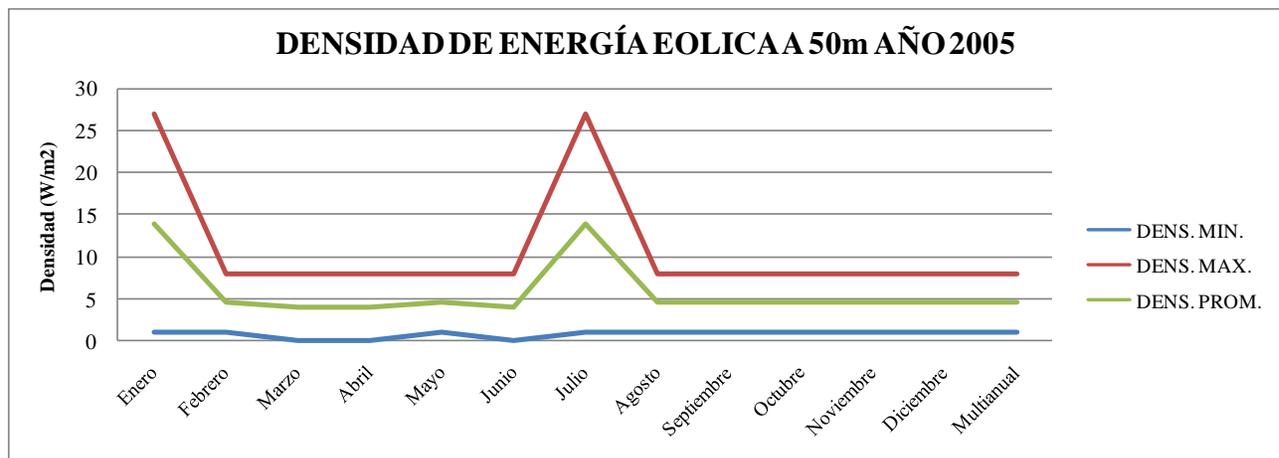


Figura 22. Potencial De Energía A 50m Año 2005 Nuquí

A 50m de altura se presenta un comportamiento bimodal durante el año, donde los meses de enero y julio serían los de mayor generación, alcanzando una potencia máxima de $14W/m^2$. El resto del año se vería afectado por la baja generación.

Se analiza que pese a las alturas consideradas es posible que la obtención de energía mediante este método no satisfaga del todo la necesidad de la zona de estudio, y se vean afectadas zonas selváticas y de protección natural que posee el municipio debido a la implementación en grandes áreas, de aerogeneradores de enormes diámetros. Se realizará el análisis de viabilidad con mini-aerogeneradores para estudiar la posibilidad de implementación por vivienda o corregimiento.

Como se evidenció anteriormente, los datos pueden tener bastante incertidumbre, ya que no se tiene un dato cerrado del municipio. Por esta razón, se optó por presentar y tomar como referencia para los próximos capítulos, los datos de velocidad de vientos del municipio de Nuquí tomados de la base de datos de la (NASA 2015), referentes a datos meteorológicos de un periodo de 20 años:

Tabla 17
Velocidad de vientos Nuquí. Datos nasa últimos años

Month	Wind speed
	m/s
January	1,8
February	1,4
March	1,3
April	1,3
May	1,6
June	1,7
July	1,8
August	2
September	2,2
October	2,2
November	2,2
December	2
Annual	1,8

Nota: Elaborada por el Autor. Referencia: NASA

Frente a las velocidades obtenidas de la NASA, se realiza el cálculo mensual del potencial eólico usando la formula (2) dada por el Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas (INEA) en el Manual de Aplicación de Energía Eólica citado por (Pinilla, 1997):

$$P_{\text{viento}} = \frac{1}{2} \rho V^3 \quad (2)$$

Dónde:

P_{viento} = Potencia eólica del viento dada en W/m²

ρ = Densidad del viento tomada de (Pinilla, 1997) correspondiente a 1.2Kg/m³

V = Velocidad del viento dada en m/s

Tabla 18

Potencia Eólica Del Municipio De Nuquí

MES	Velocidad	Potencia
	del viento	Eólica
	m/s	W/m ²
January	1,8	3,50
February	1,4	1,65
March	1,3	1,32
April	1,3	1,32
May	1,6	2,46
June	1,7	2,95
July	1,8	3,50
August	2	4,80
September	2,2	6,39
October	2,2	6,39
November	2,2	6,39
December	2	4,80
Annual	1,8	3,50

Nota: Elaborada por el Autor. Referencia: NASA

Frente a los datos obtenidos de potencia eólica se evidencia una generación mínima en los meses de marzo y abril con 1.32W/m^2 y una generación máxima de 6.39W/m^2 entre los meses de septiembre, octubre y noviembre.

En la figura 23 se muestra un ciclo de generación mono modal para la zona de estudio. El promedio de potencia eólica anual es de 3.5W/m^2 , una cantidad bastante baja para satisfacer la necesidad de la población.

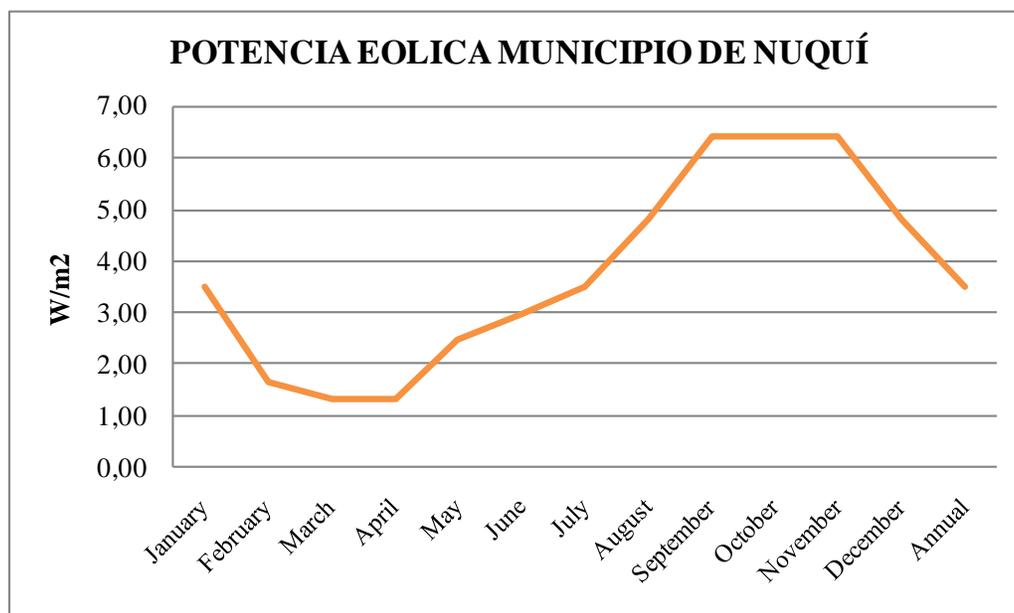


Figura 23. Potencia Eólica Municipio De Nuquí

Comparando los datos tomados del atlas para el año 2005, junto con los datos de la NASA de un periodo de 20 años, se puede evidenciar que debido al amplio rango de las densidades dadas por el Atlas, se observa un cambio significativo de potencia eólica entre las fuentes. Sin embargo, analizando el potencial multianual, su diferencia radica en 1 unidad de potencia únicamente, como se evidencia en la tabla 19

Tabla 19

Comparativo entre potencia eólica municipio Nuquí

MES	ATLAS	NASA	UNIDAD
Enero	14	3,5	W/m2
Febrero	4,5	1,65	W/m2
Marzo	4	1,32	W/m2
Abril	4	1,32	W/m2
Mayo	4,5	2,46	W/m2
Junio	4	2,95	W/m2
Julio	14	3,5	W/m2
Agosto	4,5	4,8	W/m2
Septiembre	4,5	6,39	W/m2
Octubre	4,5	6,39	W/m2
Noviembre	4,5	6,39	W/m2
Diciembre	4,5	4,8	W/m2
Multianual	4,5	3,5	W/m2

Como se evidencia en la figura 24, los datos de potencial energético eólico tomados tanto de la NASA, como del ATLAS presentan en ciertos meses grandes discrepancias, pero en otros meses tales como junio, agosto y diciembre se evidencia una gran similitud.

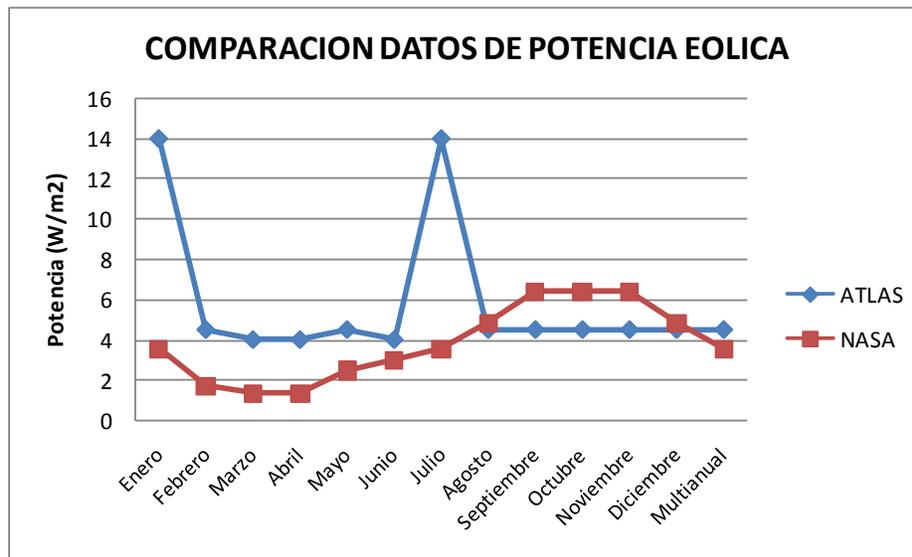


Figura 24. Comparación datos de potencia eólica Nuquí

4.4 Energía De Biomasa Residual

Se entiende por biomasa todo material proveniente de procesos biológicos sin embargo podemos hablar de biomasa con potencial energético cuando utilizamos esta biomasa con el objetivo de generar energía.

Esta energía a base de biomasa se puede generar por medio de la conversión de manera termoquímica o biológica; cuando se habla de conversión termoquímica se refiere a procesos de combustión, pirolisis y gasificación. Por lo contrario la conversión biológica hace alusión a procesos de biogás o biocombustible. Una de las ventajas de este tipo de energía corresponde a que sus productos de conversión pueden presentarse en estado líquido, sólido o gaseoso, como lo indica (Hernández, 2012), en su tesis “Planeación, diseño e instalación de un prototipo para la conversión de desechos orgánicos en energía térmica”

En Colombia los datos de biomasa se encuentran en el atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia, el cual fue desarrollado por la Universidad Industrial de Santander, Colciencias, la UPME (unidad de planeación minero energética) y el IDEAM, en el año 2005. Este atlas suministra la información pertinente de los residuos de biomasa de fuentes animales vegetales y residuos sólidos urbanos de 12 ciudades generados en diferentes zonas del país y poder utilizarlos como fuentes de energía, empleando como datos de base la información obtenida durante 2 años correspondientes al 2005 y 2006, conjunto con la caracterización físico-química de cada una de los residuos de biomasa mencionados anteriormente. Debido a su rango tan amplio entre un dato mínimo y un dato máximo de potencial energético de biomasa en una zona, el atlas no es apropiado para analizar este tipo de energía, sin embargo, se presentan los resultados obtenidos:

Mediante un análisis del atlas de Biomasa Residual (IDEAM, 2005c) se presentan los siguientes datos del municipio de Nuquí, evidenciados en la tabla 20 :

Tabla 20

Datos De Biomasa Residual Municipio De Nuquí Año 2005

ITEM	TIPO	CANTIDAD (HA/AÑO)	
		MIN.	MAX.
CULTIVOS	Residuos de cultivos agrícolas	600	1500
	Residuos de cultivos transitorios	600	1500
	Residuos de cultivos permanentes	200	1000
(miles de Ton/AÑO)			
CANTIDAD	Residuos de cultivos agrícolas	0	10
	Residuos de cultivos transitorios	0	10
	Residuos de cultivos permanentes	0	10
(TJ/AÑO)			
POTENCIAL	Residuos de cultivos agrícolas	0	20
	Residuos de cultivos transitorios	0	20
	Residuos de cultivos permanentes	0	20

Nota: Elaborada por el Autor. Referencia: (IDEAM, 2005c)

El ítem “Cultivos” corresponde a la cantidad de hectáreas cosechadas por año en el municipio, dividiéndolas entre Cultivos agrícolas, transitorios y permanentes. El ítem “Cantidad” corresponde a las toneladas de biomasa residual generadas en un año por cada tipo de cultivo, y el ítem “Potencial” corresponde al potencial energético de biomasa residual que presenta el municipio por cada cultivo.

Se tienen valores máximos y mínimos por lo que para analizarlos se toma un dato promedio en cada tipo de cultivo y se grafica por cada ítem:

En la figura 25 de hectáreas cosechadas se evidencia que los cultivos permanentes son pocos en la zona, a comparación de los cultivos transitorios y agrícolas.

En la figura 26 de toneladas de biomasa producida se analiza una cantidad constante en los tres tipos de cultivos por lo que relacionándolo con la gráfica de hectáreas cosechadas, la zona no presenta datos concisos y suficientes con respecto al valor real de biomasa residual por cada cultivo. Sin embargo, al ser una aproximación tomada del atlas, el análisis durante los otros capítulos del presente documento se realizará bajo el promedio entre los límites máximos y mínimos.

En la figura 27 de Potencial energético de la biomasa, se puede evidenciar una constancia de generación entre los tres tipos de cultivos por lo que se concluye que para la continuación de los próximos capítulos se tomará como referencia la suma de las toneladas promedias producidas en los tres tipos de cultivos al igual que la suma de la potencia promedio de los tres cultivos.

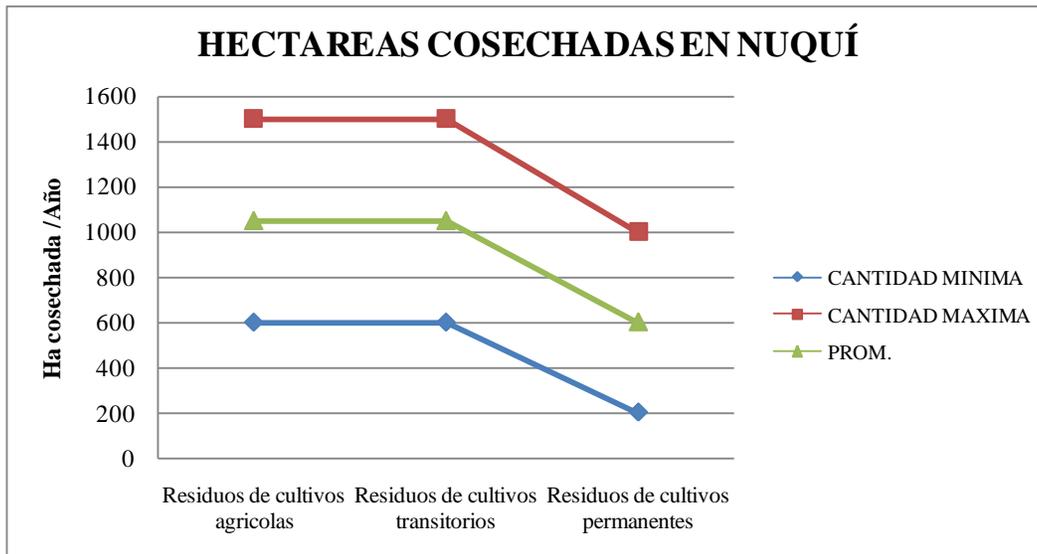


Figura 25. Hectáreas cosechadas en Nuquí. Año 2005

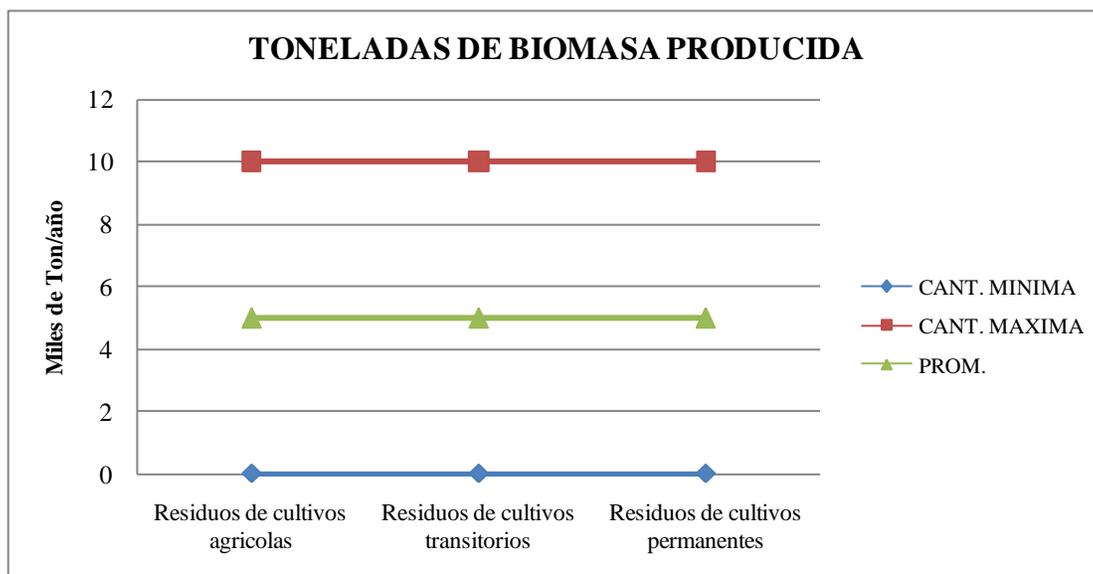


Figura 26. Toneladas de biomasa producida en Nuquí. Año 2005

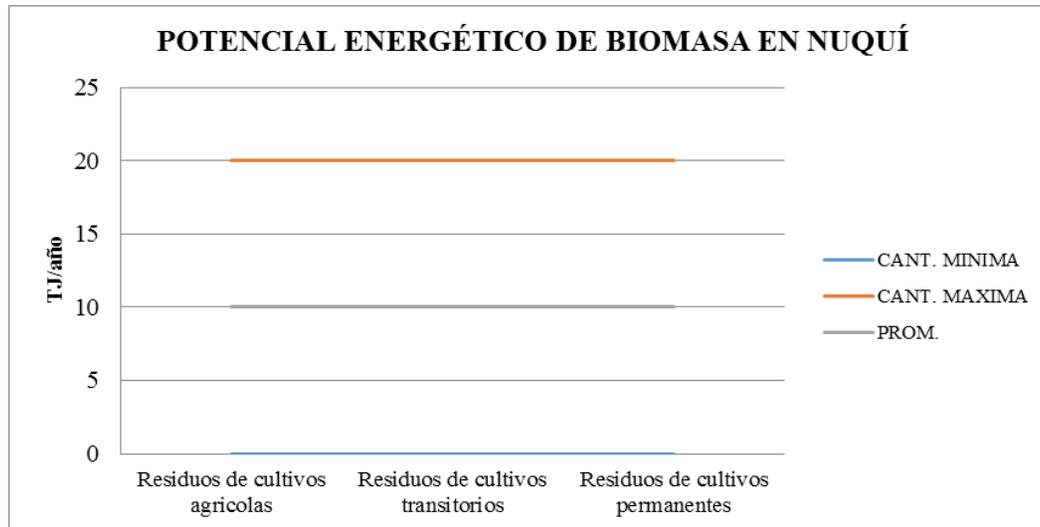


Figura 27. Potencial energético de biomasa en Nuquí. Año 2005

Como se evidenció en la tabla 20, el potencial energético de la zona de estudio se presenta en TJ/año, por lo que para efectos del presente proyecto, sus unidades se convertirán a kWh/año teniendo en cuenta que un kilo Watt-hora (kWh) equivale a 3.600.000Joules (J) (Appisa, 2015). Por otro lado, se toma la suma total de los residuos de cultivos ya que la zona en su mayoría se mantiene de cultivos de diversos tipos. Para obtener el dato final de potencial energético, se promedió la cantidad mínima con la máxima y se cambian unidades para hallar un dato concreto, y se utiliza la ecuación (3) para su cálculo:

Tabla 21

Promedio De Potencial Energético De Biomasa

		VR. MINIMO	VR. MAXIMO	PROMEDIO
POTENCIAL (TJ/año)	Residuos de cultivos agrícolas	0	20	10
	Residuos de cultivos transitorios	0	20	10
	Residuos de cultivos permanentes	0	20	10
TOTAL		0	60	30

Nota: Elaborada por el Autor. Referencia: Tabla 19

$$30 \frac{TJ}{año} \times 1 \times 10^{12} \frac{J}{TJ} \times \frac{1 kWh}{3.600.000J} = 8.333.333 \frac{kWh}{año} \quad (3)$$

Como se hizo alusión anteriormente, los rangos de los datos son muy amplios para considerarlos acertados con respecto al potencial real de la zona de estudio.

Frente a esto, se decidió acudir a las bases de datos de (AGRONET, 2015) y a los datos consignados en el plan de desarrollo del municipio de Nuquí (Sucre, 2012) para extrapolar los datos correspondientes a los cultivos que se encuentran dentro del corregimiento de Jurubirá. Inicialmente se extrapolaron los datos de las áreas cultivadas a 2011 en el corregimiento, del plan de desarrollo. Estos son los resultados:

Tabla 22
Área De Cultivos Sembrada En El Corregimiento De Jurubirá, 2011

CULTIVO	Año	AREA SEMBRADA (Ha)
Arroz seco	2011	40,0
Banano	2011	36,0
CAÑA	2011	1,0
Plátano	2011	24,0
MAIZ	2011	3,0

Nota: Tomado de Plan de Desarrollo Municipal NUQUÍ 2012-2015, (Sucre, 2012)

Consiguiente a lo anterior, se evidenció que para el año 2011 no se tienen datos de residuos de biomasa ni potencial energético, por lo que se recurrió a extrapolar los datos de área sembrada de cultivos del departamento del chocó del año 2011 de los datos estadísticos (AGRONET, 2015), para hallar el porcentaje de cultivos correspondientes a Jurubirá. A continuación se presenta un ejemplo (Arroz seco) de cómo se hallaron los datos:

$$40Ha \times \frac{100}{12.838} = 0,31\% \quad (4)$$

Estos fueron los resultados:

Tabla 23

Porcentaje De Área Sembrada De Jurubirá Con Respecto A Área Sembrada Del Choco, 2011

CULTIVO	Año	AREA SEMBRADA (Ha)		%
		CHOCO	(Ha) JURUBIRÁ	
Arroz seco	2011	12838	40,0	0,31
Banano	2011	210	36,0	17,14
CAÑA	2011	2131	1,0	0,05
Plátano	2011	13718	24,0	0,17
MAIZ	2011	10997	3,0	0,03

Nota: Elaborada por el autor, referencia (AGRONET, 2015)

Frente a los porcentajes hallados anteriormente, se deduce que del 100% de área sembrada por cada cultivo en el departamento del Chocó, una mínima parte corresponde al corregimiento de Jurubirá.

Después de hallado el porcentaje de área sembrada de la zona de estudio con respecto al departamento, se procede a hallar los datos de Jurubirá con respecto a producción. Para esto se tomaron los datos estadísticos de la base de datos de (AGRONET, 2015), correspondientes a la producción en toneladas por año de los cultivos del Chocó, cada termino se multiplicó por el porcentaje hallado anteriormente y se obtuvieron nuevos datos. Para el caso del rendimiento del cultivo, se decidió dejar el mismo rendimiento de las estadísticas de (AGRONET, 2015) del departamento del Chocó, ya que este rendimiento hace alusión a las toneladas de producto cosechadas, por hectárea cultivada. A continuación se presenta un ejemplo (Arroz seco) de cómo se hallaron dichos datos:

$$19.012,12Ton \times 0.31\% = 59.2Ton \quad (5)$$

Los resultados se pueden apreciar en la tabla 24:

Tabla 24
Producción Y Rendimiento De Jurubirá Con Respecto A Choco, 2011

CULTIVO	Producción	Producción (ton)	Rendimiento
	(Ton) CHOCO	JURUBIRA	(Ton/Ha)
Arroz secano	19.012,2	59,2	1,49
Banano	1.176,0	201,6	5,60
CAÑA	3.612,8	1,7	3,00
Plátano	83.358,2	145,8	7,85
MAIZ	9.717,9	2,7	0,89

Nota: Elaborada por el autor, referencia (AGRONET, 2015)

Ahora, se debe realizar el cálculo de los residuos de los cultivos. Para esto, se remitió al atlas de biomasa residual de Colombia, para extrapolar el dato generado para el departamento del chocó, correspondiente al factor de residuo por cultivo. Este factor de residuo se multiplica por la producción en Toneladas del corregimiento y finalmente se obtiene el dato de Residuos en Toneladas por año. Estos fueron los resultados:

Tabla 25
Residuos Generados En El Corregimiento De Jurubirá, 2011

CULTIVO	Producción (ton)	FACTOR DE RESIDUO(Ton	RESIDUOS
	JURUBIRA	residuo/ton producto principal)	(TON/AÑO) JURUBIRA
Arroz secano	59,2	2,35	139,2
Banano	201,6	3	604,8
CAÑA	1,7	2,895	4,9
Plátano	145,8	3	437,5
MAIZ	2,7	0,47	1,2

Nota: Elaborada por el autor, referencia (AGRONET, 2015), (UPME, 2005)

La tabla 25 permite evidenciar que los cultivos de plátano, banano y arroz son los mayores productores de residuos en el corregimiento. También se evidencia que los cultivos de caña y maíz no ocupan gran área en la zona y por ende su producción de residuos es mucho menor.

Por otro lado, el atlas de biomasa residual de Colombia especifica que es indispensable que la biomasa residual tenga una humedad máxima de 30% por lo que de acuerdo a este porcentaje se calcula las toneladas de residuo seco y húmedo por cada cultivo de la siguiente manera:

$$139,2 \times 30\% = 41,8 \text{Ton residuo Húmedo} - 139,2 \text{ton} = 97,4 \text{Ton residuo seco} \quad (6)$$

Después de hallar estos datos, se hace el cálculo de la fracción de residuo seco correspondiente a la masa seca dividida entre la masa húmeda de residuo de la siguiente manera:

$$\frac{97,4 \text{Ton residuo seco}}{41,8 \text{Ton residuo Húmedo}} = 2,3 \quad (7)$$

Estos fueron los resultados:

Tabla 26

Tonelada De Residuo Seco Y Húmedo De Jurubirá, 2011

CULTIVO	RESIDUOS (TON/AÑO) JURUBIRA	% HUMEDAD	TON MASA HUMEDA DE RESIDUO	TON MASA SECA RESIDUO	FRACCION DE RESIDUO SECO
Arroz secano	139,2	30	41,8	97,4	2,3
Banano	604,8	30	181,4	423,4	2,3
CAÑA	4,9	30	1,5	3,4	2,3
Plátano	437,5	30	131,3	306,3	2,3
MAIZ	1,2	30	0,4	0,9	2,3

Nota: Elaborada por el autor, referencia (AGRONET, 2015), (UPME, 2005)

4.4.1 Calculo Del Potencial Energético De Biomasa

El atlas de biomasa residual de Colombia presenta el siguiente modelo matemático para hallar el potencial energético de biomasa:

$$PE = (M_{rs}) * (E)$$

(Ecuación 1)

$$M_{rs} = A * R_c * M_{rg} * Y_{rs}$$

(Ecuación 2)

Donde:

PE : Potencial energético [TJ/año]

M_{rs} : Masa de residuo seco [t/año]

E : Energía del residuo por unidad de masa [TJ/t]

Donde:

M_{rs} : Masa de residuo seco [t/año]

A: Área cultivada [ha/año]

R_c : Rendimiento del cultivo
[t producto principal / ha sembrada]

M_{rg} : Masa de residuo generada del cultivo
[t de residuo/ t de producto principal]

Y_{rs} : Fracción de residuo seco
[t residuo seco/t de residuo húmedo]

Figura 28. Ecuaciones Para Hallar Potencial Energético De Biomasa

La (ecuación 1) permitirá conocer el potencial energético que es necesario hallar para el análisis de los siguientes capítulos. La (ecuación 2) permitirá hallar la masa de residuo seco, dato que es necesario para la primera ecuación. A continuación se presentan los resultados:

- POTENCIAL ENERGÉTICO DEL ARROZ

$$M_{rs} = 40Ha \times 1,49Ton/Ha \times 2,35 \times 2,33 \quad (8)$$

$$M_{rs} = 326,81 Ton \text{ de residuo} \quad (9)$$

$$PE = 326,81Ton \times \frac{1.000kg}{1 Ton} \times \frac{26,91MJ}{kg} = \frac{8.794.367MJ}{año} \times \frac{1.000.000J}{1 MJ} \times \frac{1kWh}{3.600.000J} = 2.442.880kWh/año \quad (10)$$

- POTENCIAL ENERGÉTICO DEL BANANO

$$M_{rs} = 36Ha \times 5,60Ton/Ha \times 3 \times 2,33 \quad (11)$$

$$M_{rs} = 1.411,2Ton \text{ de residuo} \quad (12)$$

$$PE = 1.411,2Ton \times \frac{1.000kg}{1 Ton} \times \frac{26,91MJ}{kg} = \frac{37.975.392MJ}{año} \times \frac{1.000.000J}{1 MJ} \times \frac{1kWh}{3.600.000J} = 10.548.720kWh/año \quad (13)$$

- POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA CAÑA

$$M_{rs} = 1Ha \times 3Ton/Ha \times 2,895 \times 2,33 \quad (14)$$

$$M_{rs} = 20,3Ton \text{ de residuo} \quad (15)$$

$$PE = 20,3Ton \times \frac{1.000kg}{1Ton} \times \frac{26,91MJ}{kg} = \frac{545.331MJ}{año} \times \frac{1.000.000J}{1MJ} \times \frac{1kWh}{3.600.000J} = 151.481kWh/año \quad (16)$$

- POTENCIAL ENERGÉTICO DEL PLATANO

$$M_{rs} = 24Ha \times 7,85Ton/Ha \times 3 \times 2,33 \quad (17)$$

$$M_{rs} = 1.318,8Ton \text{ de residuo} \quad (18)$$

$$PE = 1.318,8Ton \times \frac{1.000kg}{1Ton} \times \frac{26,91MJ}{kg} = \frac{35.488.908MJ}{año} \times \frac{1.000.000J}{1MJ} \times \frac{1kWh}{3.600.000J} = 9.858.030kWh/año \quad (19)$$

- POTENCIAL ENERGÉTICO DEL MAIZ

$$M_{rs} = 3Ha \times 0,89Ton/Ha \times 0,47 \times 2,33 \quad (20)$$

$$M_{rs} = 2,9Ton \text{ de residuo} \quad (21)$$

$$PE = 2,9Ton \times \frac{1.000kg}{1Ton} \times \frac{26,91MJ}{kg} = \frac{78.795MJ}{año} \times \frac{1.000.000J}{1MJ} \times \frac{1kWh}{3.600.000J} = 21.888kWh/año \quad (22)$$

Finalmente se resume el potencial energético de los cultivos de la zona de estudio en la tabla 27:

Tabla 27
Potencial Energético final de biomasa, Jurubirá

CULTIVO	MRS (Ton/año)	MRS (kg/año)	PODER CALORIFICO (MJ/kg)	POTENCIAL ENERGÉTICO (MJ/año)	POTENCIAL ENERGÉTICO (kWh/año)
Arroz secano	326,8	326806,7	26,91	8.794.367	2.442.880
Banano	1411,2	1411200,0	26,91	37.975.392	10.548.720
CAÑA	20,3	20265,0	26,91	545.331	151.481
Plátano	1318,8	1318800,0	26,91	35.488.908	9.858.030
MAIZ	2,9	2928,1	26,91	78.795	21.888
TOTAL				82.882.794	23.022.998

Nota: Elaborado por el autor

Frente a los resultados, se concluye que el potencial energético de la zona de estudio, correspondiente a 23.022.998kWh/año está principalmente aportado por los cultivo de Banano y plátano.

4.5 OBSERVACIONES CAPITULO I

Se aclara en primer lugar que los datos investigados corresponden a los diferentes atlas y mapas emitidos por entidades gubernamentales, sin embargo la herramienta metodológica utilizada (RETSscreen) ofrece una base de datos tomada de las estaciones meteorológicas y climatológicas de los aeropuertos, en este caso del aeropuerto de Nuquí. Al comparar estos datos se logra evidenciar una diferencia mínima mostrada en las diferentes tablas del capítulo uno, correspondientes a datos solares y eólicos. En segundo lugar para el presente estudio se toma como referencia los datos de la herramienta puesto que así se facilita el cálculo de la viabilidad técnico ambiental y financiera mostrada en los demás capítulos, además de esto los datos recolectados por los boletines emitidos por Colombia no presentan un porcentaje representativo de los datos dados, por posibles fallas ya sea en la toma de muestras o en daños en los equipos.

Dentro de todos los datos analizados correspondientes a las condiciones meteorológicas y climatológicas necesarias para la implementación de las diferentes energías renovables analizadas en el presente estudio, se identifica el potencial energético de la zona, que es posible

aprovechar para la obtención de electricidad. Para esto, se presenta la tabla 28 donde se evidencia en resumen el potencial energético de la zona. Estos datos se tendrán en cuenta para el análisis de los siguientes capítulos y se aclara que las unidades de energía difieren debido al tipo de energía:

Tabla 28

Resumen De Potencial Energético Del Municipio De Nuquí

MES	POTENCIAL SOLAR	POTENCIAL MAREOMOTRIZ	POTENCIAL EOLICO	POTENCIAL BIOMASA
	kWh/m ² /d	kW/m	W/m ²	kWh/año
January	4,06	3,69	3,5	
February	4,67	3,69	1,65	
March	5,02	3,69	1,32	
April	4,21	8,36	1,32	
May	4,01	6,52	2,46	
June	3,58	7,82	2,95	
July	4,04	4,94	3,5	23.022.998
August	3,86	7,14	4,8	
September	3,49	10,05	6,39	
October	3,55	8,94	6,39	
November	3,46	3,69	6,39	
December	3,51	3,69	4,8	
Annual	3,95	6,02	3,5	

Nota: Elaborada por el autor

Finalmente se concluye que la zona de estudio presenta un potencial energético considerable principalmente en energía mareomotriz (6.02kW/m) y de biomasa (23.022.998kWh/año). El potencial energético de la solar y eólica no es muy alto, pero con el análisis de los siguientes capítulos se conocerá si es viable la implementación de estos sistemas en la zona de estudio.

5. Capítulo II.

Tecnologías aplicables a la zona de estudio

Después de analizado el potencial energético de la zona de estudio, se realiza un análisis de las tecnologías de posible aplicación para finalmente escoger la más idónea:

Las tecnologías de energía renovable son una fuente duradera de energía que permite mediante la instalación de un equipo eficiente, disminuir considerablemente las emisiones de fuentes fósiles, los gases de efecto invernadero y la necesidad de importar energía de otros países (EPA, 2007).

En el presente capítulo se analizarán las tecnologías de los 4 tipos de energía renovable: Solar, Eólica, Undimotriz y biomasa. Por cada uno se estudiarán las capacidades técnicas de 2 o 3 equipos distintos que puedan ser aptos para la zona de estudio, se relacionará su potencial con el potencial de la zona y finalmente se escogerá el equipo más eficiente y viable por cada tipo de energía, para continuar con el desarrollo de los otros capítulos.

5.1 Criterios De Evaluación

Para la evaluación de equipos por cada tipo de energía, se plantea la siguiente matriz de evaluación:

Tabla 29.

Matriz De Evaluación De Equipos

COMPONENTE A EVALUAR	PUNTAJE POR EQUIPO		
	EQUIPO 1	EQUIPO 2	EQUIPO 3
GARANTIA			
VIDA UTIL			
DISPONIBILIDAD EN COLOMBIA			
EXPERIENCIA			
COSTOS DE INVERSIÓN			
MANTENIMIENTO			

Nota: Elaborada por el autor

	TESIS DE GRADO GESEA - SEMILLERO DE GESTIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICO-AMBIENTAL	ENTREGA FINAL
---	---	----------------------

5.1.1 Garantía:

Por lo general los equipos de energía renovable superan costos de inversión fuera del alcance de algunas organizaciones de financiación, pese a esto, no es viable tener equipos donde su garantía no supere por lo menos los 2 primeros años de operación del equipo, ya que implicarían costos de mantenimiento correctivo que no son viables para ningún tipo de proyecto. Su calificación será entre 1 y 5, siendo 5 el de mayor garantía, y 1 el de menor garantía, y la información acerca de los valores ha sido obtenida de los fabricantes de los mismos.

5.1.2 Vida Útil: Este tipo de proyecto requiere que los equipos tengan una vida útil mayor a 10 años, ya que va relacionada con la producción energética suficiente para suplir la necesidad de la población, y con la generación de ingresos que permitan costear la inversión y los costos anuales de mantenimiento (en caso de ser necesario) y operación. Su calificación será entre 1 y 5, siendo 5 el de mayor vida útil, y 1 el de menor vida útil. La información acerca de la vida útil de los equipos ha sido obtenida de los fabricantes de los mismos.

5.1.3 Disponibilidad En Colombia: Este es un componente clave para poder identificar que tan disponible esta un equipo para adquirirlo en el país, así como poder acceder a la asistencia técnica necesaria. Cabe aclarar que ciertos equipos no han sido comercializados en el país, por lo que en ese caso se tendrá en cuenta el costo de importación que será evaluado dentro de los costos de inversión. La disponibilidad se calificará de acuerdo a si hay o no empresas que comercialicen los equipos dentro del país. El puntaje será de 5 si hay empresas que los comercialicen, y de 1, si no las hay.

5.1.4 Experiencia: Se pretende evaluar si los equipos han sido usados en proyectos anteriores en Colombia o en otros países, y los años de experiencia de la empresa fabricante. Para esto se tomarán dos puntajes; para la implementación en otros países y en Colombia, 5 si las hay. Y 1 si no han implementado. Para la experiencia del fabricante se valorara entre 1, 3 y 5, siendo 5 las empresas con más de 8 años de experiencia en el equipo, 3 las empresas con experiencia de 3 a 7 años en el equipo, y 1 empresas con menos de 2 años de experiencia en el equipo.

5.1.5 Costos De Inversión: Se valorará el precio del equipo, incluyendo los costos de importación, de instalación y mano de obra, en \$/kW instalado, en 1, 3 y 5 siendo 1 aquellos

valores mayores a 25 millones de pesos/Kw, 3 para valores entre 10 y 24,9 millones de pesos, y 5 para valores menores a 10 millones de pesos por equipo.

5.1.6 Mantenimiento: De acuerdo a los datos recolectados en fichas técnicas e informes de equipos generados por la empresa fabricante, se valorará el mantenimiento de acuerdo a su disponibilidad en el país. Su calificación será de 1 si la empresa fabricante se encarga del mantenimiento, de 3 si debe contactarse al comercializador o 5 si es posible de realizar por el personal que labore con el equipo, en la zona de implementación. Lo anterior debido a que los costos de mantenimiento aumentarán de acuerdo a quien lo realice. El contactarse con la empresa fabricante para un mantenimiento, generará un costo mucho mayor debido al traslado del personal capacitado, mientras que si se capacita al personal operativo sobre el mantenimiento del equipo, los costos pueden disminuir considerablemente.

Cabe aclarar que en el mantenimiento no se tiene en cuenta la importación de repuestos en caso de ser necesarios, ya que no todos exigen su importación, habrán repuestos que en el país se puedan encontrar por lo que no se toma como componente de evaluación para la escogencia del equipo más apropiado.

Finalmente se tendrá por cada equipo un puntaje total. El equipo con mayor puntaje será el más apropiado para la zona de estudio.

5.2 Tecnologías De Energía Solar

Como se explicó en el marco teórico, la energía solar es la energía radiante que recibe la tierra en un periodo de tiempo. El aprovechamiento de la energía solar tiene ventajas como su naturaleza inagotable, renovable y utilización libre de polución; y desventajas como su intermitencia, variabilidad fuera del control del hombre y en algunas zonas, su baja densidad de potencia. Pese a esto, se hace necesaria la utilización de más equipos de conversión, para obtener una potencia efectiva (Murcia, 2009).

La energía solar puede ser útil de manera indirecta aprovechando la radiación para calentar un fluido, generar vapores y por ende electricidad, y de manera directa tomando la radiación solar y convirtiéndola directamente en electricidad haciendo uso de células solares o paneles. Los paneles más utilizados en la actualidad son los fotovoltaicos. Estos paneles permiten captar la

energía del sol y convertirla en energía de corriente continua; una instalación solar fotovoltaica se basa en este principio, utilizando además de un módulo fotovoltaico (conjunto de paneles interconectados), un regulador de carga, una batería, y un inversor para convertir la corriente continua, en alterna, como se evidencia en la figura 29 tomada de (Díaz & Carmona, 2012).

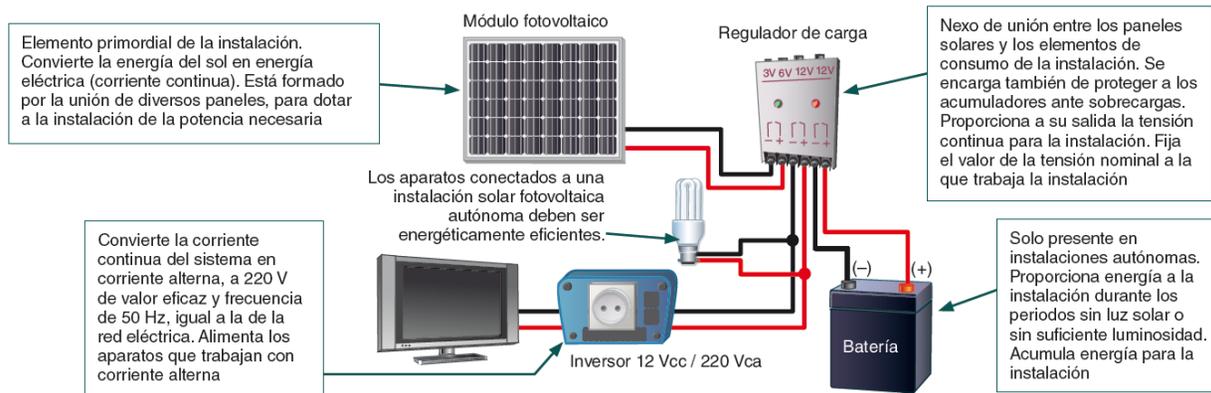


Figura 29. Principio Básico De Una Instalación Solar Fotovoltaica

La mayoría de los paneles solares están contruidos con materiales como el silicio, uno de los elementos más encontrados en el planeta después del oxígeno.

Una de las clasificaciones de los paneles solares se da por la tecnología de célula utilizada, dentro de estas se encuentran paneles policristalinos, monocristalinos, de capa delgada, amorfos, entre otros, como se muestra en la figura 30 tomada de (Díaz & Carmona, 2012). Para el desarrollo del presente estudio se plantea la utilización de paneles solares con Células de tipo policristalino, monocristalino y amorfo.

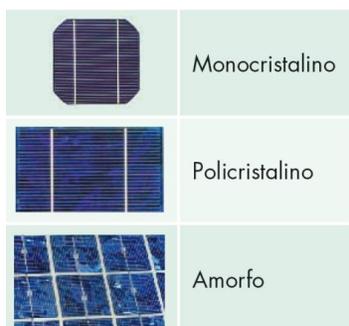


Figura 30. Tipos De Células De Un Panel

Para poder realizar un análisis concreto de los equipos solares más apropiados para la zona de estudio, se realiza una verificación de marcas más conocidas y vendidas a nivel global, se escogerán 2 empresas de mayor experiencia en el mundo y de ellas se escoge un equipo de cualquier tipo de célula. Lo primordial es analizar un equipo por cada tipo de célula para analizar sus características técnicas. Después de conocer características técnicas de equipos con este tipo de células, se procederá a realizar el análisis de cada equipo, con respecto a los datos analizados de potencial energético solar en la zona de estudio.

Después de consultada diversa bibliografía con respecto a empresas que fabriquen paneles solares, se evidenció que la empresa YINGLI SOLAR es una de las más conocidas a nivel mundial que fabrica paneles solares mono y poli cristalinos. Debido a esto, se escogen 2 equipos de esta empresa ya que su gran experiencia en el mercado permite obtener mayor seguridad en cuanto al equipo y su funcionamiento. Los paneles de célula amorfa son un poco más difíciles de conseguir, sin embargo la empresa NEXPOWER TECHNOLOGY ha tenido gran impacto a nivel global con equipos de célula amorfa y de capa delgada; por lo que se escoge un equipo fabricado por ellos para el análisis correspondiente.

A continuación se presentan las principales características de los equipos objeto de estudio:

Tabla 30
Características Técnicas De Paneles Solares

ESPECIFICACIONES	EQUIPOS		
	YINGLI PANDA 60 Cell 40 mm Series Monocrystalino	YINGLI YGE POLI 72 NH Series Cell policristalino	NexPower Technology Corporation NT 140 Axamorfo
Potencia de salida	280 W	226,1 W	140 W
tensión en Pmax	31.3 V	33,1 V	62.8 V
intensidad en Pmax	8.96 A	6,82 ^a	2.23 A
tensión en circuito abierto	39.1 V	42,1 V	84.5 V
intensidad de corto circuito	9.50 A	7,25 A	2.47 A
eficiencia	—	—	9,80%
Máxima tensión del	1000VDC	1000VDC	1000VDC

sistema			
valor máximo del fusible en serie	15 ^a	15 ^a	
limitación de corriente inversa	15 ^a	15 ^a	
rango de temperaturas de funcionamiento	de menos 40°C hasta 85°C	de menos 40°C hasta 85°C	temperatura de célula 25°C
Máxima carga estática frontal	5400Pa	5400Pa	
máxima carga estática posterior	2400P	2400P	
máximo impacto por granizo (diámetro /velocidad)	25mm / 23m/s	25mm / 23m/s	
Cubierta frontal (material / espesor)	Vidrio templado de bajo contenido en hierro / 3,2 mm	Vidrio templado de bajo contenido en hierro / 4,0 mm	
Célula solar (cantidad / tipo / dimensiones / Número de Busbars)	60 / silicio monocristalino / 156 x156 mm / 2 ó 3	72 / silicio multicristalino / 156 x156 mm / 2 ó 3	Capa fina (a-Si)
Encapsulante (material)	Etilvinilacetato (EVA)	Etilvinilacetato (EVA)	
Marco (material / color / color del anodizado / sellado del marco)	Aluminio anodizado / plata / claro / material de sellado	Aluminio anodizado / plata / claro / material de sellad	
Caja de conexiones (grado de protección)	≥ IP65	≥ IP65	
Cable (longitud / sección)	1100mm / 4mm ²	1200mm / 4mm ²	
Conector (tipo / grado de protección)	MC4 / IP67 o YT08-1 / IP67 o Amphenol H4 / IP68	MC4 / IP67 o YT08-1 / IP67 o Amphenol H4 / IP68	MC4
garantía	10 años	10 años	5 Años

Nota: elaborado el autor, referencias: (Yingli-Solar, 2008),(Yingli Solar, 2008),(Nex Power Corporation, n.d.)

Los paneles solares de las tres marcas especificadas en la tabla 30 poseen una garantía de potencia que se toma como la vida útil del panel, de 10 años cuando se utilice el 90% de su potencia de salida, y de 25 años cuando se utilice el 80% de su potencia de salida. Para el presente proyecto se utilizará la potencia del 80%.

En Colombia el comercializador directo de YINGLI SOLAR es ERCO ENERGÍA por lo que no se incluyen gastos de importación (ERCO, 2015).

Los paneles se compran por módulos y normalmente los módulos contienen 3 paneles para YINGLI SOLAR, y 2 paneles para NEXPOWER. Adicional al panel solar, es necesario para su instalación incluir un inversor, un regulador y unas baterías:

5.2.1 Inversor

Es el equipo que permite convertir la corriente continua, en corriente alterna para distribuir a la red. Para el presente proyecto se trabajara un inversor de 4000W marca XTENDER XTM, con eficiencia del 96%, un peso de 22.9kg, un rango de temperatura de trabajo de entre 22 y 55°C, y una humedad relativa de funcionamiento de 95%, evidenciado en la figura 31 tomada de (SOL-IVENT, 2015).



Figura 31. Inversor Xtender-Xtm

5.2.2 Regulador

Protege toda la instalación de sobrecargas, y suministra la tensión continua para toda la instalación. Para el presente proyecto se trabajará con un regulador de 48V marca XANTREX C-40, con una corriente de carga de 40^a a 25°C, un peso de 1,4kg, un voltaje de entrada $\leq 125V$ con corriente continua y circuito abierto, como se evidencia en la figura 32 tomada de (Clean Energy Brands, 2015)



Figura 32. Regulador Xantrex C-40

5.2.3 Baterías

Son las acumuladoras de energía para la instalación. Para el presente proyecto se manejarán baterías de 48V marca VISION POWER con una vida útil de 10 años, como se evidencia en la figura 33 tomada de (AutoSolar, 2015).



Figura 33. Baterías 48v Vision Power

5.2.4 COSTOS

Otros costos no incluidos dentro de los principales equipos de funcionamiento son aquellos costos de instalación, obras civiles necesarias y cableado o red para transporte de energía del lugar de instalación de los paneles, a la central de la red de la zona de estudio. Estos costos se estiman en €3.778 ya que no se tienen valores exactos para la zona (Ortiz, Deibe, Mejía, & Aldana, 2008).

Según lo explicado por docentes de la universidad, cuando no se conoce el dato exacto de los costos de Importación, y fletes y transportes, se toma un equivalente aproximado del 10% del costo de los equipos a adquirir.

La mano de obra, equivale a un 1.4% aproximado de la suma de los costos de los equipos, más otros gastos, más el costo de importación (Gonzalez & Salgado, 2013)

En su mayoría, los costos investigados están en euros o dólares, para la conversión, se utilizó un promedio del valor del euro y del valor del dólar, cada uno a peso colombiano, durante el 2014. Según (Banco de la Republica, 2015b); (Banco de la Republica, 2015a), el promedio 2014 del euro es de \$2656 y el del dólar es de \$2000.3

Los costos que generan la instalación de estos equipos son los siguientes:

Tabla 31
Costos De Inversión De Modulo Solar Compuesto Por 3 Paneles

COSTO/EQUIPO	YINGLI	YINGLI YGE	NT 140 Ax
	PANDA 60	POLI 72	amorfo
Precio Modulo	€282,87	€234,5	€501
Inversor 4000W		€2.335,30	
Regulador 48V		€105,32	
Batería 48V (4 monoblock)		€295,2	
VR. EQUIPOS	€3018,69	€2970,32	€3236,82
Costos Importación (10%)	-	-	€324
OTROS		€3.778	
VR. Euro 2014		\$2,656	

	TESIS DE GRADO GESEA - SEMILLERO DE GESTIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICO-AMBIENTAL	ENTREGA FINAL
---	---	----------------------

VR. TOTAL (\$)	\$18.052.009	\$17.923.538	\$19.491.906
Mano de Obra (1.4%)	\$252.728	\$250.930	\$272.887
Fletes (10%)	\$1.805.200	\$1.792.354	\$1.949.191
TOTAL	\$20.109.937	\$19.966.822	\$21.713.984
POTENCIA POR MODULO	0,84kW	0,68kW	0,42kW
COSTO EN \$/kW	\$23.940.401	\$29.362.974	\$51.699.962

Nota: elaborado el autor, referencias: (Yingli-Solar, 2008),(Yingli Solar, 2008),(Nex Power Corporation, n.d.); (Clean Energy Brands, 2015); (AutoSolar, 2015); (SOL-I-VENT, 2015); (Banco de la Republica, 2015b); (Banco de la Republica, 2015a)

5.3 Análisis comparativo entre equipos solares:

De acuerdo a los criterios de evaluación establecidos anteriormente se procede a analizar las condiciones técnicas mediante la matriz de evaluación propuesta, y se relacionan con el potencial energético de la zona de estudio, para finalmente identificar el más viable para el corregimiento:

Tabla 32
Matriz De Evaluación Equipos Solares

COMPONENTE A EVALUAR	PUNTAJE POR EQUIPO					
	PANDA 60	PUNTAJE	YGE-72	PUNTAJE	NT – 140	PUNTAJE
GARANTIA	10años	5	10 años	5	5 años	1
VIDA UTIL (Uso del 80%)	25 años	5	25 años	5	25 años	5
DISPONIBILIDAD EN COLOMBIA	SI	5	SI	5	NO	1
EXPERIENCIA EMPRESA	SI	5	SI	5	SI	5
EXPERIENCIA EQUIPO	17 años	5	17 años	5	15 años	5
COSTOS DE INVERSIÓN (\$/Kw)	\$23.940.401	3	\$29.362.974	1	\$51.699.962	1
MANTENIMIENTO	Comercializador	3	Comercializador	3	Comercializador	3
TOTAL		31		29		21

Nota: Elaborada por el autor.

Ahora bien, como se analizó en el capítulo anterior, el potencial solar de la zona según los datos recolectados de la NASA varía entre $3.4\text{kWh/m}^2/\text{d}$ y $5\text{kWh/m}^2/\text{d}$, por lo que relacionándolo con los equipos analizados, es posible evidenciar que los tres equipos pueden aprovechar el potencial de la zona y suplir la necesidad energética de la misma, aunque cabe aclarar que es necesario instalar varios módulos.

Por otro lado, el componente primordial de escogencia del equipo son sus costos de inversión por lo que los tres equipos están dentro de un rango aceptable de Inversión. Finalmente, teniendo en cuenta el puntaje de la matriz de evaluación, el equipo con mayor viabilidad para la zona es el PANDA 60, con un puntaje de 31.

5.3 Tecnologías De Energía Del Mar

Como se explicó en el marco teórico, la energía del mar es otra fuente inagotable de energía que permite aprovechar los movimientos y cambios químicos que puede presentar el agua de mar.

Existen varios tipos de aprovechamiento de la energía de mar; la energía azul correspondiente al aprovechamiento de la concentración de sal entre agua de mar y agua de río mediante electrodiálisis con membranas de iones específicos. La energía mareomotriz que aprovecha los cambios de alturas de las mareas, en relación con la posición de la Tierra y el efecto de la Luna. La energía undimotriz que aprovecha el movimiento de las olas teniendo en cuenta su altura entre el pico y el valle, y el periodo de tiempo que dura. (Caipichun et al., 2011).

Para el presente proyecto, se tomará como objeto de análisis, la energía undimotriz con el fin de aprovechar el movimiento continuo de las olas del pacífico.

El sistema básico de un equipo para aprovechamiento de energía undimotriz consta de un parque con cierta cantidad de equipos modulares y una estación transformadora central. Como lo indica (Haim, 2012), cada equipo modular aprovecha el movimiento de las olas y genera energía en corriente alterna, el mismo equipo tiene un transformador que convierte dicha energía a corriente continua la cual se transporta mediante un cable submarino a la estación, donde finalmente se convierte la electricidad en corriente alterna para su posterior distribución (Haim, 2012). En la figura 34 se muestra un ejemplo de energía undimotriz tomada de (Silva, 2013).

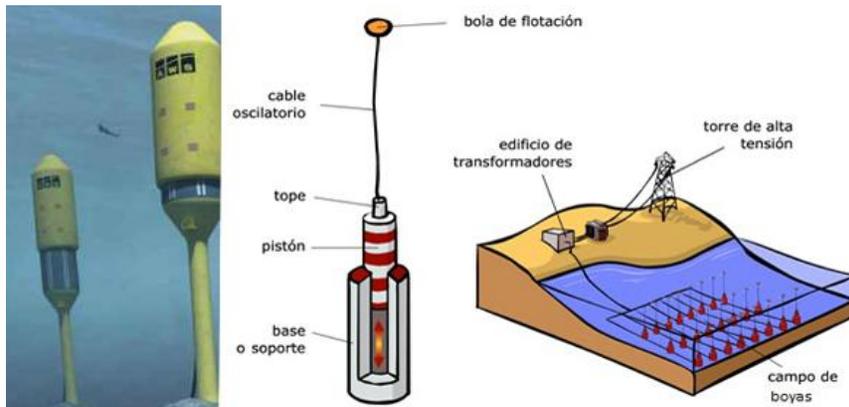


Figura 34. Ejemplo Básico De Energía Undimotriz: Boyas

Como equipos modulares se tienen diversos tipos como equipos flotantes, boyas y turbinas marinas; pero su comercialización ha sido casi nula por lo que normalmente quedan en etapa de diseño y se convierten en objeto de investigación para diversos trabajos y compañías, ya que su costo de implementación es bastante alto (Caipichun et al., 2011).

Para las tecnologías de la energía undimotriz, se tomarán dos casos esenciales, el PELAMIS como equipo mayormente comercializado a nivel mundial, y el WAVE DRAGON, una nueva tecnología que produce grandes cantidades de energía. Por cada equipo se conocerán las principales características técnicas, y su principio de funcionamiento; luego se expondrán los costos que más inciden en cada proyecto, y se analizarán sus componentes principales, mediante la matriz propuesta. Finalmente se escogerá la tecnología más apropiada para la zona de estudio, teniendo en cuenta sus condiciones y potencial energético.

5.3.1 Pelamis

Actualmente existen diversos proyectos de aprovechamiento de energía undimotriz en el Reino Unido, Portugal y España. Uno de los pocos que actualmente se comercializa es el “PELAMIS”, una especie de Serpiente marina de 140m de longitud por 3.5m de diámetro que copia el movimiento ondular de la superficie del mar y lo transforma en energía eléctrica, teniendo una potencia promedio de 750kW, que pueden suplir la necesidad eléctrica de 500 viviendas. El ejemplo del equipo se evidencia en la figura 35 tomada de (Haim, 2012).



Figura 35. Pelamis

A continuación se presentan las principales condiciones técnicas del equipo:

Tabla 33

Condiciones Técnicas Pelamis

ESPECIFICACIONES	PELAMIS P-750
Longitud	150m
Diámetro	3,5m
Arietes hidráulicos	4, 2 de tirón y 2 de influencia
Potencia de conjuntos de motor	2 generadores de 125Kw c/u
Potencia nominal	750Kw
Disponibilidad de tecnología	100%
Vida útil	15 años
CONDICIONES	
Máxima flexibilidad	
Mínimo trabajo en lugar	
Mantenimiento posible fuera de instalaciones	

Nota: Elaborada por el autor. Referencias: (Carcas, 2011)

El PELAMIS es de fácil trabajo, por lo que su mantenimiento se puede realizar en la zona, y por personas capacitadas, sin tener que importar el servicio técnico. Igualmente el equipo tiene repuestos simples que pueden conseguirse dentro del país.

Como se observa en las especificaciones técnicas, se está tomando un equipo piloto de 750Kw, ya que un equipo de escala comercial consta de varias secciones interconectadas, que generan más de 8 a 10MW, lo cual no es apto para nuestro proyecto, al no ser comparable con las demás tecnologías manejadas. Frente a lo anterior, los costos corresponderán a una planta piloto, a 2004 de acuerdo con los informes realizados en San Francisco - USA para la implementación de este equipo(Bedard, Hagerman, & Siddiqui, 2004).

5.3.2 Wave Dragon

Otro proyecto no comercializado pero si en etapa de operación es el Wave Dragon (Dragón de olas), una plataforma flotante que utiliza principios de energía hidroeléctrica, con el uso de turbinas, aprovechando así la mayor energía potencial de las olas desde el fondo del océano, hasta su punto más alto(Haim, 2012).

Puede llegar a producir de 4 a 10 MW dependiendo de las condiciones del mar de la zona donde quiera implementarse, y actualmente existe un prototipo instalado y conectado a la red en Nissum Bredning, Dinamarca (Christensen, Friis-Madsen, & Kofoed, 2005), una muestra del equipo se evidencia en la figura 36 tomada de (Christensen et al., 2005).



Figura 36. Wave Dragon

Estas Son sus condiciones técnicas principales:

Tabla 34

Condiciones Técnicas Wave Dragon

ESPECIFICACIONES	EQUIPO: DRAGON DE OLAS (WAVE DRAGON)		
	24 kW/m	36 kW/m	48 kW/m
Peso (ton): Combinación de concreto reforzado-lastre y acero	22000	33000	54000
Anchura total y longitud (m)	260 x 150	300 x 170	390 x 220
Longitud de onda del reflector (m)	126	145	190
Altura (m)	16	17,5	19
Deposito (m3)	5000	8000	14000
Numero de turbinas cabeza baja Kaplan	16	16 - 20	16 - 24
Generadores de imanes permanentes	16 x 250 kW	16 - 20 x 350-440 kW	16 - 24 x 460-700 kW
Potencial nominal por unidad	4 MW	7 MW	11 MW
Producción anual de energía por unidad	12 GWh/y	20 GWh/y	35 GWh/y
Profundidad del agua	> 20 m	> 25 m	> 30 m

Nota: Elaborada por el autor. Referencias:(Soerensen, 2006),(INCP, n.d.)

Los costos de implementación del WAVE DRAGÓN se basarán en los mismos porcentajes que utilizaron en San Francisco para los precios de la planta piloto de PELAMIS.

5.3.3 Equipos Complementarios

Para las tecnologías de olas se necesitan los siguientes equipos complementarios:

5.3.3.1 Cables Submarinos: Cable formado por un conductor en cobre laminado, cubierto de papel impregnado en aceite y resinas, una capa de polietileno extruido y acero galvanizado que protege contra corrosión y deformaciones, mostrado en la figura 37 tomada de (Frau & Gutierrez, 2005).



Figura 37. Cable Submarino

5.3.3.2 Inversor: Es el equipo que permite convertir la corriente continua, en corriente alterna para distribuir a la red. Para el presente proyecto se trabajara un inversor de 4000W marca XTENDER XTM, con eficiencia del 96%, un peso de 22.9kg, un rango de temperatura de trabajo de entre 22 y 55°C, y una humedad relativa de funcionamiento de 95%, ejemplo mostrado en la figura 38 tomada de (SOL-I-VENT, 2015).



Figura 38. Inversor Xtender-Xtm

5.3.3.3 Obras:

Las obras corresponden a la planta central en tierra, donde llegará la energía para conversión de corriente continua a alterna; y posterior distribución.

5.3.4 Costos

Según lo analizado del libro “Gestión de Proyectos” de (Miranda, 2005a), cuando no se conoce el dato exacto de los costos de Importación, y fletes y transportes, se asume un valor del 10% del costo de los equipos a adquirir.

La mano de obra, equivale a un 1.4% aproximado de la suma de los costos de los equipos, más otros gastos, más el costo de importación (Gonzalez & Salgado, 2013)

Los costos del PELAMIS y del WAVE DRAGON son de años anteriores, sin embargo, por usos de tecnología y comercialización de la misma, el valor del equipo como tal pudo haber disminuido hasta la fecha. Para el análisis de costos, se dejará el valor inicial de cada equipo (PELAMIS a 2004 y WAVE DRAGON a 2006).

Según (Bedard et al., 2004), los costos de una tecnología para energía undimotriz presentan los siguientes porcentajes:

Tabla 35
Porcentaje De Costos Tecnologías De Energía Undimotriz

COMPONENTE	% CON RESPECTO AL VALOR TOTAL
Equipo	29.9%
Transmision en Tierra, y red	1.4%
Cables Submarinos	1.8%
Modulos de Conversión	51.5%
Instalacion	5.4%
Construcción central	10%

Nota: Fuente (Bedard et al., 2004)

Con respecto a la tabla 35, se hallan los costos que generan la implementación de estos equipos. Para el cálculo del PELAMIS, solamente se toman los valores reales que costó la implementación de la planta piloto en San francisco. Para el cálculo del WAVE DRAGON se sabe que el equipo cuesta €151.200 y equivalen a USD\$201.096; este valor corresponde al 29.9%

del total de los costos; con respecto a este dato, se halla el 100% de los costos que serían USD\$672.562, sin incluir el inversor ya que este es un equipo adicional que se instalaría en la planta central en tierra. Sobre este último valor se hallan los demás porcentajes, teniendo finalmente el costo de implementación de este equipo.

En su mayoría, los costos investigados están en euros o dólares. Para la conversión, se utilizó un promedio del valor del euro y del valor del dólar, cada uno a peso colombiano, durante el 2014.

Según (Banco de la Republica, 2015b); (Banco de la Republica, 2015a), el promedio 2014 del euro es de \$2656 y el del dólar es de \$2000.3

Para los datos que estén en euros, se realizará la conversión correspondiente a dólares, tomando el promedio del año 2014. Frente a esto se tiene que 1 euro equivale a 1.33 dólares.

Tabla 36

Costos De Inversión De Tecnologías De Energía Undimotriz

COSTO/EQUIPO	PELAMIS	WAVE DRAGON
Precio Equipo	USD\$1.093.000	€151.200 = USD\$201.096
Inversor 4000W		€2.335,3 = USD\$3.106
Transmisión en Tierra, y red	USD\$162.000	USD\$9.416
Cables Submarinos	USD\$1.438.000	USD\$12.106
Modulos de Conversión	USD\$850.000	USD\$346.369
Instalación	USD\$841.000	USD\$36.319
Construcción central	USD\$509.000	USD\$67.256
VR. EQUIPOS	USD\$4.896.106	USD\$675.668
Costos Importación (10%)	USD\$489.611	USD\$67.567
VR. TOTAL (\$)	USD\$5.385.717	USD\$743.235
Mano de Obra (1.4%)	USD\$75.400	USD\$10.405
Fletes (10%)	USD\$538.571	USD\$74.324
TOTAL	USD\$5.999.688	USD\$827.964
VALOR DÓLAR 2014		\$2.000,3
VR. TOTAL (COP)	\$12,001,175,907	\$1,656,176,389
COSTO \$/Kw	\$16.001.568	\$414.044

Nota: elaborado el autor, referencias: (Bedard et al., 2004); (Banco de la Republica, 2015b); (Banco de la Republica, 2015a); (Soerensen, 2006)

5.3.5 Análisis comparativo entre equipos energía del mar:

De acuerdo a los criterios de evaluación establecidos anteriormente se procede a evaluar las condiciones técnicas y otros componentes mediante la matriz de evaluación propuesta, y se relacionan con el potencial energético de la zona de estudio, para finalmente identificar el más viable para el corregimiento:

Tabla 37
Matriz De Evaluación Equipos De Energía Undimotriz

COMPONENTE A EVALUAR	PUNTAJE POR EQUIPO			
	PELAMIS	PUNTAJE	WAVE DRAGON	PUNTAJE
GARANTIA	-	-	-	-
VIDA UTIL	15 años	5	20 años	5
DISPONIBILIDAD EN COLOMBIA	NO	1	NO	1
EXPERIENCIA	11 años	5	9 años	5
COSTOS DE INVERSIÓN	\$ 16.001.568	3	\$414.044	5
MANTENIMIENTO	De fácil mto, posible por empleados	5	De fácil mto, posible por empleados	5
TOTAL		19		21

Nota: elaborado el autor

Ahora bien, como se analizó en el capítulo anterior, el potencial undimotriz de la zona para el 2014 es de entre 3 y 10kW/m por lo que relacionándolo con los equipos analizados, es posible evidenciar que los dos pueden suplir la necesidad de la zona y posiblemente generar energía para otras zonas no interconectadas (ZNI) cercanas al corregimiento.

Por otro lado, el componente primordial de escogencia del equipo son sus costos de inversión por lo que evidentemente el WAVE DRAGON es mucho más fácil de adquirir que el PELAMIS ya que su diferencia de precios es muy considerable (11 mil millones de diferencia). Sin embargo, cabe aclarar que el Wave Dragon fue analizado con costos de inversión en etapa experimental, por lo que posiblemente en etapa comercial aumente su valor debido a inclusiones en la inversión.

	TESIS DE GRADO GESEA - SEMILLERO DE GESTIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICO-AMBIENTAL	ENTREGA FINAL
---	---	----------------------

Finalmente de acuerdo al puntaje total resultado de la matriz de evaluación, se evidencia que el equipo más viable para su implementación es el WAVE DRAGON con un puntaje de 22.

Hay que hacer evidente que estos dos equipos representan un riesgo tecnológico considerable, al tratarse de tecnologías con niveles de madurez muy bajos.

5.4 Tecnologías De Energía Mini-Eólica

Las tecnologías de energía eólica se basan en aprovechar la energía potencial del viento mediante las turbinas; es la tecnología más utilizada en el mundo debido a sus costos, a la integración con el sistema eléctrico de las ciudades y a la profesionalidad del sector, sin embargo como lo indica el IDEA(Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía) en su “Manual de Energías renovables”, el viento no es un recurso del que se pueda disponer de manera constante, pero difiere de las zonas en que se planea implementar la tecnología (IDAE, 2006)

Un aerogenerador de energía mini eólico sigue el mismo principio y posee casi las mismas partes de los aerogeneradores de mayor capacidad, su diferencia es que se accede a ellos por la parte exterior y son especialmente utilizados para generación energética baja, en zonas pequeñas, aisladas, o para casas y edificios.

Resumiendo lo especificado en el documento “Energía Eólica. Principios y tecnología” de Antonio Neumann, los aerogeneradores poseen un eje de rotor lento con aspas normalmente de fibra de vidrio, una caja multiplicadora, un generador eléctrico, controles y mecanismos auxiliares como frenos y sistemas de orientación como veletas (Neumann, 2002).

Como lo indica Bryan Domínguez en su artículo “Generadores eólicos de baja potencia”, “El principio básico de funcionamiento es que el viento ejerce acción dinámica sobre las palas del rotor del motor. Dicho movimiento se transmite al generador eléctrico y este transforma la energía mecánica, en energía eléctrica”(Domínguez, 2007). A continuación se presenta la figura 39 del principio básico de energía eólica tomada de (LBA Industrial, n.d.):

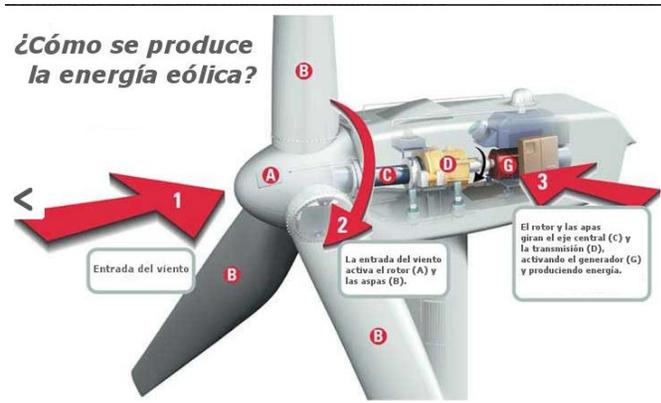


Figura 39. Principio Básico De Energía eólica

Todos los equipos tienen el mismo principio de funcionamiento, su diferencia radica en las condiciones técnicas y diseño exterior, un ejemplo claro se muestra en la figura 40 elaborada por el autor, con referencias de (Yin, 2015); (eddy, n.d.); (ENAIR, 2006) .



Figura 40. Ejemplos De Aerogeneradores Mini-Eólicos

Se reunió información de 3 tipos de equipos para el análisis comparativo con el potencial eólico de la zona de estudio, por cada equipo se tienen especificaciones técnicas que serán analizadas mediante la matriz propuesta. En esta matriz también se analizará el tema de costos, por lo que se realizará un análisis de costos que incurren no solo en la compra del equipo, sino en su instalación y demás equipos complementarios necesarios. Finalmente, de acuerdo a la velocidad de arranque de cada equipo, y al puntaje obtenido en la matriz, se escogerá el equipo más apropiado para el análisis del siguiente capítulo.

Para la elección de los tres equipos, se analizó la velocidad de arranque de los equipos y se escogieron los que tuvieran menor velocidad de arranque ya que la velocidad de la zona de estudio está por debajo de 2.5m/s como se analizó en el capítulo anterior. El equipo marca AEOLOS-H se escogió debido a que su potencia es baja y ha sido muy utilizado en casas y edificios de España. El equipo EDDY se escogió por ser uno de los más utilizados a nivel residencial debido a su forma y su facilidad de instalación, además de que es posible adquirirlo dentro del país por lo que disminuiría costos de importación. El equipo ENAIR-30 se escogió principalmente por tener la menor velocidad de arranque de todos los equipos analizados.

Para el análisis, inicialmente se presentan las siguientes condiciones técnicas, por los 3 equipos escogidos:

Tabla 38
Condiciones Técnicas Aerogeneradores

ESPECIFICACIONES	EQUIPOS		
	AEROGENERADOR AEOLOS-H	AEROGENERADOR EDDY (UrbangreenEnergy)	AEROGENERADOR ENAIR-30
Potencia Nominal	500 w	600w	1,5kW
Máxima Potencia de Salida	600 w	-	3kW
Voltaje de Salida	24V	24V	24/48/220V
Número de Palas	3 Palas de Fibra de Vidrio	-	3 Hélices fibra vidrio con resinas epoxi
Diámetro del Rotor de Palas	2.7m (8.9 pies)	1,4m	3,2 - 4,1 m

Velocidad de Arranque del Viento	2.5 m/s (5.6 mph)	3,5m/s	2m/s
Velocidad Nominal del Viento	12 m/s (26.8 mph)	12m/s	10-12m/s
Velocidad de Sobrevivencia del Viento	45 m/s (100.7 mph)	55m/s	>60m/s
Generador	Generador Trifásico Magnético Permanente	Generador trifásico imán permanente	-
Eficiencia del Generador	>0.96	-	0,95
Peso de Turbina	28kg (61.7lbs)	92kg	130kg
Ruido	25 db(A) @ 5m/s	36dB	1% - de dB que ruido ambiente del viento
Rango de Temperatura	-20°C a +50°C	-	-
Vida Útil del Diseño	20 Años	20 Años	20 Años
Garantía	Estándar 5 Años	-	4 años

Nota: Elaborada por el autor. Referencias: (Ecolife, n.d.); (SOL-I-VENT, n.d.); (Yin, 2015); (eddy, n.d.); (ENAIR, 2006)

El aerogenerador EDDY es el único que tiene comercializador en Colombia llamado AMPER INGENIERIA S.A.S., los otros 2 son de España por lo que se cuenta el costo de importación. El mantenimiento e instalación de los 3 aerogeneradores analizados es posible hacerlo con personal capacitado del país por lo que no se ve la necesidad de requerir asistencia técnica al vendedor. La experiencia de los 3 aerogeneradores es la misma que de la empresa creadora.

5.4.1 Equipos Complementarios

Al igual que la tecnología de energía solar, es necesario para la instalación de los aerogeneradores mini-eólicos, incluir un inversor, un regulador y unas baterías:

5.4.1.1 Inversor: Es el equipo que permite convertir la corriente continua, en corriente alterna para distribuir a la red. Para el presente proyecto se trabajara un inversor de 4000W marca XTENDER XTM, con eficiencia del 96%, un peso de 22.9kg, un rango de temperatura de

trabajo de entre 22 y 55°C, y una humedad relativa de funcionamiento de 95%, evidenciado en la figura 41, tomada de (SOL-I-VENT, 2015).



Figura 41. Inversor Xtender-Xtm

5.4.1.2 Regulador:

Protege toda la instalación de sobrecargas, y suministra la tensión continua para toda la instalación. Para el presente proyecto se trabajará con un regulador de 48V marca XANTREX C-40, con una corriente de carga de 40^a a 25°C, un peso de 1,4kg, un voltaje de entrada $\leq 125V$ con corriente continua y circuito abierto, como el mostrado en la figura 42 tomada de (Clean Energy Brands, 2015)



Figura 42. Regulador Xantrex C-40

5.4.1.3 Baterías: Son las acumuladoras de energía para la instalación. Para el presente proyecto se manejarán baterías de 48V marca VISION POWER con una vida útil de 10 años, como la que se muestra en la figura 43 tomada de (AutoSolar, 2015).



Figura 43. Baterías 48v Vision Power

5.4.2 Costos

Otros costos no incluidos dentro de los principales equipos de funcionamiento son aquellos costos de instalación, obras civiles necesarias, y cableado o red para transporte de energía del lugar de instalación de las turbinas, a la central de la red de la zona de estudio. Estos costos se estiman en €3.778 ya que no se tienen valores exactos para la zona (Ortiz et al., 2008).

Según lo analizado del capítulo ocho del libro “Gestión de Proyectos” de (Miranda, 2005b), cuando no se conoce el dato exacto de los costos de Importación, y fletes y transportes, se asume un valor del 10% del costo de los equipos a adquirir.

La mano de obra, equivale a un 1.4% aproximado de la suma de los costos de los equipos, más otros gastos, más el costo de importación (Gonzalez & Salgado, 2013)

En su mayoría, los costos investigados están en euros o dólares, para la conversión, se utilizó un promedio del valor del euro y del valor del dólar, cada uno a peso colombiano, durante el 2014. Según (Banco de la Republica, 2015b); (Banco de la Republica, 2015a), el promedio 2014 del euro es de \$2656 y el del dólar es de \$2000.3.

Para los datos que estén en dólares, se realizará la conversión correspondiente a euros, tomando el promedio del año 2014. Frente a esto se tiene que 1 dólar equivale a 0.75 euros.

Los costos que generan la instalación de estos equipos son los siguientes:

Tabla 39
Costos De Inversión De Una Turbina Mini-Eólica

COSTO/EQUIPO	AEROGENERADOR	AEROGENERADOR	AEROGENERADOR
	AEOLOS-H	EDDY	ENAIR-30
Precio Turbina	USD 1.682 =€1.262	USD 5.000 =€3.750	€7.826,28
Inversor 4000W		€2.335,30	
Regulador 48V		€105,32	
Bateria 48V (4 monoblock)		€295,2	
VR. EQUIPOS	€3.997,82	€6.485,82	€10.562,1
Costos Importación (10%)	€400	-	€1.056
OTROS		€3.778	
VR. Euro 2014		\$2.656	
VR. TOTAL (COP)	\$21.714.978	\$27.260.706	\$40.892.042
Mano de Obra (1.4%)	\$304.010	\$381.650	\$572.489
Fletes (10%)	\$2.171.500	\$2.726.071	\$4.089.204
TOTAL	\$24.190.488	\$30.368.427	\$45.553.735
COSTO \$/Kw	\$48.380.976	\$50.614.045	\$30.369.157

Nota: elaborado el autor, referencias: (Yingli-Solar, 2008),(Yingli Solar, 2008),(Nex Power Corporation, n.d.); (Clean Energy Brands, 2015); (AutoSolar, 2015); (SOL-I-VENT, 2015); (Banco de la Republica, 2015b); (Banco de la Republica, 2015a)

5.4.3 Análisis comparativo entre equipos eólicos:

De acuerdo a los criterios de evaluación establecidos anteriormente se procede a analizar las condiciones técnicas mediante la matriz de evaluación propuesta, y se relacionan con el potencial energético de la zona de estudio, para finalmente identificar el más viable para el corregimiento:

Tabla 40
Matriz De Evaluación Equipos Mini-Eólicos

COMPONENTE A EVALUAR	PUNTAJE POR EQUIPO					
	AEOLOS-H	PUNTAJE	EDDY	PUNTAJE	ENAIR-30	PUNTAJE
GARANTIA	5 años	5	-	1	4 Años	3
VIDA UTIL	20Años	5	20 Años	5	20 Años	5
DISPONIBILIDAD EN COLOMBIA	NO	1	SI	5	NO	1
EXPERIENCIA	29 Años	3	17 años	3	45 Años	5
COSTOS DE INVERSIÓN	\$48.380.976	1	\$50.614.045	1	\$30.369.157	1
MANTENIMIENTO	De fácil mto, posible por empleados	5	De fácil mto, posible por empleados	5	De fácil mto, posible por empleados	5
TOTAL		20		20		20

Nota: elaborado el autor

Ahora bien, como se analizó en el capítulo anterior, el potencial eólico de la zona según los datos recolectados de la NASA está entre $1W/m^2$ y $6W/m^2$ por lo que relacionándolo con los equipos analizados, es posible evidenciar que los tres pueden suplir la necesidad de la zona. Igualmente, cabe aclarar que durante algunos días del mes se evidenciará mayor velocidad de vientos que otros, dependiendo de la hora del día.

En el caso de los aerogeneradores mini eólicos, el componente primordial de elección del equipo no trata sobre el costo de inversión. Como la zona presenta tan bajas velocidades de viento que radican en un rango de entre 1 y 2.5m/s, se debe tener en cuenta la velocidad de arranque del aerogenerador para que sea viable en la zona de estudio. Frente a lo anterior, es posible implementar un aerogenerador ENAIR – 30 debido a que su velocidad de arranque es de 2m/s, por lo que se podría aprovechar el potencial eólico de la zona. De acuerdo a la matriz de evaluación realizada, los 3 equipos concuerdan con un puntaje igual a 20, sin embargo; el costo el \$/kW es menor en el ENAIR-30 que en los otros equipos.

5.5 Energía A Partir De Biomasa Residual

La palabra biomasa se refiere a todas las cosas vivas, pero particularmente con respecto al uso como fuente de combustible y de energía de los residuos producidos en la industria agrícola, maderera y plantas de tratamiento de aguas (Estrada & Zapata Meneses, 2004)

La gasificación de biomasa es una forma de conversión de energía que todavía se mantiene en etapa de investigación y desarrollo con algunas aplicaciones en la generación de electricidad (Lesme-Jaen, Martínez, Viera-Andrade, & Silva-Lora, 2011).

Gasificación es un proceso térmico en el cual combustibles sólidos tales como madera, residuos agrícolas y otros tipos de biomasa seca son convertidos en un gas combustible con el objeto de producir el llamado “Sinter gas” o también llamado “gas producido” que puede ser quemado en motores de combustión interna, turbinas o en equipos de producción de calor y potencia. A continuación se presenta la figura 44 tomada de (Estrada & Zapata Meneses, 2004):

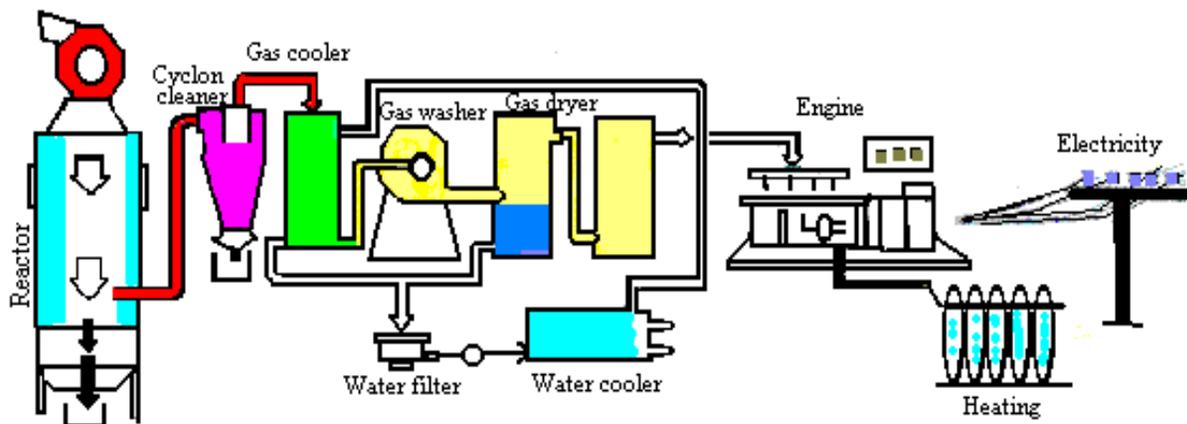


Figura 44. Ejemplo De Un Sistema Básico De Gasificación

Para el aprovechamiento de la biomasa residual de la zona de estudio se pretende analizar el uso de gasificadores con motor/alternador para la producción necesaria de energía, teniendo en cuenta sus características técnicas y el potencial de la zona de estudio. Después de conocer cada una de las características de la zona de estudio se evaluará su viabilidad mediante la matriz propuesta.

5.5.1 Gasificador Pp-20

Como primer y único equipo se tiene un Gasificador con motor-generator incluido, razón por la cual se escogió para el análisis de este tipo de energía. Este equipo se evidencia en la figura 45 tomada de (All power labs, 2012), y presenta las características evidenciadas en la tabla 41:



Figura 45. Gasificador Pp-20

Tabla 41

Características Técnicas Gasificador Pp-20

ESPECIFICACIONES	EQUIPO
	Gasificador PP-20
Potencia nominal continua	15kW
Biomasa mínima para combustión	1.2kg/kWh
Capacidad de tolva	0.33m ³ ó 88gl
Tiempo de llenado de tolva	5kW = 10 horas 10kW = 5 horas 15kW = 3 horas
Funcionamiento continuo	>12 horas
Tiempo de inicio	10 – 20 minutos
Temperatura de Ambiente	5-40°C
Humedad Relativa	5-95%
Dimensiones PP20	145x145cm
Dimensiones Tolva	83x83 cm
Peso PP20	700kg
Peso tolva	91kg
Tamaño de biomasa	12-40 mm
Contenido De Humedad	10-30% en base seca
Motor	1500RPM
Garantía	2 años
Vida útil	10 años
Sistema de Voltaje	12V DC
PRECIO (USD)	USD\$40.345
PRECIO (COP)	\$99.087.320
GASTOS IMPORTACION (10%)	\$9.908.732
MANO DE OBRA (1.4%)	\$1.387.223
PRECIO TOTAL	\$110.383.275

Nota: Elaborada por el autor. Referencia: (All power labs, 2012)

El gasificador PP-20 no es comercializado en Colombia, se obtiene directamente de la empresa fabricante ALL POWER LABS ubicada en Berkeley – California, el mantenimiento del equipo en primera instancia lo realiza el personal del fabricante, después de cumplida la garantía, y capacitado el personal, el mantenimiento puede ser realizado por personas del país. Los

repuestos algunos se deben importar, otros se pueden conseguir en el país, pero se define dependiendo del daño que presente.

Se encontraron otros equipos de gasificación que se tratan de calderas que vienen sin motor-generator, y no cumplen con las especificaciones que se analizaron del PP-20. El gasificador evaluado tiene una gran ventaja, y es que el equipo incluye el motor-generator, lo que disminuye el costo de inversión. Por esta razón, no se escogió ninguno otro para realizar un análisis comparativo con el PP-20.

5.6 Análisis comparativo entre las tecnologías seleccionadas:

Después de analizada la tecnología de cada tipo de energía, se concluye que para la zona de estudio, los equipos más apropiados y con los que seguirá el análisis en los otros capítulos son los mostrados en la tabla 42:

Tabla 42

Resumen Tecnologías Aplicables Para La Zona De Estudio

TIPO ENERGIA	EQUIPO	POTENCIA NOMINAL	VIDA UTIL	% EFICIENCIA	COSTO INVERSIÓN
SOLAR (1 módulo de 3 paneles)	PANDA 60	280W/panel	20años	80%	\$20.109.937
EOLICA (1 turbina)	ENAIR-30	1.5KW	20 años	95%	\$45.553.735
UNDIMOTRIZ	WAVE DRAGON	4MW	20 años	2% *	\$1.656.176.389
BIOMASA	Gasificador PP-	15KW	10 años	-	\$108.996.052

20

Nota: Elaborada por el autor

*Para la tecnología Wave Dragon, debido a su gran potencia nominal, se decide utilizar únicamente el 2% de su rendimiento para producir la energía necesaria, puesto que si se

incrementa el porcentaje de rendimiento, El equipo no es comparable con los demás dentro del estudio realizado.

5.6.1 Relación Costo/ kW Como Parámetro Comparativo Entre Las Tecnologías Aplicables

Para identificar la tecnología más apropiada en cuanto al aspecto económico se realiza un comparativo del costo de inversión por cada kW instalado de cada una de las tecnologías, teniendo en cuenta que su variación se puede ver afectada por las zonas donde sean implementados. Por otro lado este parámetro comparativo permitirá determinar la magnitud de los costos fijos de cada tecnología y así identificar cuál de estas es viable en cuanto a la instalación.

Para lo anterior se realiza la división del costo de inversión sobre la potencia nominal de cada equipo, generando los resultados mostrados en la tabla 43:

Tabla 43
Relación Costo/ kW De Las Tecnologías Aplicables

TIPO ENERGIA	EQUIPO	POTENCIA NOMINAL	COSTO INVERSIÓN	RELACIÓN COSTO/ kW
SOLAR (1 módulo de 3 paneles)	PANDA 60	0,28 kW/panel	\$20.109.937	\$23.940.401
EOLICA (1 turbina)	ENAIR-30	1.5kW	\$45.553.735	\$30.369.157
UNDIMOTRIZ	WAVE DRAGON	4.000kW	\$1.656.176.389	\$414.044
BIOMASA	Gasificador PP-20	15kW	\$108.996.052	\$7.266.403

Nota: Elaborada por el autor

Cabe mencionar que para los cálculos que se muestran en la tabla anterior no se tiene en cuenta la eficiencia de cada una de las tecnologías, puesto que estos costos hacen alusión a la capacidad

instalada de cada una de ellas. Frente a lo anterior se logra evidenciar que la tecnología que obtuvo un menor valor frente a la relación Costo/Kw corresponde a la UNDIMOTRIZ con un coste de \$414.044. Este resultado permite concluir que para tener un mayor beneficio de este tipo de tecnología, se puede plantear la posibilidad de generar un proyecto de interconexión entre todo el litoral del pacífico Colombiano que permita aprovechar el 100% de la capacidad instalada del equipo y a su vez suplir la necesidad energética que actualmente presenta la zona. Sin embargo, hay que aclarar que esta tecnología aún está en fase de investigación (instalaciones experimentales) y que los costos utilizados para la comparación solamente están basados en información secundaria y no pueden ser asumidos como costos finales de la tecnología en un uso aplicado real; por estas razones se descarta esta tecnología como alternativa real para la comunidad en el presente estudio, pero se propone como sugerencia la realización de un estudio de mayor profundidad relacionado con las condiciones de este posible proyecto

Atendiendo a estas indicaciones, se concluye que la tecnología de Biomasa presenta un costo de \$7.266.403, el supera el valor de la undimotriz. Sin embargo su costo de inversión es mucho menor comparado con el de la tecnología undimotriz por tanto el equipo se considera el más viable para dar solución a la problemática energética de la zona de estudio. Cabe aclarar que los siguientes capítulos se analizara cuál de las tecnologías es la más apropiada teniendo en cuenta otros factores.

6. Capítulo III.

Descripción socio-económica de la zona de estudio

La descripción socio-económica de una determinada región permite evidenciar los factores estructurales en los que se basa el crecimiento y la generación de riqueza, y las potencialidades con las que cuenta para poder superar determinadas problemáticas que se presentan en el desarrollo social y económico de una comunidad específica; como se analiza en el documento *“Análisis de la situación económica, social y territorial de la comunidad valencia”*, realizado por el Instituto valenciano de investigaciones económicas (IVIE, 2013).

Para la descripción socio – económica del corregimiento de Jurubirá, se presentan los siguientes datos hallados en el plan de Desarrollo Municipal de Nuquí:

6.1 Educación: El corregimiento actualmente posee 2 colegios correspondientes a:

- Colegio Nueva Rural mixta de Jurubirá: El colegio ofrece los servicios de Jardín infantil, transición, primaria (hasta quinto grado), y secundaria hasta sexto grado. Brinda educación en calendario A, jornada Diurna.
- Colegio Educación básica pascual Santander de Jurubirá: El colegio ofrece los servicios de Jardín infantil, transición, primaria, y secundaria hasta grado once. Cuenta con un programa de educación continuada con CAFAM, posee escuela primaria para adultos, con jornadas de Día, tarde y fines de semana.

6.2 Transporte:

El corregimiento no posee malla vial adecuada para transporte hacia otros municipios, sin embargo las trochas que posee les permite viajar a la cabecera municipal de Nuquí y a otros corregimientos cercanos. En su mayoría la población se transporta por Lancha.

6.3 Industria: El corregimiento no posee ninguna industria instalada

6.4 Sectores Económicos: La población del corregimiento se dedica a los cultivos agrícolas y forestales, y al turismo de la zona. A continuación se presenta la tabla 44 con los cultivos con mayor incidencia en la zona de estudio, tal como se especificó en el potencial de energía por biomasa en capítulos anteriores:

Tabla 44
Principales cultivos de Jurubirá

CULTIVO	Áreas cultivadas (Ha)
Arroz	40
Plátano	24
Banano	36
Caña	1
Maíz	3
TOTAL	104

6.5 Población

Según el plan de desarrollo del municipio de Nuquí, la zona presentó un total de 625 habitantes, en 120 viviendas para el año 2011. Sin embargo, el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) en el año 2005 realizó el censo nacional y a su vez realizó una proyección poblacional que se encuentra en la página web de la entidad. Se decide utilizar la proyección dada por el DANE para hallar la población actual del corregimiento, en base al año 2011.

Este cálculo se realiza tomando la población total del municipio de Nuquí para el año 2011 según el DANE, y se halla el porcentaje correspondiente a la población del corregimiento, teniendo en cuenta el dato dado por el plan de desarrollo. Una vez hallado este porcentaje, se procede a multiplicarlo por la población del municipio de Nuquí, del año 2015. De esta manera se logra tener un aproximado de la población actual del corregimiento de Jurubirá. Estos fueron los resultados:

Tabla 45

Población Jurubirá

AÑO	NUQUI	JURUBIRA	%
2011	8187	625	7,6
2015	8576	652	7,6

Frente a lo anterior, se concluye que actualmente el corregimiento de Jurubirá cuenta aproximadamente con una población de 652 habitantes que corresponden al 7.6% del total de la población proyectada por el DANE para el Municipio de Nuquí.

Para el análisis de los siguientes capítulos es necesario conocer la cantidad de viviendas de la zona de estudio, razón por la cual se decidió tomar la densidad poblacional del municipio de Nuquí dada por el DANE, en el boletín del censo general del 2005, perfil municipal de Nuquí. El boletín indica que en las viviendas de la zona, en su mayoría habitan 4 personas, por lo que dividiendo la población hallada anteriormente, por 4 habitantes, se puede tener el dato de viviendas en la zona de estudio. Este dato corresponde a 163 viviendas para el año 2015.

Cabe aclarar que ni la población, ni la demanda energética calculada por vivienda en el siguiente capítulo, se proyectan a futuro para suplir la necesidad objeto de estudio, puesto que el objetivo principal de esta investigación es suplir la demanda energética actual de la zona. Además de esto, como lo indica (Lorenzo, 2011a) en su “*Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma*” realizado en España, para la estimación de consumos de energía “*siempre es fundamental los datos aportados por el consumidor, y deben ser siempre lo más realistas posibles para evitar desviaciones en el dimensionamiento*”.

Por otro lado, como lo indica el documento “Escalafón. Competitividad de los departamentos de Colombia 2012-2013”, todo el departamento del Chocó posee deficiencias en términos de fortaleza de la economía, competitividad, capital humano, ciencia y tecnología lo que lo convierten en una zona con condición de gran colero, correspondiente a zona con un déficit de desempeño y crecimiento local (Ramírez, Parra-peña, Fonseca, & Arevalo, 2013).

6.6 Ingreso Per-Cápita:

El ingreso Per cápita; según la biblioteca Luis Ángel Arango, en su biblioteca virtual; El ingreso per cápita tiene una estrecha relación con el ingreso nacional. El ingreso hace referencia a todas



**TESIS DE GRADO
GESEA - SEMILLERO DE GESTIÓN ENERGÉTICA
Y SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICO-AMBIENTAL**

ENTREGA FINAL

las entradas económicas que recibe una persona, una familia, una empresa, una organización, etc. El ingreso nacional corresponde a la suma de todos los ingresos individuales de los nacionales de un país.

El ingreso per cápita es un cálculo que se realiza para determinar el ingreso que recibe, en promedio, cada uno de los habitantes de un país; es decir, en promedio, cuánto es el ingreso que recibe una persona para subsistir. Este cálculo se obtiene dividiendo el ingreso nacional entre la población total de un país: $\text{Ingreso per cápita} = \text{Ingreso nacional (IN)} / \text{Población total (PT)}$.

Ahora bien se pretende identificar cuál es el ingreso Per-Cápita de la zona de estudio; sin embargo se evidencia que el DANE en su Comunicado de prensa “Resultados de Pobreza Monetaria y Desigualdad 2012, por Departamentos” plantea que el departamento con el menor ingreso per cápita fue Chocó (\$227.493), cuyo ingreso es el 45.5% del ingreso per cápita nacional, para el año 2012. (Dane, 2013)

Sin embargo DANE no ha emitido ningún boletín en el cual se desprece el ingreso Per-Cápita municipal, por esta razón se hace necesario analizar el dato departamental.

De esta manera se evidencia que al ser el Chocó uno de los departamentos con menos ingresos per- cápita dados por la nación, y al ser el corregimiento de Jurubirá una zona con escasa actividad comercial e industrial, se puede deducir que la población no cuenta con recursos destinados a la energía. Razón por la cual el Ministerio de Minas Y Energías emite la resolución 182138 del 2007 por la cual se expide el Procedimiento para otorgar subsidios del sector eléctrico en las Zonas No Interconectadas, la cual fija que para las zonas no interconectadas como lo es el corregimiento de Jurubirá se otorgaran subsidios los cuales podrán cubrir los costos de Administración, Operación y Mantenimiento. Los subsidios asignados a los usuarios no excederán en ningún caso el valor de los consumos básicos o de subsistencia, pero como el corregimiento actualmente consume diésel para la planta, el gobierno subsidia el total del diésel que necesiten, por ende la población no cuenta dentro de sus gastos los correspondientes a la energía.

7. Capítulo IV.

Caracterización ambiental de la zona

Para el presente capítulo se realizará una caracterización y análisis de los consumos energéticos de la zona de acuerdo al combustible que utilicen para realizar sus quehaceres diarios, y a los electrodomésticos que usen por vivienda.

7.1 Consumo Energético Actual

El consumo energético es el gasto total de energía que se requiere para la realización de determinada actividad, para identificar el consumo energético de las viviendas del corregimiento de Jurubirá, se identifica el consumo de los electrodomésticos que en promedio cuenta cada vivienda, de estos electrodomésticos se identifica su potencia y la cantidad de horas al mes las cuales está en funcionamiento, esto con el objetivo de identificar el consumo total por vivienda.

Para conocer el consumo energético por vivienda, teniendo en cuenta los electrodomésticos que utilizan, se toma de referencia las potencias de electrodomésticos dadas en el documento “Uso inteligente de la energía eléctrica” para la promoción del uso eficiente de la energía (Muños, Arboleda, Garcia, Vasques, & Palencia, 2012). Adicional, se toman los datos brindados por la señora CARMEN MOSQUERA, habitante del municipio quien telefónicamente brindó todos los datos necesarios para el presente proyecto.

La metodología utilizada consta de listar todos los equipos de consumo eléctrico que tenga una vivienda de referencia de la zona de estudio, en este caso; la vivienda de la señora CARMEN MOSQUERA. Seguido de esto, es de saberse que no todas las viviendas tendrán estos mismos electrodomésticos, y habrá viviendas que tengan más electrodomésticos que la vivienda de referencia; por lo que se prosigue a crear un nuevo listado para una casa de referencia, que tenga todos los electrodomésticos posibles de poseer en la zona de estudio, y que posteriormente pueden adquirir los habitantes.

Esta metodología utilizada, tiene en cuenta las condiciones de la zona de estudio, tal como lo indica (IAEA, 2007) en su documento “Modelo para el análisis de la demanda de energía”; y

como se evidencia en la “guía para calcular el consumo eléctrico doméstico”, donde presentan consumos domésticos teniendo en cuenta una vivienda típica dependiendo del nivel socioeconómico de la misma. (OSINERG, 2010). A continuación se presentan los resultados:

Tabla 46
Consumo Energético De Electrodomésticos En Ivienda

ELECTRODOMESTICO	POTENCIA (Kw)	CANT.	USO (H/DIA)	DIAS/MES	H/MES	TOTAL (kWh/mes)
NEVERA / CONGELADOR	0,18	1	5	30	150	27
TV DE 20"	0,075	1	2	25	50	3,75
LICUADORA	0,4	1	0,17	25	4,17	1,7
SANDUCHERA	0,5	1	0,17	4	0,67	0,3
RADIO	0,01	1	0,75	28	21	0,21
CARGADOR DE CELULAR	0,012	2	2	26	52	1,25
PLANCHA DE ROPA	1	1	0,30	4	1,20	1,20
BOMBILLO	0,1	5	4	30	120	60
TOTAL	2,277					95,41

Nota: Elaborada por el autor. Fuente EPM (Empresas públicas de Medellín).

Como se evidencia en la tabla 46, para una vivienda se tiene un promedio de consumo energético mensual de 95,41kWh y una potencia instalada de 2,3kW, sin embargo, cabe aclarar que no todas las viviendas de la zona presentan estos mismos equipos por lo que es necesario incluir en el listado, otros equipos que posiblemente la zona posea.

Para lo anterior se decidió tomar como referencia los equipos electrodomésticos utilizados en las zonas tropicales, en el sector residencial, especificados en la guía para el consumo consciente, racional y eficiente de energía, generado por (UPME, 2014), el listado de electrodomésticos usados en un hogar promedio del Valle de Aburra generado en el Parque Explora por (Peláez & Caicedo, 2009) y las potencias de electrodomésticos dada por Empresas Públicas de Medellín EPM, (Muños et al., 2012) Mediante los datos se generó un listado para la zona de estudio, con los equipos que puedan utilizar en los hogares de la zona de estudio, durante las 24 horas del día,

teniendo en cuenta que en cualquier momento la comunidad podrá adquirir alguno de ellos, en cada vivienda. La tabla se presenta a continuación:

Tabla 47
Consumo Energético Posible En 1 Vivienda

ELECTRODOMESTICO	POTENCIA (Kw)	CANT.	USO (H/DIA)	DIAS/MES	H/MES	TOTAL (kWh/mes)
NEVERA	0,18	1	24	30	720	129,6
TV CONVENCIONAL 21"	0,075	1	2	25	50	3,75
PLANCHA	1	1	0,5	8	4	4
COMPUTADOR PORTATIL	0,12	1	4	26	104	12,48
VENTILADOR DE MESA	0,1	1	8	25	200	20
BOMBILLA INCANDESCENTE	0,1	5	8	30	240	120
LICUADORA	0,4	1	0,17	25	4,25	1,7
SANDUCHERA	0,5	1	0,17	8	1,36	0,68
RADIO	0,01	1	0,75	26	19,5	0,195
CARGADOR DE CELULAR	0,012	2	2	26	52	1,248
DVD	0,03	1	2	8	16	0,48
SECADOR DE CABELLO	1,5	1	0,5	4	2	3
TOTAL	4,027		52,09	241	1413,1	297,133

Nota: Elaborada por el autor, Fuente (Pelález & Caicedo, 2009), (UPME, 2014), (Muños et al., 2012)

A lo anterior se evidencia que una vivienda representativa de la zona puede consumir 297kWh/mes, correspondientes a 3.564kWh/año, y demandada una potencia nominal de 4kW.

Para realizar la demanda total de la población de la zona de estudio, se multiplicará el valor anterior por la cantidad de viviendas especificadas en el capítulo 2. Esto se realiza teniendo en cuenta que la vivienda tomada es representativa en la zona, y como lo especifica el Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA, 2007) en su documento titulado “*Modelo para el análisis de la demanda de energía*”, para los cálculos de la demanda energética del sector residencial se debe tener en cuenta las condiciones y necesidades de vida de la población, puesto que así se generará una estimación de dicha demanda, que permita cubrir la necesidad actual de la población objeto de estudio.

Por otro lado, al proyectar el consumo y por ende la demanda energética, se tendrá un sobredimensionamiento de la capacidad instalada de las tecnologías estudiadas en posteriores capítulos, ya que su análisis se basó únicamente en la demanda actual. En caso de que exista un

aumento en la demanda, cualquier tipo de tecnología analizada en esta investigación permitirá adaptarse en el tiempo a las necesidades eléctricas, ya que los equipos son modulares, tal como lo aclara (García, Escribano, Madrona, & Smith, 2014) en su proyecto “*Electrificación rural mediante sistema híbrido eólico-fotovoltaico en Roraima, Brasil*”

La demanda energética de los colegios ubicados en la zona de estudio, no se tendrá en cuenta en la demanda del corregimiento, ya que actualmente cuentan con un sistema fotovoltaico que suministra energía las 24 horas del día a los dos colegios.

En cuanto al sector comercial, se identificó que la zona de estudio no cuenta actualmente con ningún tipo de local comercial como lo especifica el plan de desarrollo municipal de Nuquí, 2012. Sin embargo es posible que la prestación de algún servicio en las casas de la comunidad genere un aumento en la demanda por tal razón se pretende aumentar la demanda con un margen de seguridad del 20%, como lo especifica (Lorenzo, 2011b) en su “*Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma*” realizado en España, para la estimación de consumos de energía.

Frente a lo anterior, se concluye una demanda actual para el corregimiento de Jurubirá de 58.093,2kWh/año hallado mediante la multiplicación de la demanda anual por vivienda, por las 163 viviendas especificadas anteriormente. A esta demanda se le realiza el aumento del 20% del margen de seguridad, para un total de 697.119kWh/año, correspondientes a **697MWh/año**

7.2 Emisiones actuales del sistema implementado para el suministro de energía en Jurubirá Nuquí-Colombia.

Las emisiones pueden ser denominadas como la cantidad de determinados contaminantes que son vertidos a la atmosfera en determinado tiempo. Sus fuentes pueden ser de tipo natural o antrópico. Cuando se refiere a fuentes de tipo natural se habla de fuentes como volcanes y en algunos casos como fuentes provenientes de la descomposición de material vegetal entre otros, por lo contrario cuando se habla de fuente de tipo antrópico se identifica que estas son consecuencia de todas las actividades humanas, dentro de estas fuentes encontramos fuentes fijas (industrias) o fuentes móviles (automóviles, aviones, barcos y demás maquinaria móvil).

Ahora bien para determinar las emisiones de los gases efecto invernadero actuales del sistema implementado para el suministro de energía en el corregimiento de JURUBIRÁ NUQUI-

CHOCO-COLOMBIA, se identifican las emisiones de tipo antrópico generadas por fuentes fijas, de la planta de energía que actualmente funciona con combustible fósil (diesel).

Para la determinación de las emisiones de la planta de energía, se establecerán las horas de funcionamiento y la cantidad de diesel que se consume durante estas horas, estas serán multiplicadas por los factores de emisión obtenidos del FECOC (Factores de Emisión de los Combustibles Colombianos).

En la tabla 48 se identifican las horas de funcionamiento al día, al mes y al año con su respectivo consumo de combustible fósil (diesel).

Tabla 48

Consumo de combustible diesel al año de la planta de energía actual.

Horas de uso al día	Horas de uso al mes	Horas de uso al año	Consumo de combustible (diesel) día	Consumo de combustible (diesel) Mes.	Consumo de combustible (diesel) Año.
5 HORAS	150 HORAS.	1.800 HORAS	20 GALONES	600 GALONES	7.200 GALONES
(De 6:00 pm a 10:00 pm).	(Teniendo un promedio de 30 días mes).	(Multiplicado por los 12 meses del año).	(Consumo de diesel 4 galones por 1 hora de funcionamiento).	(Teniendo en promedio de 30 días por mes).	(Multiplicado por los 12 meses del año).

Nota: elaborada por el autor.

La tabla 38 permite identificar que la planta funciona actualmente 1.800 horas al año y para esto necesita de 7.200 galones de combustible (diesel).

Por otra parte según el plan de desarrollo de la alcaldía del municipio de Nuquí, el combustible que se surte al municipio proviene del puerto de Buenaventura, este a su vez, según el Ministerio De Minas Y Energía se provee de la planta mayorista de ExxonMobil el cual trae el combustible de la refinera de Cartagena, la cual también abastece a todo el Departamento del Choco de combustible diesel, ACPM y Gasolina. Cabe destacar que los requisitos, obligaciones y el

régimen sancionatorio para los distribuidores de combustibles en Colombia se establece en el decreto 4499 del 2005 del Ministerio De Minas y Energía, por tal razón se genera la hipótesis de que el combustible suministrado al municipio de Nuquí y por ende al corregimiento de Jurubirá cumple con los parámetros de calidad establecidos por la norma, razón por la cual para el cálculo de emisiones se tomaran los factores de emisión generados por el FECOC (Factores de Emisión de los Combustibles Colombianos). Cabe resaltar que no se toman en cuenta las variables que puedan llegar a afectar la calidad del combustible como el transporte en pimpinas entre otras.

7.2.1 Emisiones De CO₂ (Dióxido De Carbono)

Las emisiones de dióxido de carbono pueden ser generadas a partir de fuentes naturales o antrópicas; dentro de las fuentes renovables se encuentra las emisiones ocasionadas por fenómenos naturales como erupciones volcánicas, quemas de bosque entre otras. Por lo contrario cuando se habla de fuentes antrópicas se evidencia que están se relacionan principalmente con la quema de combustible fósiles.

Estas últimas emisiones pueden llegar a ser mitigadas como se analiza en: las alternativas para la reducción de CO₂ del sector doméstico de César Antonio Jara González; aquí se plantea como objetivo la disminución de algunos impactos ambientales como lo es el calentamiento global, puesto que el CO₂ contribuye a este fenómeno el cual aumenta la temperatura de la tierra. (César Antonio Jara González, 2010)

Ahora bien se pretende identificar cuantas emisiones de CO₂ emite actualmente la planta de energía del corregimiento de Jurubirá, para esto se es necesario realizar una cuantificación en la cual se relaciona la cantidad de combustible diesel que consume esta planta con los factores de emisión de CO₂ para Colombia los cuales están establecidos en el FECOC (Factores de Emisión de los Combustibles Colombianos).

Identificados los datos como se muestra en la tabla anterior se procede a multiplicarlos por su respectivo factor de emisión de CO₂ establecidos para Colombia Por el FECOC, con el objetivo de identificar las emisiones de CO₂ que se emiten la planta actualmente a la atmosfera.,

correspondiente a FACTOR EMISIÓN DE CO₂: 10,39 Kg/ Galón. En la tabla 49 se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 49

Calculo emisiones de co₂ de la planta de energía actual.

FORMULA 1.

$$7.200 \frac{\text{Galón}}{\text{año}} \cdot 10,39 \frac{\text{Kg}}{\text{Galón}} = 74.808 \frac{\text{Kg}}{\text{año}}$$

FORMULA 2.

$$\frac{74.808 \text{ kg}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ TON}}{1000 \text{ Kg}} = 74,808 \frac{\text{TON}}{\text{Año}}$$

Nota: elaborado por el autor.

En la tabla 49 se identifican las emisiones de CO₂ que emite actualmente la planta de energía a base de combustible diesel del corregimiento de Jurubirá, para esta identificación se es necesario multiplicar los galones que requiere la planta para su funcionamiento por el factor de emisión de CO₂ el cual es tomado por el FECOC (10,39 Kg/ Galón) tal como se muestra en la fórmula 1.

Así mismo en la formula número 2 se realiza la conversión de unidades de $\frac{\text{Kg}}{\text{año}}$ a $\frac{\text{TON}}{\text{Año}}$ con el objetivo de identificar las toneladas al año que actualmente emite la planta de energía con la que cuenta el corregimiento; esta fórmula arroja como resultado una emisión de $74,808 \frac{\text{TON}}{\text{Año}}$

Es importante, por otra parte resaltar que solo se realizan los cálculos para hallar las emisiones de CO₂ (Dióxido de Carbono), puesto que Colombia no ha generado factores de emisión para los gases efecto invernadero como CH₄ (Metano) y NO₂ (Dióxido de Nitrógeno), según lo reporta el FECOC (Factores de Emisión de los Combustibles Colombianos).

7.3 Caracterización de la energía primaria en la zona de estudio.

La energía primaria se caracteriza como un indicador de consumo de los recursos naturales fósiles su medición se realiza en Toneladas equivalente de Petróleo (TEP), que permite definir el concepto en otras palabras tales como la energía liberada por la combustión de una tonelada de petróleo, según (IDEA, 2015).

Ahora bien se identifica la energía primaria de la red de suministro de energía del corregimiento de Jurubirá con el objetivo de evidenciar la cantidad de diesel y la cantidad de kWh que produce este combustible.

Para realizar este cálculo se genera la figura 46 donde se identifica de manera gráfica los factores a tener en cuenta y sus posibles pérdidas a la hora de suministrar la energía en el corregimiento.

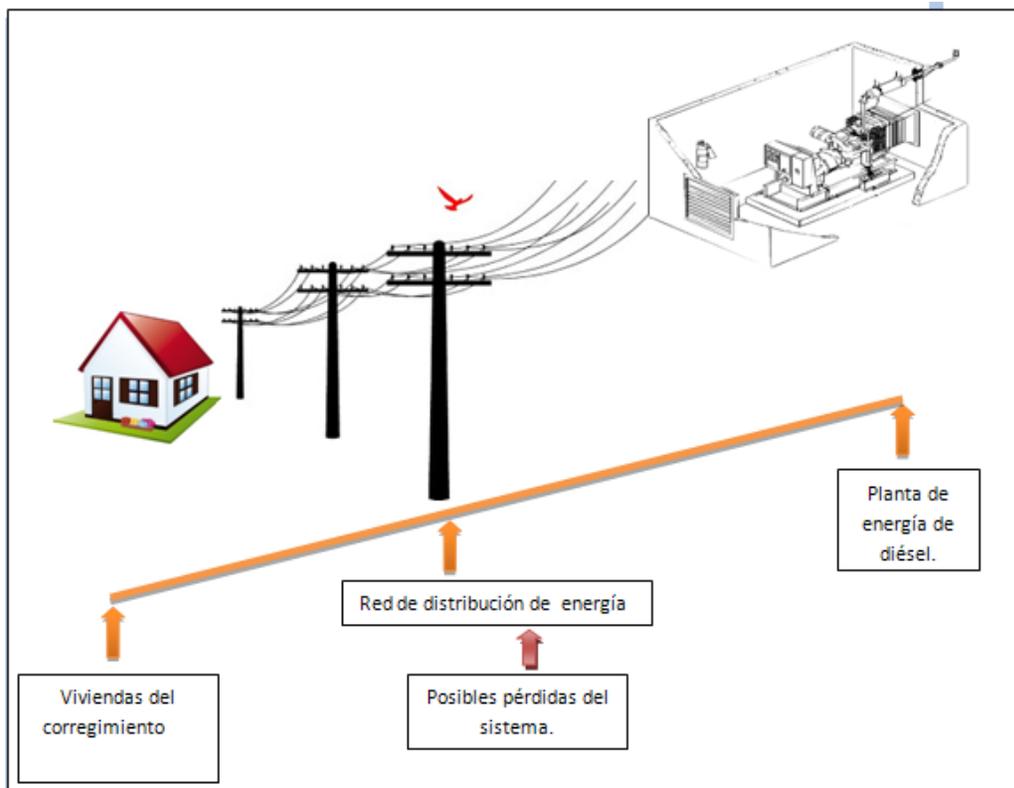


Figura 46. Factores de la red de distribución actual.

Ahora bien para calcular la energía primaria se hace necesario en primer lugar determinar el peso del diesel que se consume al mes (600 galon/mes) para el funcionamiento de la planta, puesto que la densidad para Colombia del diesel corresponde a $865 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$; a continuación se muestran los cálculos pertinentes para esta determinación:

$$600 \frac{\text{galon}}{\text{mes}} * \frac{3,78541178 \text{ litros}}{1 \text{ galon}} = 2.271,23 \frac{\text{Litros}}{\text{mes}} \quad (23)$$

$$2.271,23 \frac{\text{Litros}}{\text{mes}} * \frac{0,001 \text{m}^3}{1 \text{ litro}} = 2,28 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \quad (24)$$

$$2,28 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} * 865 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 1.964,7 \frac{\text{Kg}}{\text{mes}} \quad (25)$$

En segundo lugar se procede a multiplicar el peso hallado ($1.964,7 \frac{\text{Kg}}{\text{año}}$) por el poder calorífico LHV input $42,67 \text{ MJ/ Kg}$, dato tomado por el FECOC para el diesel en Colombia.

$$1.964,7 \frac{\text{Kg}}{\text{mes}} * 42,67 \frac{\text{MJ}}{\text{Kg}} = 83.830,71 \frac{\text{MJ}}{\text{mes}} \quad (26)$$

En tercer lugar se realizan las debidas conversiones de $\frac{\text{MJ}}{\text{mes}}$ a $\frac{\text{Kwh}}{\text{mes}}$ puesto que esta última permite medir el uso eléctrico comercial.

$$83.830,71 \frac{\text{MJ}}{\text{mes}} * \frac{1000000 \text{ J}}{1 \text{ MJ}} = 83.830.710.000 \frac{\text{J}}{\text{Mes}} \quad (27)$$

$$83.830.710.000 \frac{\text{J}}{\text{Mes}} * \frac{1 \text{kWh}}{3.600.000 \text{ J}} = 23.286,31 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} \quad (28)$$

Así pues se logra identificar que el sistema actual de suministro de energía consume $23.286,31 \frac{kWh}{mes}$ sin embargo para evidenciar la energía primaria es necesario convertir este valor en TEP (toneladas equivalentes de petróleo); la cual se define como la energía equivalente a la producida en la combustión de una tonelada de crudo de petróleo.(Galicía, n.d.), para esto se realiza la siguiente operación:

$$23.286,31 \frac{kWh}{mes} * \frac{1 TEP}{11630 kWh} = 2,00 \frac{TEP}{mes} \quad (29)$$

Ahora bien, como la mayoría de cálculos propuestos y realizados en este documento fueron analizados en unidades de tiempo correspondiente a años, es necesario calcular las TEP consumidas al año en la zona de estudio:

$$2,00 \frac{TEP}{mes} \times \frac{12mes}{año} = 24 \frac{TEP}{año} \quad (30)$$

Frente a lo calculado, se puede evidenciar que solamente para la zona de estudio, el Corregimiento consume un total de 24 TEP de energía al año. Este consumo energético permite analizar que entre mayor sea la necesidad energética de la zona, mayor será el consumo de fuentes fósiles, por tanto las TEP de energía aumentarán generando consecuencias para un futuro.

8. Capítulo V.

Valoración técnico-ambiental y financiera

La valoración técnico-ambiental y financiera es una herramienta de evaluación que permitirá verificar cuál de las 4 tecnologías estudiadas en anteriores capítulos, es la más viable y ventajosa para la zona de estudio.

Esta valoración se dividirá en tres partes:

1. Valoración técnica, teniendo en cuenta los datos técnicos de los equipos escogidos, se analizará la cantidad de equipos y la producción energética necesaria para suplir la necesidad de la población.
2. Valoración ambiental, analizando a nivel general las emisiones reducidas a la hora de implementar alguna de las tecnologías estudiadas.
3. Valoración financiera, todo lo relacionado a costos, recuperación de la inversión y viabilidad económica del equipo.

Cada valoración se realizará mediante el uso de la herramienta RETSCREEN. RETScreen es un software de gestión de energías limpias creado en Canadá, que permite analizar la viabilidad de proyectos de energías renovables, gestión y eficiencia energética, el software maneja una base de datos climáticos de 4700 estaciones meteorológicas, y utiliza datos generados por satélites de la NASA para cubrir todo el planeta (Natural Resources Canada, 2014).

El software permitirá cambiar los datos meteorológicos en caso de no querer usar los propuestos por RETSCREEN, sin embargo, para el presente capítulo es más viable utilizar los datos de la NASA ya que son datos directos del municipio de Nuquí.

El análisis de proyectos se realizará mediante el método 1, que permitirá de manera concisa evaluar los componentes técnicos, ambientales y financieros de cada tipo de tecnología; lo que permitirá abarcar todo lo necesario para el análisis del presente capítulo.



**TESIS DE GRADO
GESEA - SEMILLERO DE GESTIÓN ENERGÉTICA
Y SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICO-AMBIENTAL**

ENTREGA FINAL

Para la valoración técnica se tendrá en cuenta la demanda hallada en el capítulo 4, correspondiente a **697MWh** por año; y las especificaciones técnicas de los equipos, evaluadas en el capítulo 3.

Para la valoración Financiera se tendrá en cuenta el costo de los equipos y su instalación, hallados en el capítulo 2. La tasa de inflación a manejar para las 4 energías es de 3.67%, promedio anual del año 2014, tomado del Instituto Nacional de Contadores Públicos de Colombia (INCP, n.d.). Diversos datos serán cambiados continuamente para mostrar la variación de la TIR. La tasa de interés de la deuda se tomará por el 15%, teniendo en cuenta las tasas aplicables de redescuento dadas por la Financiera de Desarrollo, para proyectos públicos, con tasa de interés efectiva anual (FINDETER, 2015). La tasa de redescuento dada equivale a un 5% más el IPC que corresponde a 3.7%. El subtotal equivalente a 8.7% E.A. es la tasa que el FINDETER brinda a las financieras, sin embargo éstas realizan un cobro adicional correspondiente a la intermediación. Para el presente proyecto se optó por aumentar el interés anual a un 15% incluyendo dicha tasa de intermediación. La tasa de oportunidad para proyectos públicos es del 12%, según lo indicado en el artículo “Análisis de las metodologías de evaluación financiera, económica, social y ambiental de proyectos de inversión agrícola utilizadas en Colombia” (Álvarez et al., 2006). Finalmente se tendrá en cuenta que el costo mínimo de generación en \$/kWh, que se encuentra en el programa como “Tarifa de exportación de electricidad”, variará dependiendo del tipo de tecnología.

Para lo anterior, se tomaron los datos correspondientes a costos de inversión en generación dados por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) en la resolución 004 de 2014 “por la cual se establece la formula tarifaria y metodologías generales para remunerar las actividades de generación, distribución y comercialización de energía eléctrica en ZNI” (CREG, 2014).

Los costos de inversión en generación dictados por esta resolución se establecen de acuerdo al tipo de región de la zona donde se instalen, en la misma resolución indican que la zona del pacifico norte corresponde a la región 5.

Para esta región se presenta la figura. 47 tomada de (CREG, 2014), donde se evidencian los costos en kWh, por potencia nominal instalada, por unidad de generación; para un tiempo de prestación del servicio de 24 horas.

Inversión en generación, \$/kWh						
Región 5						
Potencia nominal, kW	24 horas	18 horas	12 horas	8 horas	6 horas	4 horas
5	\$ 355,51	\$ 393,24	\$ 504,00	\$ 593,75	\$ 720,23	\$ 910,57
10	\$ 203,75	\$ 226,06	\$ 290,81	\$ 343,53	\$ 417,27	\$ 528,10
20	\$ 124,22	\$ 137,61	\$ 176,71	\$ 208,47	\$ 253,05	\$ 320,10
25	\$ 109,84	\$ 121,93	\$ 156,95	\$ 185,49	\$ 225,35	\$ 285,25
30	\$ 98,34	\$ 109,04	\$ 140,16	\$ 165,47	\$ 200,93	\$ 254,24
40	\$ 95,74	\$ 107,56	\$ 140,45	\$ 167,74	\$ 204,81	\$ 260,28
50	\$ 86,40	\$ 97,01	\$ 126,59	\$ 151,11	\$ 184,46	\$ 234,38
60	\$ 78,76	\$ 88,16	\$ 114,63	\$ 136,48	\$ 166,39	\$ 211,21
70	\$ 74,94	\$ 83,93	\$ 109,21	\$ 130,09	\$ 158,64	\$ 201,41
80	\$ 90,86	\$ 104,18	\$ 139,28	\$ 169,15	\$ 208,14	\$ 266,12
100	\$ 79,81	\$ 90,95	\$ 120,74	\$ 145,91	\$ 179,14	\$ 228,63
125	\$ 79,58	\$ 91,07	\$ 121,48	\$ 147,31	\$ 181,13	\$ 231,46
150	\$ 76,09	\$ 87,01	\$ 115,97	\$ 140,55	\$ 172,77	\$ 220,74
200	\$ 68,70	\$ 78,18	\$ 103,61	\$ 125,07	\$ 149,88	\$ 195,80
250	\$ 55,27	\$ 64,94	\$ 89,54	\$ 111,61	\$ 139,37	\$ 180,63
300	\$ 53,34	\$ 62,62	\$ 86,25	\$ 107,46	\$ 134,17	\$ 173,88
350	\$ 51,23	\$ 60,05	\$ 82,60	\$ 102,83	\$ 128,35	\$ 166,32
400	\$ 49,61	\$ 58,09	\$ 79,80	\$ 99,27	\$ 123,88	\$ 160,51
450	\$ 49,31	\$ 57,74	\$ 79,34	\$ 98,72	\$ 123,19	\$ 159,62
500	\$ 47,45	\$ 55,46	\$ 76,07	\$ 94,54	\$ 117,94	\$ 152,79
600	\$ 46,73	\$ 55,41	\$ 77,27	\$ 97,16	\$ 121,79	\$ 158,23
700	\$ 47,09	\$ 55,87	\$ 77,96	\$ 98,04	\$ 122,91	\$ 159,69
750	\$ 45,86	\$ 54,36	\$ 75,78	\$ 95,26	\$ 119,41	\$ 155,13

Figura 47. Costos De Generación En \$/Kwh

800	\$ 45,04	\$ 53,34	\$ 74,28	\$ 93,34	\$ 116,99	\$ 151,98
900	\$ 44,40	\$ 52,56	\$ 73,18	\$ 91,94	\$ 115,23	\$ 149,69
1.000	\$ 45,93	\$ 54,46	\$ 75,94	\$ 95,48	\$ 119,69	\$ 155,49
1.250	\$ 43,49	\$ 51,45	\$ 71,60	\$ 89,93	\$ 112,71	\$ 146,41
1.500	\$ 40,27	\$ 48,02	\$ 67,45	\$ 85,26	\$ 107,10	\$ 139,27
1.600	\$ 39,68	\$ 47,30	\$ 66,41	\$ 83,93	\$ 105,42	\$ 137,09
2.000	\$ 37,67	\$ 44,82	\$ 62,83	\$ 79,36	\$ 99,66	\$ 129,59
2.500	\$ 35,77	\$ 42,48	\$ 59,45	\$ 75,03	\$ 94,22	\$ 122,51

Figura 48. Costos De Generación En \$/Kwh

Frente a estos costos se genera por cada tecnología el costo por unidad de generación:

- Energía Solar – Tecnología: Panda60

Potencia nominal de 280W por panel, pero el modulo a adquirir contiene 3 paneles, por lo que su potencia nominal total es de 840W correspondientes a 0.84KW. Su costo de generación será de \$355.51/kWh generado, ya que es el valor máximo de costo de inversión evidenciado en la resolución nombrada anteriormente.

- Energía Eólica – Tecnología: Enair-30

Potencia nominal de 1.5kW por turbina, con un costo de generación de \$355.51/kWh generado, ya que es el valor máximo de costo de inversión evidenciado en la resolución nombrada anteriormente.

- Energía Undimotriz – Tecnología: Wave Dragon

Potencia nominal de 4.000kW por unidad instalada, con un costo de generación de \$35.57/kWh generado, ya que es el valor mínimo de costo de inversión evidenciado en la resolución nombrada anteriormente.

- Energía De Biomasa – Tecnología: Gasificador Pp20

Potencia nominal de 15kW por unidad instalada, con un costo de generación el cual se encuentra entre el rango de \$203.75/kWh y \$124.22/kWh. Para definir el costo de generación, se promedian los dos valores dando como resultado un costo de generación de \$163.95/kWh generado.

8.1 Valoración Para La Tecnología De Energía Solar

En el capítulo 2 se analizaron distintos equipos (paneles solares fotovoltaicos) que pueden ser útiles y aptos para la zona. Después de su evaluación, se escogió el equipo de YINGLI SOLAR, el Panel solar PANDA-60.

Para analizar los tres componentes de este capítulo, se necesitaron los siguientes datos tomados del capítulo 1 y 2:

- Radiación solar diaria especificada por mes: Este dato se analizó en el capítulo 1, pero su fuente es la NASA, por lo que se dejarán los datos que el software arroje para el municipio de Nuquí.
- Equipos: Estos datos se tomaron del capítulo 2, correspondiente a las especificaciones técnicas y costos del equipo PANDA 60, y a las especificaciones del inversor, según sus fichas técnicas. El software posee una base de datos de productos mayormente utilizados a nivel mundial, el equipo escogido para este análisis se encuentra dentro de la base de datos, por lo que se acogerán los datos brindados por el software. La eficiencia será la especificada en el capítulo 2 correspondiente al 80%, al igual que los costos.

8.1.1 Valoración Técnica

Para generación de electricidad por paneles fotovoltaicos el software presenta 2 métodos de análisis, el método 1 donde solamente se tiene en cuenta la producción del equipo y se analiza con respecto a la demanda a suplir. El método 2 realiza lo mismo que el método 1, pero tiene en

cuenta las condiciones meteorológicas de la zona de estudio para validar la producción real de energía con respecto a la radiación solar. A fines del presente capítulo, se hará uso del método 2.

Modelo de Energía RETScreen - Proyecto de generación eléctrica

Sistema eléctrico de potencia del caso propuesto				
Tipo de análisis	<input type="radio"/> Método 1 <input checked="" type="radio"/> Método 2			
Evaluación de recursos				
Modo de rastreo solar	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr><td style="text-align: center;">Fijado</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4,0</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">0,0</td></tr> </table>	Fijado	4,0	0,0
Fijado				
4,0				
0,0				
Inclinación	°			
Azimut	°			

Figura 49. Método RETScreen

8.1.1.1 Modo De Rastreo Solar

Este modo permite rastrear el sol durante el día para aumentar la eficiencia energética; para el presente proyecto se utilizará un modo de rastreo fijo puesto que las tecnologías con rastreo de sol son mucho más costosas.

8.1.1.2 Inclinación

Es la pendiente con que se instalaran los paneles solares, Según colocar los paneles a inclinación igual o menor que la latitud de la zona de estudio, en época de verano, permite captar mayor energía solar para su conversión a energía eléctrica. Frente a esto, y conociendo que la latitud de la zona de estudio es de 5.7°, se decidió tomar una inclinación de 4°.

8.1.1.3 Azimut

Es el grado de orientación con que se instalarán los paneles solares, con respecto al sur. Según ((Sardinero, 2009) en su tesis “Instalación solar fotovoltaica conectada a red sobre la azotea de una nave industrial”, la mayor captación de sol mediante paneles fotovoltaicos se da utilizando un azimut de 0° equivalente a la coordenada norte para los países del sur de América. Para el presente proyecto se utilizará azimut igual a 0°.

8.1.1.4 Datos De La Zona De Estudio

En la siguiente imagen se presentan los datos de radiación solar del municipio de Nuquí, generados por la NASA por cada mes, anualmente se produce 0.820MWh en la zona, con un módulo de 3 paneles. Cabe recalcar que el dato de la tarifa de exportación de electricidad se tomó en base al costo de generación identificado en la resolución CREG 004 de 2014 correspondiente a \$355,51. Dado que la producción anual se encuentra en unidades de MWh, se hace necesario convertir en costo de kWh a MWh, el cual equivale a \$355.510:

Mes	Radiación solar diaria - horizontal kWh/m ² /d	Radiación solar diaria - inclinado kWh/m ² /d	Tarifa de exportación de electricidad \$/MWh	Electricidad exportada a la red MWh
Enero	4,06	4,15	355.510,0	61,95
Febrero	4,67	4,74	355.510,0	63,43
Marzo	5,02	5,04	355.510,0	74,45
Abril	4,21	4,19	355.510,0	60,38
Mayo	4,01	3,96	355.510,0	59,07
Junio	3,58	3,53	355.510,0	51,18
Julio	4,04	3,98	355.510,0	59,37
Agosto	3,86	3,83	355.510,0	57,28
Setiembre	3,49	3,49	355.510,0	50,84
Octubre	3,55	3,58	355.510,0	53,89
Noviembre	3,46	3,51	355.510,0	51,30
Diciembre	3,51	3,58	355.510,0	53,92
Anual	3,95	3,96	355510,00	697,06

Figura 50. Datos De La Zona De Estudio Y Producción De Electricidad

este valor se multiplica por el costo unitario de cada módulo, dando como resultado un costo total de \$51.340.669.161, como se evidencia en la figura 52.

Fotovoltaico		
Tipo		mono-Si
Capacidad de generación eléctrica	kW	663,26
Fabricante		Yingli Solar
Modelo		mono-Si - Panda - YL260C-30b
Eficiencia	%	15,9%
Temperatura normal de operación de las celdas	°C	45
Coefficiente de temperatura	% / °C	0,40%
Área del colector solar	m ²	4.166
Pérdidas varias	%	10,0%
Inversor		
Eficiencia	%	93,0%
Capacidad	kW	7,0
Pérdidas varias	%	7,0%
Resumen		
Factor de utilización	%	12,0%
Electricidad exportada a la red	MWh	697,06
		2551 unidad(es)
COSTO		\$51.340.669.161

Figura 52. Datos De Total De Equipos Y Producción Total De Energía

8.1.2 Valoración Financiera

Teniendo el costo total de los equipos, incluida su instalación, equipos complementarios y mano de obra, necesarios para suplir la demanda energética de la zona de estudio, se realiza una valoración financiera la cual se muestra en la figura 53.

Análisis Financiero

Parámetros financieros

Tasa de inflación	%	3,7%
Tiempo de vida del proyecto	año	20
Relación de deuda	%	100%
Tasa de interés de la deuda	%	15,00%
Duración de deuda	año	15

Costos iniciales

Sistema eléctrico de potencia	\$	51.340.669.161
Otro	\$	
Costos iniciales totales	\$	51.340.669.161

Incentivos y donaciones

	\$	
--	----	--

Costos anuales/pagos de deuda

Costo de O y M (ahorros)	\$	
Costo de combustible - caso propuesto	\$	0
Pagos de la deuda - 15 años	\$	8.780.129.921
	\$	
Costos anuales totales	\$	8.780.129.921

Ahorros y renta anuales

Costo de combustible - caso base	\$	0
Renta por exportación de electricidad	\$	247.811.138
	\$	
Total renta y ahorros anuales	\$	247.811.138

Viabilidad financiera

TIR antes de impuestos - capital	%	negativo
TIR antes - impuestos - activos	%	negativo
Pago simple de retorno del capital	año	207,2
Repago - capital	año	inmediato

Figura 53. Análisis Financiero De Equipo Solar

El tiempo de vida del proyecto corresponde a la vida útil del equipo, que según la ficha técnica, equivale a 20 años. Se plantea que el costo total del proyecto será responsabilidad de la administración municipal de la zona de estudio, por tal razón el préstamo (deuda) será de un 100%, puesto que no se plantea la posibilidad de recibir dinero de organizaciones no gubernamentales ni ninguna otra ayuda económica por parte de otras entidades; esto con el objetivo de identificar la viabilidad del proyecto en el caso de no encontrarse apoyo financiero para este tipo de proyectos debido a la zona, y a su gran inversión.

Se maneja una tasa de interés del 15% correspondiente a la tasa efectiva anual de redescuento del FINDETER, más el porcentaje de intermediación de las financieras. Asimismo se logra identificar que el valor del MWh generado no sufre toda la deuda, por lo tanto para la recuperación del dinero invertido se necesita la implementación de la tecnología por 207 años aproximadamente, y posiblemente un cobro en la tarifa que excede las condiciones económicas de la zona de estudio. En la figura 54 se evidencia el flujo de caja del proyecto, el cual indiscutiblemente genera pérdidas para la administración municipal, puesto que no se obtiene siquiera un punto de equilibrio entre los costos y los ingresos. A esto se concluye que la implementación de esta tecnología no es viable conforme a las características económicas y sociales de la población de estudio, puesto que la población no estaría en condiciones de pagar una tarifa superior a la planteada, para el desarrollo de la valoración financiera.

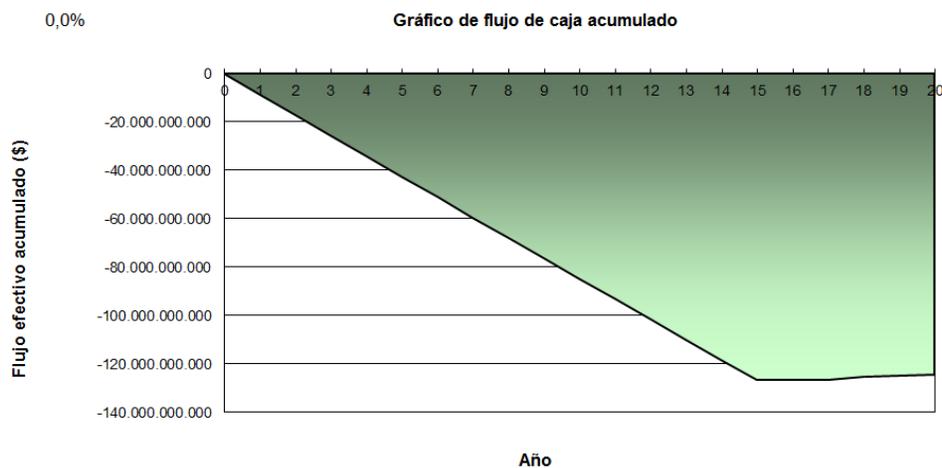


Figura 54. Flujo De Caja Acumulado

Por otro lado, como se evidencia en el apéndice 1 correspondiente al cálculo del Valor Presente Neto, el VPN para la tecnología de energía solar, teniendo en cuenta sus condiciones; da negativa, por un valor de **-\$48.998.286.629** lo que permite analizar que un proyecto de energía solar bajo estas condiciones no es viable financieramente.

8.2 Valoración Para La Tecnología De Energía Undimotriz

8.2.1 Valoración Técnica

Para el análisis de esta tecnología, el software requiere los datos correspondientes a la imagen 33 los cuales fueron tomados de las especificaciones técnicas del capítulo 2.

Modelo de Energía RETScreen - Proyecto de generación eléctrica

Sistema eléctrico de potencia del caso propuesto		
Tecnología		Energía de las olas
Energía de las olas		
Capacidad de generación eléctrica	kW	4.000
Fabricante		WAVE DRAGON
Modelo		24kW/m
Factor de utilización	%	2,0%
Electricidad exportada a la red	MWh	701
Tarifa de exportación de electricidad	\$/MWh	35.570,00

COSTO \$1.656.176.389

Figura 55. Datos Generales De Tecnología Y Equipo

Como se describe en la figura 55, la capacidad de generación del equipo es superior a la necesidad de la zona de estudio. Así como se aclaró en el capítulo 2, el factor de utilización de este equipo será únicamente del 2%, sin embargo se evidencia que su electricidad de exportación a la red corresponde a 701MWh, sobrepasando la demanda energética de la población en 4MWh, electricidad que no será aprovechada y por ende no generará ingresos.

8.2.2 Valoración Financiera

Como se evidencia en la figura 56 el tiempo de vida del proyecto equivale a la vida útil del equipo, sin embargo se plantea una duración de la deuda de 15 años con el objetivo de generar durante los 5 años siguientes posibles ingresos a la zona de estudio. Se plantea que el costo total del proyecto será responsabilidad de la administración municipal de la zona de estudio, por tal

razón el préstamo (deuda) será de un 100%, puesto que no se plantea la posibilidad de recibir dinero de organizaciones no gubernamentales ni ninguna otra ayuda económica por parte de otras entidades; esto con el objetivo de identificar la viabilidad del proyecto en el caso de no encontrarse apoyo financiero para este tipo de proyectos debido a la zona, y a su gran inversión.

Análisis Financiero			
Parámetros financieros			
Tasa de inflación	%		3,7%
Tiempo de vida del proyecto	año		20
Relación de deuda	%		100%
Tasa de interés de la deuda	%		15,00%
Duración de deuda	año		15
Costos iniciales			
Sistema eléctrico de potencia	\$		1.656.176.389
Otro	\$		
Costos iniciales totales	\$		1.656.176.389
Incentivos y donaciones	\$		
Costos anuales/pagos de deuda			
Costo de O y M (ahorros)	\$		
Costo de combustible - caso propuesto	\$		0
Pagos de la deuda - 15 años	\$		283.234.405
	\$		
Costos anuales totales	\$		283.234.405
Ahorros y renta anuales			
Costo de combustible - caso base	\$		0
Renta por exportación de electricidad	\$		24.927.456
	\$		
Total renta y ahorros anuales	\$		24.927.456
Viabilidad financiera			
TIR antes de impuestos - capital	%		negativo
TIR antes - impuestos - activos	%		negativo
Pago simple de retorno del capital	año		66,4
Repago - capital	año		inmediato

Figura 56. Análisis Financiero Tecnología Wave Dragon

Analizando los resultados obtenidos, se identifica que en el año 66 es posible empezar a recuperar la inversión total demostrando una gran pérdida.

La tasa interna de retorno (TIR) permite evidenciar que su rentabilidad es negativa como se evidencia en la figura 57, por ende la tecnología no sería viable para dar solución a la demanda

actual de la zona de estudio, sin embargo, como se especificó en el capítulo 2, un proyecto de interconexión con este equipo en el pacifico, sería muy viable.

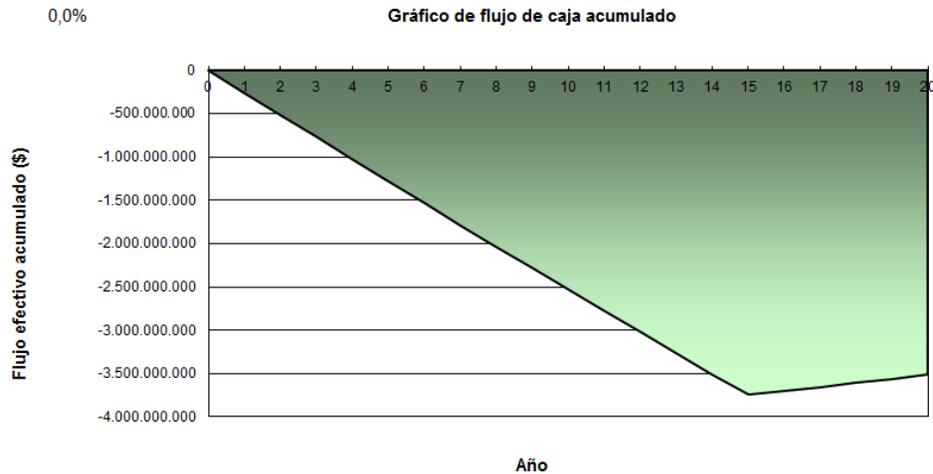


Figura 57. Flujo De Caja Acumulado

Por otro lado, como se evidencia en el apéndice 1 correspondiente al cálculo del Valor Presente Neto, el VPN para la tecnología de energía undimotriz, teniendo en cuenta sus condiciones; da negativa, por un valor de **-\$1.420.554.867** lo que permite analizar que un proyecto de energía undimotriz bajo estas condiciones no es viable financieramente, posiblemente a que su rendimiento utilizado es del 2% únicamente

8.3 Valoración Para La Tecnología De Energía Eólica

8.3.1 Valoración Técnica

Para generación de electricidad por turbinas mini-eólicas, el software presenta 3 métodos de análisis, el método 1 donde solamente se tiene en cuenta la producción del equipo y se analiza con respecto a la demanda a suplir. El método 2 realiza lo mismo que el método 1, pero tiene en cuenta las condiciones meteorológicas de la zona de estudio para validar la producción real de energía con respecto a la velocidad del viento, y se toma como referencia principal la curva de

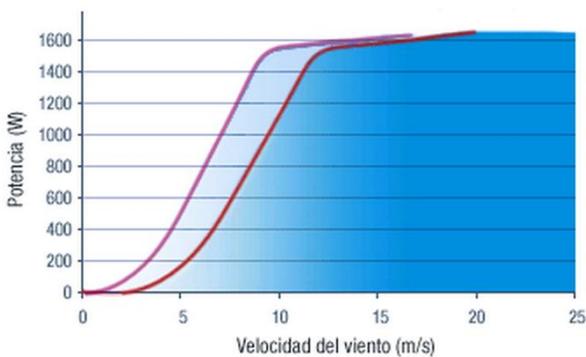
potencia del equipo. El método 3 solamente tiene en cuenta la velocidad del viento de la zona de estudio A fines del presente capítulo, se hará uso del método 2, puesto que se utilizan todas las variables y permite la obtención de resultados más semejantes a las condiciones reales de la zona de estudio.

Para la valoración técnica del aerogenerador mini-eólico escogido, se necesitan los siguientes datos:

- Datos técnicos de la turbina correspondientes a Altura del eje, diámetro del rotor, Área de barrida de la turbina, curva de energía de la turbina. Estos datos son tomados de la ficha técnica y se especifican en la figura 58 mostrada a continuación:

Potencia nominal curva	1500W
Voltaje	24 /48 /220
Clase de viento	IEC / NVN I –A (proceso certificación)
Diámetro	3,2 (conex. Red) 4,1m (carga baterías)
Sentido de giro	Horario
Área barrida	12,56m ²
Peso	130Kg
Aplicaciones	Conexiones aisladas a baterías. Conexión a Red eléctrica
Velocidad viento para arrancar	2 m/s

Curva de potencia



Producción anual

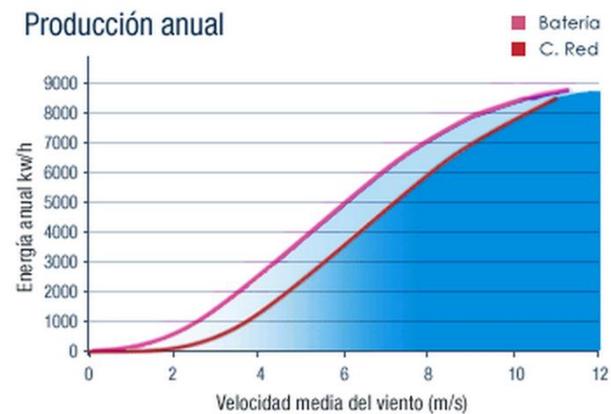


Figura 58. Datos Específicos Y Curvas De Potencia Enair-30

La anterior curva de potencia permite evidenciar la potencia generada en W, de acuerdo a la velocidad del viento posible en la zona donde se instale el equipo.

Frente a lo anterior, se extrapolan los datos de la gráfica y se ingresan al software, teniendo en cuenta que la velocidad de arranque del equipo es de 2m/s, y la velocidad de arranque mínima que permite el programa es de 3m/s, se analiza que la producción máxima por una turbina es de 11.5MWh, si se tiene una velocidad de 15m/s, como se evidencia en la figura 59.

Velocidad del Viento m/s	Datos de curva de potencia kW	Datos de curva de energía MWh
0	0,0	
1	0,0	
2	0,0	
3	0,1	1,5
4	0,2	3,0
5	0,5	4,7
6	0,8	6,2
7	0,9	7,5
8	1,2	8,5
9	1,4	9,4
10	1,5	10,1
11	1,6	10,6
12	1,6	11,0
13	1,6	11,3
14	1,6	11,4
15	1,6	11,5
16	1,6	
17	1,6	
18	1,6	
19	1,6	
20	1,6	
21	1,6	
22	1,6	
23	1,6	
24	1,6	
25 - 30	1,6	

Figura 59. Curva De Potencia Estándar Enair-30

En la siguiente figura (60) se evidencia el uso de condiciones meteorológicas de la zona de estudio, en relación con la capacidad eléctrica del equipo, teniendo en cuenta sus especificaciones técnicas. Se analiza que para una turbina, con las condiciones dadas, se puede obtener 1.5kW de capacidad de generación eléctrica, a una altura de 18m correspondientes a la altura mayor en que según las condiciones técnicas del equipo, se puede implementar la turbina.

Sistema eléctrico de potencia del caso propuesto

Tipo de análisis

Método 1
 Método 2
 Método 3

Evaluación de recursos

Método de evaluación de los recursos

Nuquí

Velocidad del viento - anual	m/s	1,8	1,8
Medido a	m	10,0	10,0
Coefficiente de cizallamiento del viento		1	
Temperatura del aire - anual	°C	25,0	24,6
Presión atmosférica - anual	kPa	98,7	98,7

Turbina - eólica

Capacidad eléctrica por turbina	kW	1,5	
Fabricante	ENAIR		
Modelo	ENAIR-30		
Número de turbinas		1	
Capacidad de generación eléctrica	kW	1,5	
Altura del eje	m	18,0	3,2 m/s
Diámetro de rotor por turbina	m	4	
Área barrida por turbina	m ²	13	
Datos de curva de energía		Estándar	

Pérdidas del arreglo	%	1,0%
Pérdidas de la superficie de sustentación	%	1,0%
Pérdidas varias	%	1,0%
Disponibilidad	%	95,0%

Resumen

Factor de utilización	%	12,3%
Electricidad exportada a la red	MWh	2
Tarifa de exportación de electricidad	\$/MWh	355.510,00

COSTO \$45.553.735

Figura 60. Condiciones De La Zona De Estudio, Equipo Y Producción Energética

En cuanto a las perdidas posibles del equipo, se tiene que las perdidas correspondientes a arreglo, superficie de sustentación y perdidas varias, equivalen al 3%.

Como se evidenció en el capítulo 2, el costo por turbina mini-eólica es de \$45.553.735. Ahora bien, para suplir la necesidad energética de la zona, se necesita un total de 4325 turbinas que generen la demanda anual de la zona de estudio. Frente a esta cantidad, se identifica que el costo total de los equipos equivale a \$19.679.213.520, como se evidencia en la figura 61:

Turbina - eólica

Capacidad eléctrica por turbina

Fabricante

Modelo

Número de turbinas

Capacidad de generación eléctrica

Altura del eje

Diámetro de rotor por turbina

Área barrida por turbina

Datos de curva de energía

Factor de forma

Pérdidas del arreglo

Pérdidas de la superficie de sustentación

Pérdidas varias

Disponibilidad

Resumen

Factor de utilización

Electricidad exportada a la red

kW	1,5	
	ENAIR	
	ENAIR-30	
	432	
kW	648,0	
m	18,0	3,2 m/s
m	4	
m ²	13	
	Estándar	
	2,0	
	%	1,0%
	%	1,0%
	%	1,0%
	%	95,0%

COSTO \$19.679.213.520

Figura 61. Producción Energética Con Total De Equipos A Necesitar

8.3.2 Valoración Financiera

Como se evidencia en la figura 62 el tiempo de vida del proyecto equivale a la vida útil del equipo, sin embargo se plantea una duración de la deuda de 15 años con el objetivo de generar durante los 5 años siguientes posibles ingresos a la zona de estudio. Se plantea que el costo total del proyecto será responsabilidad de la administración municipal de la zona de estudio, por tal razón el préstamo (deuda) será de un 100%, puesto que no se plantea la posibilidad de recibir dinero de organizaciones no gubernamentales ni ninguna otra ayuda económica por parte de otras entidades; esto con el objetivo de identificar la viabilidad del proyecto en el caso de no encontrarse apoyo financiero para este tipo de proyectos debido a la zona, y a su gran inversión.

Análisis Financiero

Parámetros financieros

Tasa de inflación	%	3,7%
Tiempo de vida del proyecto	año	20
Relación de deuda	%	100%
Tasa de interés de la deuda	%	15,00%
Duración de deuda	año	15

Costos iniciales

Sistema eléctrico de potencia	\$	19.679.213.520
Otro	\$	
Costos iniciales totales	\$	19.679.213.520

Incentivos y donaciones

	\$	
--	----	--

Costos anuales/pagos de deuda

Costo de O y M (ahorros)	\$	
Costo de combustible - caso propuesto	\$	0
Pagos de la deuda - 15 años	\$	3.365.481.095
	\$	
Costos anuales totales	\$	3.365.481.095

Ahorros y renta anuales

Costo de combustible - caso base	\$	0
Renta por exportación de electricidad	\$	248.004.753
	\$	
Total renta y ahorros anuales	\$	248.004.753

Viabilidad financiera

TIR antes de impuestos - capital	%	negativo
TIR antes - impuestos - activos	%	negativo
Pago simple de retorno del capital	año	79,4
Repago - capital	año	inmediato

Figura 62. Análisis Financiero Mini eólica Enair-30

Así pues, se evidencia en la figura anterior que con el uso de una tasa de interés equivalente al 15%, el retorno de la deuda se obtendrá a partir del año 80 aproximadamente, lo que no generaría ninguna ganancia, ni se alcanzaría el punto de equilibrio del proyecto. Por tal razón la TIR se presenta negativa.

Por otro lado, como se evidencia en el apéndice 1 correspondiente al cálculo del Valor Presente Neto, el VPN para la tecnología de energía eólica, teniendo en cuenta sus condiciones; da negativa, por un valor de **-\$17.335.000.883** lo que permite analizar que un proyecto de energía eólica bajo estas condiciones no es viable financieramente.

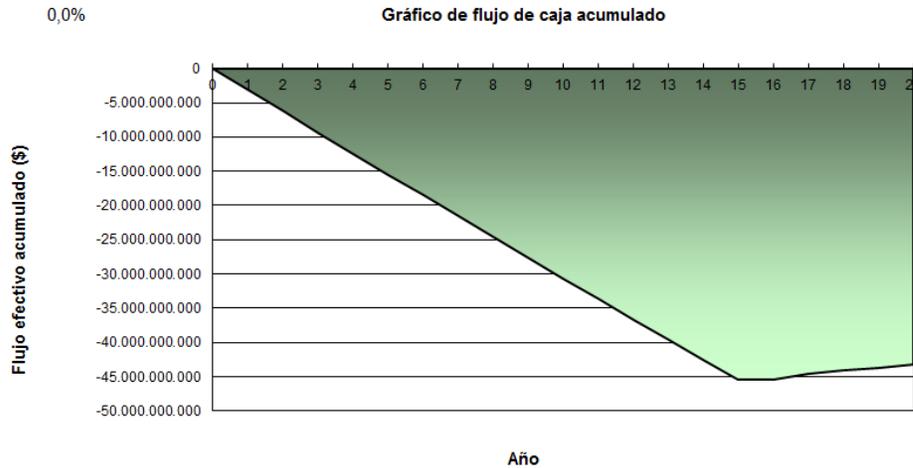


Figura 63. Flujo De Caja Acumulado

En la figura 63 se evidencia un flujo de caja negativo que permite concluir que la viabilidad de esta tecnología en la zona de estudio es nula. Durante los 20 años de planteado el proyecto no se genera un aporte considerable a la deuda, ni mucho menos una ganancia que represente un aporte significativo o positivo a la economía de la zona de estudio.

8.4 Valoración Para La Tecnología De Energía Biomasa

8.4.1 Valoración Técnica

Para el análisis de la tecnología de energía de biomasa se plantea una disponibilidad del 100% equivalente a las 24 horas del día, los 365 días del año, para un total de 8760 horas de disponibilidad de la tecnología.

Se plantea la utilización de la biomasa producida de la zona, la cual será recolectada por la misma comunidad, de los cultivos existentes que se encuentren en la zona de estudio, razón por la cual esta materia prima no tendrá ningún costo, dato evidenciado en la casilla de precio del combustible.

Según la ficha técnica del gasificador con motor-generator a base de pistones, analizado en el capítulo 2, su potencia nominal es de 15kW, identificados en el programa como “capacidad de

generación eléctrica”, sin embargo para cubrir la demanda de la zona de estudio, es necesaria la implementación de 5 gasificadores mas, para obtener una potencia nominal de 90kW, y por ende una generación de 788MWh/año. Cabe mencionar que del total de electricidad generada, 91MWh no estarían contemplados en la demanda por lo que en un principio no se recibiría ingresos por esta energía producida.

El rendimiento calórico del combustible permite la potencia nominal de los 30kW especificados anteriormente. Para este rendimiento, se toman los datos del FECOC correspondientes al poder calorífico del bagazo como materia prima más cercana de la biomasa a utilizar en la zona de estudio, dado que el FECOC no emitió datos del poder calorífico de la biomasa proveniente de cultivos agrícolas, los cuales se generan en el corregimiento de Jurubirá. Para esto se tiene que el poder calorífico del bagazo es de 26.91MJ/Kg. Este poder calorífico se multiplica por la biomasa mínima para combustión especificada en la ficha técnica del equipo, equivalente a 1.2kg/kWh, dando como resultado un rendimiento calórico de 32.292kJ/kWh.

Sistema eléctrico de potencia del caso propuesto

Tecnología	Motor a pistones	
Disponibilidad	h	8.760
Método de selección de combustible	Un sólo combustible	
Tipo de combustible	Biomasa	
Precio del combustible	\$/t	0,000
Motor a pistones		
Capacidad de generación eléctrica	kW	90
Electricidad exportada a la red	MWh	788
Fabricante	ALL POWER LAB	
Modelo	POWER PALLET PP-20	
Rendimiento calórico	kJ/kWh	32.292
Combustible requerido	GJ/h	2,9
Tarifa de exportación de electricidad	\$/MWh	163.950,00

COSTO \$110.383.275

Figura 64. Datos De Producción Con Tecnología De Biomasa

El costo mencionado anteriormente hace alusión al precio de un gasificador. El costo total de los 6 gasificadores necesarios es de \$653.976.312.

8.4.2 Valoración Financiera

Teniendo en cuenta el costo total de los dos gasificadores, se realiza la valoración financiera la cual se muestra en la figura 65:

Análisis Financiero		
Parámetros financieros		
Tasa de inflación	%	3,7%
Tiempo de vida del proyecto	año	10
Relación de deuda	%	100%
Tasa de interés de la deuda	%	15,00%
Duración de deuda	año	5
Costos iniciales		
Sistema eléctrico de potencia	\$	653.976.312
Otro	\$	
Costos iniciales totales	\$	653.976.312
Incentivos y donaciones		
	\$	
Costos anuales/pagos de deuda		
Costo de O y M (ahorros)	\$	
Costo de combustible - caso propuesto	\$	0
Pagos de la deuda - 5 años	\$	195.091.305
	\$	
Costos anuales totales	\$	195.091.305
Ahorros y renta anuales		
Costo de combustible - caso base	\$	0
Renta por exportación de electricidad	\$	129.258.180
	\$	
Total renta y ahorros anuales	\$	129.258.180
Viabilidad financiera		
TIR antes de impuestos - capital	%	26,1%
TIR antes - impuestos - activos	%	-0,7%
Pago simple de retorno del capital	año	5,1
Repago - capital	año	inmediato

Figura 65. Análisis Financiero Tecnología Pp-20

El tiempo de vida del proyecto equivale a la vida útil del equipo, sin embargo se plantea una duración de la deuda de 5 años con el objetivo de generar durante los 5 años siguientes posibles

ingresos a la zona de estudio. Se plantea que el costo total del proyecto será responsabilidad de la administración municipal de la zona de estudio, por tal razón el préstamo (deuda) será de un 100%, puesto que no se plantea la posibilidad de recibir dinero de organizaciones no gubernamentales ni ninguna otra ayuda económica por parte de otras entidades; esto con el objetivo de identificar la viabilidad del proyecto en el caso de no encontrarse apoyo financiero para este tipo de proyectos debido a la zona, y a su gran inversión.

Como se evidencia en la figura 65, la TIR, es del 26.1%, valor correspondiente a la rentabilidad del proyecto, y mayor al costo de oportunidad del 12%, razón por la cual se analiza que esta tecnología es la más viable para suplir la demanda energética de la zona de estudio dado que el flujo de caja se comporta de manera positiva, haciendo que esta inversión se recupere en dos años aproximadamente.

Según la figura 66, Se puede establecer que desde el séptimo año de implementada la tecnología, se generan ganancias a la población que pueden repercutir de manera positiva a la economía de la zona de estudio.

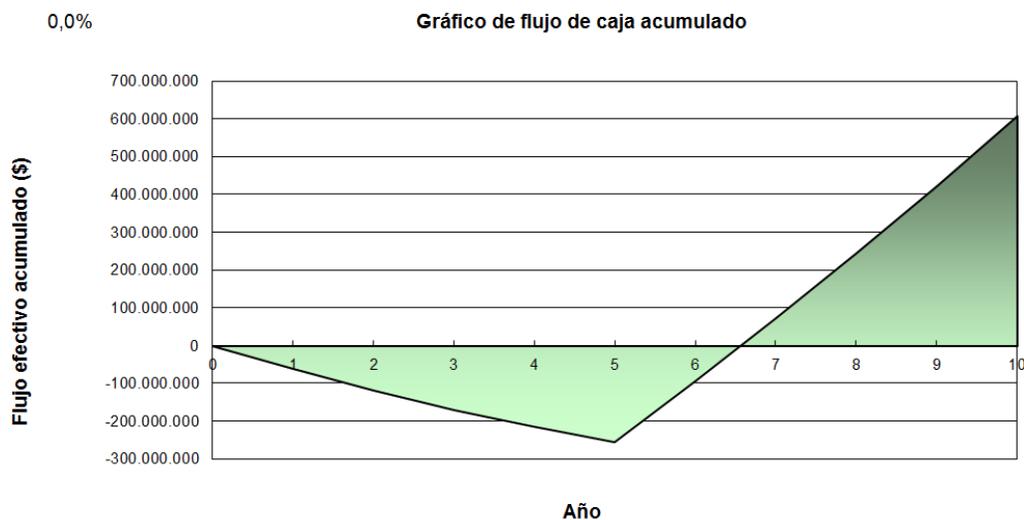


Figura 66. Flujo De Caja Acumulado

Por otro lado, como se evidencia en el apéndice 1 correspondiente al cálculo del Valor Presente Neto, el VPN para la tecnología de energía de biomasa, teniendo en cuenta sus condiciones,

permite obtener un VPN mayor a cero, por lo que permite analizar que el proyecto en caso de ser implementado puede ser viable financieramente. Su valor corresponde a \$181.640.771

8.5 Valoración ambiental de la zona de estudio.

La valoración ambiental se realiza con el fin de identificar las emisiones de CO₂ que se dejan de producir a la hora de implementar el uso de energías renovables en la zona de estudio, puesto que las emisiones de este gas contribuyen al aumento de Gases de Efecto Invernadero, y por ende una variación climática. Estas emisiones corresponden a lo producido por el combustible fósil utilizado actualmente por la planta eléctrica que suministra energía al corregimiento de Jurubirá. En el momento de cambiar de tecnología para generación de electricidad, por una ambientalmente amigable, es posible generar cambio no solo en el suministro de energía de manera eficiente, sino también en la percepción de la comunidad en cuanto a las ventajas de este tipo de tecnologías, y a las desventajas del uso de fuentes fósiles.

Como se nombró anteriormente en el capítulo 3 de caracterización ambiental, el consumo anual de combustible diésel corresponde a 7.200gl, teniendo en cuenta un uso de 5 horas al día, en los 30 días al mes, de los 12 meses del año. Para la valoración ambiental, se requiere hallar la cantidad de diésel a consumir, para una producción de energía las 24 horas al día, durante los 12 meses del año, puesto que las tecnologías anteriormente estudiadas, se plantean para un uso continuo de las 24 horas al día durante los años de vida útil del proyecto.; calculo que se evidencia a continuación en la tabla 50:

Tabla 50

Consumo Diesel En Zona De Estudio Para 24 Horas De Uso De Planta Eléctrica

Horas de uso al día	Horas de uso al mes	Horas de uso al año	Consumo de combustible (diésel) día	Consumo de combustible (diésel) Mes.	Consumo de combustible (diésel) Año.
24 HORAS	720 HORAS.	8.640 HORAS	96gl	2.880gl	34.560gl
(De 00:00 am a 24:00 pm).	(Teniendo un promedio de días mes).	un 30 por los 12 meses del año).	(Consumo de diésel por hora de funcionamiento)	(Teniendo en promedio de días por mes).	(Multiplicado por los 12 meses del año).

Nota: Elaborada por el autor

Una vez identificada la cantidad de combustible utilizado al año (34.560gl), se procede a calcular las emisiones, y la energía primaria que se dejan de producir y consumir a la hora de utilizar tecnologías renovables.

Identificados los datos como se muestra en la tabla anterior se procede a multiplicarlos por su respectivo factor de emisión de CO₂ establecidos para Colombia Por el FECOC, con el objetivo de identificar las emisiones de CO₂ que se emiten la planta actualmente a la atmosfera.

Tabla 51

Calculo emisiones de CO₂ de la planta de energía actual. Factor de emisión de cCO₂: 10,39 kg/ galón

FORMULA 1.

$$34.560 \frac{\text{galon}}{\text{año}} * 10,39 \frac{\text{Kg}}{\text{Galón}} = 359.078,4 \frac{\text{Kg}}{\text{año}}$$

FORMULA 2.

$$359.078,4 \frac{\text{Kg}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ TON}}{1000 \text{ Kg}} = 359,08 \frac{\text{TON}}{\text{Año}}$$

Nota: Elaborado por el autor.

Como se muestra en la tabla 51 se logra evidenciar que las emisiones que se dejarían de emitir a la atmosfera si se cambiara la planta de energía que funciona con Diesel, por una energía renovables en la zona de estudio; corresponde a $359,08 \frac{TON}{Año}$.

Por otro lado se calcula la energía primaria con el objetivo de identificar la cantidad de Toneladas equivalentes de petróleo TEP que se dejaran de utilizar en la zona:

Para calcular la energía primaria se hace necesario en primer lugar determinar el peso del diesel que se consume al mes (2.880 galon/mes) para el funcionamiento de la planta. Para este cálculo se es necesario identificar la densidad del diesel para Colombia la cual corresponde a $865 \frac{Kg}{m^3}$; a continuación se muestran los cálculos pertinentes para esta determinación:

- Conversión De Unidades De Galonaje Consumido

$$2.880 \frac{\text{galon}}{\text{mes}} * \frac{3,78541178 \text{ litros}}{1 \text{ galon}} = 10.901,98 \frac{\text{Litros}}{\text{mes}} \quad (31)$$

$$10.901,98 \frac{\text{Litros}}{\text{mes}} * \frac{0,001m^3}{1 \text{ litro}} = 10,902 \frac{m^3}{\text{mes}} \quad (32)$$

$$10,902 \frac{m^3}{\text{mes}} * 865 \frac{Kg}{m^3} = 9.430,22 \frac{Kg}{\text{mes}} \quad (33)$$

En segundo lugar se procede a multiplicar el peso hallado ($9.430,22 \frac{Kg}{año}$) por el poder calorífico del diesel correspondiente a 42,67 MJ/kg LHV input, dato tomado por el FECOC para Colombia.

- Conversión De Consumo Diesel A Unidades Calóricas

$$9.430,22 \frac{Kg}{\text{mes}} * 42,67 \frac{MJ}{Kg} = 402.387,39 \frac{MJ}{\text{mes}} \quad (34)$$

En tercer lugar se realizan las debidas conversiones de $\frac{MJ}{mes}$ a $\frac{Kwh}{mes}$ puesto que esta última permite medir el uso eléctrico comercial.

- Conversión De Consumo De Diesel A Unidades Energéticas

$$402.387,39 \frac{MJ}{mes} * \frac{1000000 J}{1 MJ} = 402.387.390.000 \frac{J}{Mes} \quad (35)$$

$$402.387.390.000 \frac{J}{Mes} * \frac{1kWh}{3.600.000 J} = 111.774,28 \frac{kWh}{mes} \quad (36)$$

Así pues se logra identificar que el sistema actual de suministro de energía produce para las 24 horas del día, $111.774,28 \frac{kWh}{mes}$, sin embargo para evidenciar la energía primaria se es necesario convertir este valor en TEP (toneladas equivalentes de petróleo); la cual se define como la energía equivalente a la producida en la combustión de una tonelada de crudo de petróleo.(Galicia, n.d.), para esto se realiza la siguiente operación:

- Conversión De Consumo De Diesel A TEP

$$111.774,28 \frac{kWh}{mes} * \frac{1 TEP}{11630 kWh} = 9,61 \frac{TEP}{mes} \quad (37)$$

Finalmente se tiene que la cantidad de TEP que se dejarían de consumir anualmente en la zona de estudio son 115,33TEP/año, hallados mediante la multiplicación de las 9,61TEP/mes, por 12 meses del año.

8.5.1 Emisiones Generadas Durante La Implementación De Las Energías Renovables

Dado que la energía renovable a base de Biomasa es la única energía que dentro del estudio produce CO₂ al exponerse a procesos como la combustión, se presentan a continuación los cálculos para identificar las emisiones de este tipo de Energía, utilizando el factor de emisión dado por FECOC y la cantidad de masa de residuo seco la cual se muestra en la tabla 52:

Tabla 52

Masa De Residuo Seco De Jurubirá

CULTIVO	MRS (Ton/año)	MRS (kg/año)
Arroz secano	326,8	326806,7
Banano	1411,2	1411200,0
CAÑA	20,3	20265,0
Plátano	1318,8	1318800,0
MAIZ	2,9	2928,1
TOTAL	3080,0	3.080.000

Nota: Elaborada por el autor

Como se muestra en la tabla 52 la masa de residuo seco en toneladas de todos los cultivos del corregimiento de Jurubirá corresponden a 3.080 Ton al año; y equivalen a 3.080.000Kg por año. A continuación se procede a realizar los debidos cálculos para hallar las emisiones generadas por estos residuos a la hora de implementar la tecnología de biomasa.

Cabe aclarar que para los cálculos de estas emisiones se tendrá en cuenta el factor de emisión del bagazo como factor más cercano a la biomasa residual generada por los cultivos de la zona de estudio de esta manera se establece que 3.080.000 kg de masa de residuo seco al año será igual a 3.080.000 kg de bagazo al año .

Tabla 53

Emissiones producidas por la biomasa de la zona

FORMULA 1.

$$3.080.000 \text{ kg} \frac{\text{bagazo}}{\text{año}} * \frac{1,68 \text{ Kg } CO_2}{\text{Kg Bagazo}} = 5.174.400 \text{ Kg} \frac{CO_2}{\text{año}}$$

FORMULA 2.

$$5.174.400 \text{ Kg} \frac{CO_2}{\text{año}} * \frac{1 \text{ Ton}}{1000 \text{ Kg}} = 5.174,4 \text{ Ton} CO_2 / \text{año}$$

Nota: Elaborada por el autor

En la tabla 53 se evidencia que las emisiones de CO₂ de la biomasa corresponde a **5.174.400 Kg CO₂** . Sin embargo para poder realizar la comparación de las emisiones de las diferentes alternativas es necesario pasar este valor a unidades de Ton de CO₂, como se muestra en la fórmula 2.

Por otro lado, según Entreprises pour l'Environnement en su “Protocolo para la cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero en actividades de gestión de residuos”, las emisiones generadas por las tecnologías de energía con uso de biomasa son neutrales debido a que “los acuerdos internacionales coinciden en que el dióxido de carbono procedente de la biomasa no se debería contabilizar, puesto que anteriormente fue capturado por los organismos vivos, y por tanto pertenece a un ciclo neutro de carbono”, principalmente coincide con esto el Protocolo de Kioto el cual a su vez permite analizar que existen cambios estacionales de CO₂ debido al crecimiento de plantas que absorben este G.E.I., y que posteriormente, se descomponen biológicamente, generando CO₂ libre emitido de nuevo a la atmosfera (EPE, 2010).

En la tabla 54 se analizan la cantidad de emisiones de CO₂ que están siendo mitigadas a la hora de implementar alguna de las alternativas tecnológicas de las energías renovables para el presente estudio:

Tabla 54
Comparativo de emisiones

ALTERNATIVA	EMISIONES DE CO ₂	TEP
Tecnología energía solar	0 $\frac{TON}{Año}$	0
Tecnologías de energía eólica	0 $\frac{TON}{Año}$	0
Tecnologías de energía Undimotriz	0 $\frac{TON}{Año}$	0
Tecnología de Biomasa	5.174,4 $\frac{Ton}{año}$	0
EMISIONES NEUTRALES		
Sistema actual (Uso de Diesel)	359,08 $\frac{TON}{Año}$	115 $\frac{TEP}{año}$

Nota: Elaborada por el autor

En la tabla 54 se logra evidenciar que las alternativas de energía renovable no generan emisiones de Gases de Efecto Invernadero que impacten sobre el medio ambiente y la población. Las Toneladas de CO₂ generadas por la tecnología de biomasa, como se indicó anteriormente, son emisiones neutrales debido a que anteriormente fueron captados por organismos vivos y se genera un ciclo neutral.

8.6 Observaciones Capitulo IV

Después de valoradas las cuatro tecnologías de posible implementación en la zona de estudio, se analizan 3 variables de cada tecnología para evaluar la más apropiada para la zona de estudio. Las variables a evaluar son la Tasa Interna de Retorno (TIR), años de recuperación de la inversión, y la inversión total por cada tecnología, teniendo en cuenta el total de equipos necesarios para suplir la demanda energética de la población.

Los datos se evidencian en la tabla 55:

Tabla 55

Resumen Datos De Tecnologías Para Viabilidad

TIPO DE ENERGÍA	TECNOLOGIA	CANT. EQUIPOS	\$ INVERSION TOTAL	AÑOS	TIR
SOLAR	PANDA-60	2551	\$ 51.340.669.161	207	-
UNDIMOTRIZ	WAVE DRAGON	1	\$ 1.656.176.389	66	-
EOLICA	ENAIR-30	432	\$ 19.679.213.520	80	-
BIOMASA	PP-20	6	\$ 653.976.312	5	26,1

Nota: Elaborada por el autor

Frente a lo anterior se tiene que las tecnologías correspondientes a energía Solar y energía Eólica no presentan viabilidad para la zona de estudio ya que su TIR es completamente negativa y los años de recuperación de la inversión sobrepasan la vida útil del proyecto. Como se evidencia en la tabla 55, se necesita una cantidad considerable de equipos solares y eólicos para suplir la demanda energética de la zona. Esta cantidad de equipos no solo trae repercusiones en su costo sino impactos sociales y ambientales que pueden generar discordias con la comunidad. Estos impactos pueden centrarse en el aumento de la tarifa del kWh, y en la adecuación de terrenos para la central eólica o solar, que pueden traer problemas a la zona ya que cierta parte del corregimiento se encuentra inmerso en una zona protegida, correspondiente al parque nacional natural de Utría.

La tecnología de energía undimotriz es una tecnología nueva que para el presente proyecto no presenta viabilidad ya que la producción energética mediante el Wave Dragon es muy alta, y el porcentaje de utilización que se toma para suplir la demanda energética de la zona es muy mínimo (2%) para poder generar ingresos considerables. Por esta razón, la tecnología presenta una TIR negativa, y los años de recuperación de la inversión sobrepasan la vida útil del proyecto. Por otro lado, esta tecnología puede ser muy apropiada y viable si se considerara suplir la demanda energética de toda una zona costera, generando así un proyecto de interconexión ya que se haría uso de toda su capacidad instalada, y probablemente se pueda disminuir la tarifa del kWh, haciendo más asequible el servicio, para las Zonas No Interconectadas (ZNI), y zonas rurales de bajos ingresos.

Finalmente, el equipo de la energía de Biomasa permite evidenciar que tanto su costo de inversión como su cantidad de equipos son bajos a comparación de las otras tecnologías. La tecnología presenta una TIR del 26,1% que permite ratificar una rentabilidad deseable y buena



**TESIS DE GRADO
GESEA - SEMILLERO DE GESTIÓN ENERGÉTICA
Y SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICO-AMBIENTAL**

ENTREGA FINAL

para la zona de estudio ya que está por encima del costo de oportunidad equivalente al 12%. La recuperación de la inversión se da en 5 años, por lo que los años restantes generarían un ingreso a la población que puede mejorar la economía de la zona, y posiblemente permita invertir a futuro en mejores tecnologías renovables.

Frente al análisis anterior, se concluye que el equipo más apropiado y rentable para la zona de estudio, con las condiciones actuales presentadas, es el PP-20 correspondiente a la energía de biomasa.

9. Capítulo V.

Valoración social de la zona de estudio

La valoración social permite conocer datos específicos de la zona a nivel económico, que son de carácter prioritario para valorar la posibilidad de disminuir las tarifas del kWh de electricidad, de acuerdo a los ingresos de la población analizada.

Para realizar una valoración social es importante recalcar, como se mencionó en el marco teórico, y en el capítulo de caracterización socio-económica de la zona, que el corregimiento de Jurubirá se dedica principalmente a la producción de arroz y banano; con fuentes alternas de ingresos, como el turismo y el transporte interno del corregimiento.

Una vez identificado el consumo energético por vivienda analizado en el capítulo 4, se logra evidenciar que la demanda para las 24 horas al día, por el total de viviendas es de aproximadamente 697MWh/año.

Como se evidencio en el capítulo 5 de valoración técnico-ambiental y financiera, la tecnología más viable para la zona de estudio es la biomasa debido a sus costos más bajos, y su posibilidad de generar ingresos en el menor tiempo posible, a diferencia de las demás tecnologías analizadas, que presentan un alto costo de implementación y un bajo nivel de ingresos y por ende de recuperación de la deuda.

Frente a lo anterior, se realiza una valoración social en cuanto al costo mínimo de producción posible de manejar en pesos por MWh y pesos por kWh, siempre y cuando no ponga en riesgo la viabilidad financiera de la tecnología escogida para el desarrollo de este proyecto.

Como se mencionó en el capítulo 5, los costos de inversión fueron tomados de la resolución CREG 004-2014 con el fin de mantener dentro de rangos relativamente reales las cifras económicas del proyecto.

Para evidenciar el costo mínimo, se modificara el valor correspondiente a “tarifa de exportación de electricidad” del software RETScreen para analizar hasta qué punto es posible disminuir el costo de generación sin perder viabilidad del proyecto en cuanto a los años de inversión y la TIR.

Este análisis se generará mediante una valoración por colores correspondiente a:

- Aquel Costo que no presente riesgo financiero al proyecto, presentará un color verde
- El costo que genere un riesgo mínimo presentará un color amarillo
- El costo que genere riesgos altos se evidenciará de color rojo.

Tabla 56

Variabilidad Del Costo Teniendo En Cuenta Datos Financieros

\$/MWh	\$/kWh	TIR	AÑO REUPERACION DE LA INVERSION
\$ 163.950	\$ 164	26,1	5,1
\$ 160.000	\$ 160	24,1	5,2
\$ 158.000	\$ 158	23	5,2
\$ 155.000	\$ 155	21,6	5,4
\$ 153.000	\$ 153	20,6	5,4
\$ 150.000	\$ 150	19,2	5,5
\$ 145.000	\$ 145	17	5,7
\$ 143.000	\$ 143	16,1	5,8
\$ 140.000	\$ 140	14,8	5,9
\$ 135.000	\$ 135	12,7	6,1
\$ 134.000	\$ 134	12,3	6,2
\$ 133.500	\$ 133,5	12,1	6,2
\$ 133.200	\$ 133,2	12	6,2
\$ 133.000	\$ 133,0	11,9	6,2
\$ 132.500	\$ 132,5	11,7	6,3

Nota: elaborado por el autor.

En la tabla 56 se realiza una variación de los costos de inversión a los que el generador o inversionista puede vender al recurso energético, analizando que para mantener las condiciones financieras adecuadas del proyecto, es posible manejar rangos de costos entre \$133 y \$164 por kWh, ya que si se manejan valores menores, se corre el riesgo de disminuir la TIR a valores menores a la tasa de oportunidad equivalente al 12%, por lo que su rentabilidad estaría en juego. Se aclara que en aquellos puntos en que el valor permite una TIR menor, pero cercana a la tasa

de oportunidad, el proyecto no generara perdidas ni riesgos altos que consideren la ineficiencia del proyecto. Por otro lado, conforme disminuye la TIR, aumenta los años de recuperación de la inversión.

En la figura 67 se evidencia que la TIR con respecto al \$/kWh es directamente proporcional, es decir, conforme disminuye el costo de generación, disminuye la Tasa Interna de Retorno hasta la tasa correspondiente a la de oportunidad (12%). Se evidencia que entre un costo de \$135/kWh y 133,5/kWh hay una TIR relativamente constante por lo que permite que se mantenga el proyecto por encima de la tasa de oportunidad. El último valor analizado del costo de producción correspondiente a \$133,2/kWh demuestra una TIR igual a la tasa de oportunidad, esto permite concluir que unos costos menores reflejarán una pérdida y un alto riesgo en el proyecto a nivel financiero.

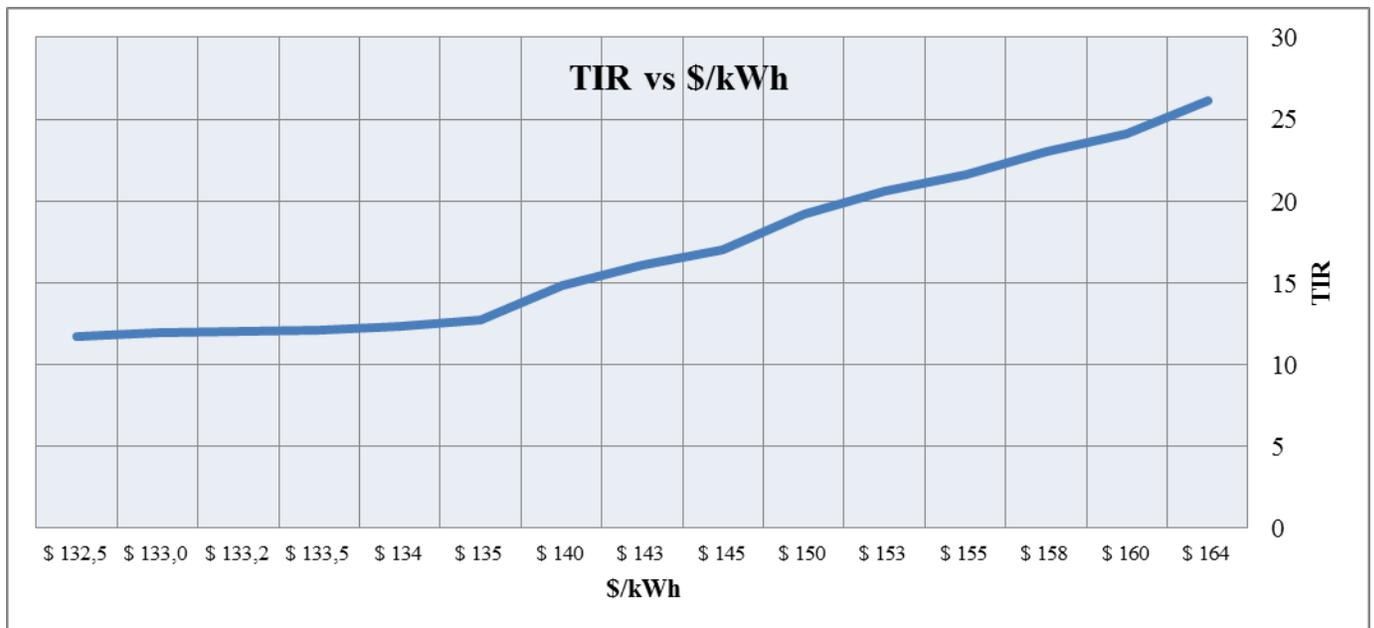


Figura 67. Comparación costo vs TIR

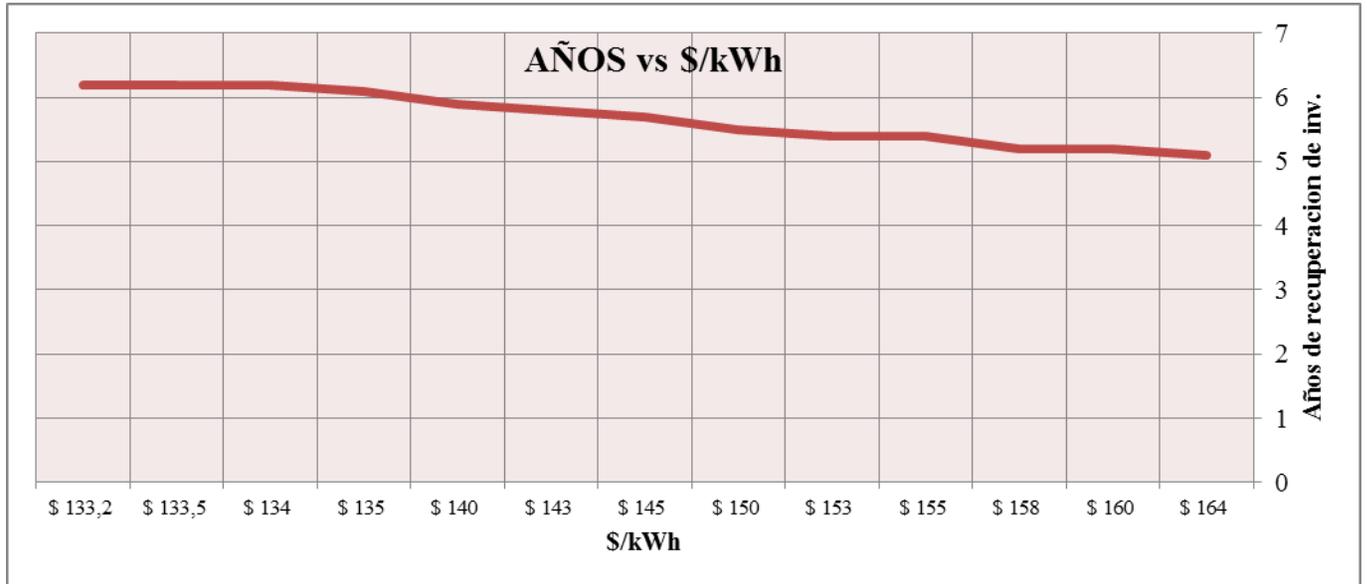


Figura 68. Comparación Costo Vs Años De Recuperación De La Inversión

Por otra parte en la figura 68 se compara el costo por kWh en el eje x y los años de recuperación de la inversión en el eje y . Este gráfico permite analizar que los años de recuperación son inversamente proporcionales al costo de generación. Conforme disminuye el costo de producción, aumentan los años en que se recuperará la inversión poniendo en riesgo el proyecto debido a que se planteó una recuperación de la inversión en no más de 5 años. Sin embargo, comparando las dos gráficas anteriores, es posible obtener una ganancia y un bajo nivel de riesgo en el proyecto, si se manejan costos de generación no inferiores a \$133,2/kWh.

9.1 Comparación Con El Ingreso Per Cápita De La Zona De Estudio

Como se analizó en la caracterización social de la zona, el ingreso Per cápita para el año 2012 es de \$227.423 y no se atribuye ningún porcentaje de dicho valor al gasto de energía debido al subsidio dado por el gobierno para los combustibles usados como fuente de obtención energética. Para realizar una comparación en el marco del proyecto, este ingreso se multiplica por las 4

personas que viven en una vivienda para calcular los ingresos por vivienda. Este valor corresponde a \$909.692.

$$\$227.423 \times 4 = \$909.692/\text{vivienda} \quad (38)$$

Teniendo en cuenta las condiciones de la zona de estudio, se tendrá en cuenta el valor comercial del kWh para la zona del Chocó, para consumos superiores a 173kWh/mes, especificado en la “guía para el consumo consciente, racional y eficiente de energía”, y el cual corresponde a \$364/kWh-mes, que indica el Costo Unitario de energía puesta en la vivienda (UPME, 2014). Lo anterior se realiza ya que el alcance del proyecto no es calcular la tarifa de la zona de estudio.

Frente a esto, se evidencia en primer lugar que frente a la demanda mensual por vivienda, correspondiente a 356,4kWh/mes, calculados en el capítulo IV; el valor de consumo de electricidad a pagar por dicha vivienda es de \$129.730 hallado mediante la multiplicación de precio del kWh/mes, con la demanda mensual.

$$356,4 \frac{kWh}{mes} \times \frac{\$364}{kWh} = \$129,730/mes \quad (39)$$

Este valor la población no lo contempla dentro de sus gastos mensuales, debido al subsidio que tienen para acceder al servicio de energía únicamente por 5 horas, correspondiente al combustible que necesita la planta eléctrica.

Por otro lado, mediante la siguiente ecuación ejemplo, se calcula el valor total del costo de generación para los 356.4kWh/mes consumidos por una vivienda en la zona de estudio:

$$\frac{\$164}{kWh} \text{ generado} \times \frac{356,4kWh}{mes} = \$58.432/mes \quad (40)$$

Estos datos, permiten identificar que el valor mensual del costo de generación de la electricidad consumida por una vivienda fluctúa entre \$58.432 y \$47.223, tal como se evidencia en la tabla 57

Tabla 57
Costo de generación por kWh consumidos

\$/kWh	VALOR TOTAL POR 356,4kWh/mes CONSUMIDOS
\$ 164	\$ 58.432
\$ 160	\$ 57.024
\$ 158	\$ 56.311
\$ 155	\$ 55.242
\$ 153	\$ 54.529
\$ 150	\$ 53.460
\$ 145	\$ 51.678
\$ 143	\$ 50.965
\$ 140	\$ 49.896
\$ 135	\$ 48.114
\$ 134	\$ 47.758
\$ 133,5	\$ 47.579
\$ 133,2	\$ 47.472

Nota: Elaborada por el autor

Ahora bien, según el documento del Banco de la República “Formación de las Tarifas Eléctricas e Inflación en Colombia”, los costos correspondientes a Generación corresponden al 33% del Costo Unitario correspondiente a la tarifa (Lozano & Rincón, 2012). Frente a lo anterior, se calcula el porcentaje al que equivale cada costo de generación identificado en la tabla 56, con respecto al valor pago por vivienda correspondiente a los \$129.730/mes, mediante la siguiente ecuación ejemplo:

$$\frac{\$58.432}{\text{mes}} \text{ de energía generada} \times 100 = \frac{\$5.843.200}{\$129.730} = 45\% \quad (41)$$

Frente a lo anterior se evidencia que el costo de generación relacionado con el valor cobrado por mes a una vivienda de la zona de estudio presenta un porcentaje mayor al 33% indicado por el documento del Banco de la República “Formación de las Tarifas Eléctricas e Inflación en Colombia”, (Lozano & Rincón, 2012). En la tabla 58 se muestran los resultados obtenidos:

Tabla 58
Costo de generación con respecto al valor cobrado por vivienda

S/kWh	VALOR TOTAL POR 356,4kWh/mes CONSUMIDOS	PORCENTAJE CON RESPECTO A \$129,730
\$ 164	\$ 58.432	45%
\$ 160	\$ 57.024	44%
\$ 158	\$ 56.311	43%
\$ 155	\$ 55.242	43%
\$ 153	\$ 54.529	42%
\$ 150	\$ 53.460	41%
\$ 145	\$ 51.678	40%
\$ 143	\$ 50.965	39%
\$ 140	\$ 49.896	38%
\$ 135	\$ 48.114	37%
\$ 134	\$ 47.758	37%
\$ 133,5	\$ 47.579	37%
\$ 133,2	\$ 47.472	37%
\$ 133,0	\$ 47.401	37%
\$ 132,5	\$ 47.223	36%

Nota: Elaborada por el autor

Finalmente, para conocer el costo de generación mínimo que la población posiblemente pueda costear, se realiza la siguiente ecuación, tomando como valor referencia el precio de consumo de energía por una vivienda al mes correspondiente a \$129.730, y multiplicándolo por el 33% correspondiente al porcentaje del costo de generación indicado en por el documento del Banco

de la República “Formación de las Tarifas Eléctricas e Inflación en Colombia”, (Lozano & Rincón, 2012).

$$\$129.730 \times 33\% = \$42.811 \quad (42)$$

Por último, se decide hallar el costo de generación en \$/kWh, con respecto al valor del costo de generación hallado en la ecuación 42, teniendo como dato de referencia \$133/kWh correspondientes al valor mínimo que se puede manejar sin afectar la viabilidad del proyecto, y su valor total de generación de electricidad para una vivienda en la zona de estudio equivalen te a \$47.472. A continuación se presenta la ecuación utilizada:

$$\frac{\$42.811 \times \$133,2}{\$47.472} = \$120,1 \quad (43)$$

Frente a lo anterior, se concluye que para generar energía con un costo de generación menor que le permita a la población de la zona de estudio cubrir dicho gasto, es necesario tener un costo de \$120,1/kWh generado, lo que evidentemente pondría en riesgo la viabilidad del proyecto en caso de ser implementado. Sin embargo, en los valores tomados no se cuenta el subsidio que el gobierno da a este tipo población, por lo que posiblemente el valor a pagar por generación disminuye, y sea más asequible tanto para el inversionista, como para la población.

10. Conclusiones

1. Luego del desarrollo del presente proyecto se logra concluir que los beneficios que puede traer la implementación de la energía de Biomasa al corregimiento de Jurubirá corresponde principalmente a; el suministro de energía de manera constante (24hrs) el cual contribuye a la satisfacción de algunas necesidades básicas de la población, las cuales en la actualidad no han sido resueltas. Adicional a esto; se evidencia que la implementación de esta tecnología en la zona, contribuye al medio ambiente por medio de la disminución de las emisiones de gases efecto invernadero; puesto que si la planta de energía que funciona 5 horas en la actualidad, operara las 24 horas del día emitiría a la atmosfera $359,08 \frac{TON}{Año}$ y gastaría una energía primaria de $115, \frac{TEP}{Año}$, por el contrario si la tecnología de energía renovable de biomasa se implementara; está solamente emitiría a la atmosfera $5.174,4 \frac{Ton}{año}$ las cuales serían emisiones neutras puesto las plantas utilizan energía para capturar CO₂ y agua a través de la fotosíntesis. Las emisiones de CO₂ que produce la biomasa al proceder de un carbono retirado de la atmósfera en el mismo ciclo biológico, no alteran el equilibrio de la concentración de carbono atmosférico, y por tanto no incrementan el efecto invernadero. Así mismo se identifica que esta tecnología no requiere de energía primaria, por lo tanto su consumo de TEP es igual a 0. Además de esto se deduce que si la tecnología llega a ser implementada, lograría aportar al crecimiento económico de la zona, contribuyendo a la posible generación de empleos y seguramente del crecimiento de algunos sectores económicos; como el turismo puesto que al ser Jurubirá un corregimiento sostenible en cuanto al suministro de energía, llamaría la atención para el ecoturismo, aspectos que contribuirían a mejorar las condiciones de la población aportando oportunidades de desarrollo social.
1. Luego de analizar los datos de manera mensual se concluyó que la zona de estudio presenta una potencia energética para energía Undimotriz por encima de 3.69kW/m, un potencial energético considerable en Biomasa de (23.022.998kWh/año), esta última debido a que la zona en su mayoría se dedica a la agricultura, por lo que la biomasa residual de dichos cultivos es una fuente primaria de energía aprovechable.

2. El potencial solar correspondiente a $3.95\text{kWh/m}^2\text{-d}$, y el potencial eólico correspondiente a 3.5W/m^2 , de esta manera se evidencia que las tecnologías de energía renovable solar y eólica no son del todo aprovechable debido a que, el potencial eólico depende directamente de la velocidad de vientos, y en la zona de estudio, los vientos tienden a ser menores a 2.5m/s . Así mismo el potencial solar es bajo debido a la poca incidencia de los rayos solares en la zona de estudio, ya que continuamente llueve y está nublado en el corregimiento analizado. Sin embargo se concluye que es posible aprovechar este potencial mediante el análisis e implementación de una planta de cogeneración para poder suplir la necesidad energética de la zona de estudio.
3. Las condiciones de la zona de estudio analizadas en el capítulo I permitieron resaltar el uso de tecnologías aplicables de los 4 tipos de energía, dicho análisis arrojó el siguiente cuadro comparativo:

TIPO ENERGIA	EQUIPO	POTENCIA NOMINAL	COSTO INVERSIÓN	RELACIÓN COSTO/ kW
SOLAR (1 módulo de 3 paneles)	PANDA 60	0,28 kW/panel	\$20.109.937	\$23.940.401
EOLICA (1 turbina)	ENAIR-30	1.5kW	\$45.553.735	\$30.369.157
UNDIMOTRIZ	WAVE DRAGON	4.000kW	\$1.656.176.389	\$414.044
BIOMASA	Gasificador PP-20	15kW	\$108.996.052	\$7.266.403

Frente a lo anterior se concluye que para la zona de estudio estos equipos permitirán aprovechar mayormente el potencial energético analizado de la zona de estudio, pero para su viabilidad es necesario estudiar la cantidad de equipos a utilizar, los costos y la recuperación de la inversión. La tecnología que obtuvo un menor valor frente a la relación Costo/Kw corresponde a la UNDIMOTRIZ con un costo de \$414.044. Este resultado permite concluir que para tener un mayor beneficio de este tipo de tecnología, se puede plantear la posibilidad de generar un proyecto de interconexión entre todo el

litoral del pacífico Colombiano que permita aprovechar el 100% de la capacidad instalada del equipo y a su vez suplir la necesidad energética que actualmente presenta la zona.

Así mismo, se analiza que la tecnología de Biomasa presenta un costo de \$7.266.403, el cual supera el valor de la undimotriz, sin embargo su costo de inversión es mucho menor comparado con el de la tecnología undimotriz.

4. Después de realizados los análisis, las determinaciones y los cálculos necesarios en cuanto a potencia energética, costos, tecnologías y demás; se concluyó que la tecnología más apropiada para suplir la necesidad de la zona, y disminuir los impactos generados por las emisiones producidas por la quema de combustible diésel en la planta eléctrica, es el gasificador PP-20 correspondiente a la energía de biomasa residual aprovechable en la zona de estudio.
5. El resultado de este análisis muestra a la tecnología del gasificador con motor-generator a base de pistones y combustible renovable a base de biomasa como la opción viable en la zona de estudio, se identifica que esta tecnología tiene emisiones neutras con respecto al sistema actual y que su costo de operacional mínimo por kWh de electricidad generada corresponde a \$133,2 sin colocar el proyecto en un riesgo financiero.
6. Al comparar los costos por kWh del proyecto, con las tarifas mínimas recomendadas por la UPME para las zonas no interconectadas, se concluye que de cualquier forma el proyecto debe ser subsidiado para que pueda implementarse, puesto que si se maneja valores menores en cuanto al peso (\$) de electricidad generada, se corre el riesgo de disminuir la TIR por debajo de la tasa de oportunidad manejada para el proyecto; la cual equivale al 12% y por ende se vería reducida la viabilidad financiera del proyecto.
7. Después de valoradas las cuatro tecnologías de posible implementación en la zona de estudio, se analizan 3 variables de cada tecnología para evaluar la más apropiada para la zona de estudio. Las variables a evaluar son la Tasa Interna de Retorno (TIR), años de recuperación de la inversión, y la inversión total por cada tecnología, teniendo en cuenta el total de equipos necesarios para suplir la demanda energética de la población. Los datos se evidencian en la siguiente tabla:

TIPO DE ENERGÍA	TECNOLOGIA	CANT. EQUIPOS	\$ INVERSION TOTAL	AÑOS	TIR
SOLAR	PANDA-60	2551	\$ 51.340.669.161	207	-
UNDIMOTRIZ	WAVE DRAGON	1	\$ 1.656.176.389	66	-
EOLICA	ENAIR-30	432	\$ 19.679.213.520	80	-
BIOMASA	PP-20	6	\$ 653.976.312	5	26,1

Frente a lo anterior se concluyó que las tecnologías correspondientes a energía Solar y energía Eólica no presentan viabilidad para la zona de estudio ya que su TIR es completamente negativa y los años de recuperación de la inversión sobrepasan la vida útil del proyecto. Como se evidencia en la tabla, se necesita una cantidad considerable de equipos solares y eólicos para suplir la demanda energética de la zona. Esta cantidad de equipos no solo trae repercusiones en su costo sino impactos sociales y ambientales que pueden generar discordias con la comunidad. Estos impactos pueden centrarse en el aumento de la tarifa del kWh, y en la adecuación de terrenos para la central eólica o solar, que pueden traer problemas a la zona ya que cierta parte del corregimiento se encuentra inmerso en una zona protegida, correspondiente al parque nacional natural de Utría.

8. El equipo de la energía de Biomasa permite evidenciar que tanto su costo de inversión como su cantidad de equipos son bajos a comparación de las otras tecnologías. La tecnología presenta una TIR del 26,1% que permite ratificar una rentabilidad deseable y buena para la zona de estudio ya que está por encima del costo de oportunidad equivalente al 15%. La recuperación de la inversión se da en 5 años, por lo que los años restantes generarían un ingreso a la población que puede mejorar la economía de la zona, y posiblemente permita invertir a futuro en mejores tecnologías renovables.
9. La tecnología de energía undimotriz es una tecnología nueva que para el presente proyecto no presenta viabilidad puesto que la producción energética de la tecnología escogida Wave Dragon es bastante alta comparada con la requerida en la zona de estudio por ende se generaría un desperdicio de la producción energéticas teniendo en cuenta además que solo se utiliza un 2% de la eficiencia del equipo.
10. La determinación del costo mínimo por kWh de electricidad generada por la tecnología de mayor viabilidad en la zona de estudio se realiza en el capítulo VI (Valoración social de la zona de estudio). Esta se realiza con la generación de rangos los cuales muestran los

costos que no presentan riesgo financiero, los costos que generan un riesgo mínimo y los que ocasionarían un riesgo alto. Así pues se logró determinar que el costo mínimo por kWh de electricidad que no generaría riesgo financiero es de \$150 con un tiempo de recuperación de la inversión de 5,5 años, sin embargo un costo por kWh de \$133,2, ocasionaría un riesgo mínimo, es decir el proyecto sería sostenible con este costo pero el tiempo de recuperación de la inversión tardaría 6,2 años, es decir 1,2 años más de lo planteado para el proyecto.

11. Para generar energía con un costo de generación menor que le permita a la población de la zona de estudio cubrir dicho gasto, es necesario tener un costo de \$120,1/kWh generado, lo que evidentemente pondría en riesgo la viabilidad del proyecto en caso de ser implementado. Sin embargo, en los valores tomados no se cuenta el subsidio que el gobierno da a este tipo población, por lo que posiblemente el valor a pagar por generación disminuye, y sea más asequible tanto para el inversionista, como para la población

11.Recomendaciones

Se evidencian como recomendaciones de este proyecto de investigación: la necesidad de tener en cuenta para próximos estudios; que al implementar la tecnología WAVE DRAGON a base de energía undimotriz, se podría dar cubrimiento a la demanda energética de una mayor población a la estudiada como lo sería toda la población del litoral pacífico, puesto que esta genera mayor energía según lo arrojado por el software RETScreen. Así mismo se recomienda a futuros estudiantes que tengan interés en el proyecto identificar el tiempo en el cual se lograría recuperar la inversión con una tarifa asequible para las condiciones económicas de la población del pacífico colombiano. Por otra parte se recomienda que para el estudio de la implementación de la tecnología WAVE DRAGON, se tenga en cuenta que es un tipo de Tecnologías son experimentales, por tanto se deben identificar los impactos positivos y negativos que traería la implementación de esta en Colombia.

Por otra parte se recomienda a los estudiantes que se muestren interesados en la implementación de este tipo de proyectos que se basen el software RETScreen, dado que este permite la identificación de viabilidad económica, ambiental, social y técnica de cualquier tipo de proyecto que se base en eficiencia energética a base de energías renovables y cogeneración. Dado que el software es generado por Canadá; es importante mencionar que este país hace un reconcomiendo a los proyectos que usen esta herramienta para generar soluciones energéticas a las diferentes poblaciones del mundo. Así mismo es importante que estos proyectos se implementen no solo para buscar reconcomiendo por parte del país generador del software sino también por generar soluciones viables en el país que sean ambientalmente sostenibles, económicamente viables y socialmente aceptables.

Se recomienda el desarrollo de un estudio de pre factibilidad en el caso de llegar a contemplar la posibilidad de la implementación en la zona de estudio de la tecnología de mayor viabilidad que el presente proyecto de investigación arrojó (biomasa), con el fin de verificar su desarrollo y ejecución.

Por otra parte de evidencia la necesidad de fomentar la investigación en estudiantes de diferentes carreras con énfasis ambiental en el campo de energías renovables, de manera que se permita



**TESIS DE GRADO
GESEA - SEMILLERO DE GESTIÓN ENERGÉTICA
Y SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICO-AMBIENTAL**

ENTREGA FINAL

identificar soluciones efectivas e innovadoras a la problemática energética que el país ha venido presentando en cuanto al suministro de energía constante y renovable en las zonas no interconectadas del país, puesto que existe escasas bibliográfica en cuanto a investigaciones y proyectos implementados en estas zonas a base de energías renovables.

Se plantea la posibilidad de realizar estudios económicos en el corregimiento de Jurubirá que contemplen el crecimiento económico dado en el caso que la tecnología de energía renovable de biomasa llegue a ser implementada.

Apéndice 1

Cálculo del Valor Presente Neto (VPN)

A continuación se presentan los cálculos establecidos para hallar el Valor Presente Neto (VPN) por cada tecnología de energía renovable, mediante la herramienta Excel:

- Energía Solar

Tabla 59

Valor Presente Neto para tecnología Panda 60

SOLAR	AÑO	FLUJO DE EFECTIVO	VP
	0	\$ (51.340.669.161)	(\$ 51.340.669.161,00)
	1	\$ 247.811.138	\$ 221.259.944,64
	2	\$ 256.930.588	\$ 204.823.491,61
	3	\$ 266.385.634	\$ 189.608.032,24
	4	\$ 276.188.625	\$ 175.522.864,13
	5	\$ 286.352.366	\$ 162.484.022,79
	6	\$ 296.890.133	\$ 150.413.781,10
	7	\$ 307.815.690	\$ 139.240.185,93
	8	\$ 319.143.308	\$ 128.896.629,26
	9	\$ 330.887.781	\$ 119.321.451,09
	10	\$ 343.064.452	\$ 110.457.571,86
	11	\$ 355.689.223	\$ 102.252.152,24
	12	\$ 368.778.587	\$ 94.656.278,07
	13	\$ 382.349.639	\$ 87.624.668,85
	14	\$ 396.420.106	\$ 81.115.407,73
	15	\$ 411.008.366	\$ 75.089.691,73
	16	\$ 426.133.473	\$ 69.511.600,34
	17	\$ 441.815.185	\$ 64.347.881,46
	18	\$	\$ 59.567.753,12

	458.073.984	
19	\$	\$ 55.142.720,03
	474.931.107	
20	\$	\$ 51.046.403,69
	492.408.571	
	VPN	(\$ 48.998.286.629,08)

Nota: Elaborada por el autor

- Energía Undimotriz

Tabla 60

Valor Presente Neto para tecnología Wave Dragon

AÑO	FLUJO DE EFECTIVO	VP
0	\$ (1.656.176.389)	(\$ 1.656.176.389,00)
1	\$ 24.927.456	\$ 22.256.657,14
2	\$ 25.844.786	\$ 20.603.305,47
3	\$ 26.795.875	\$ 19.072.774,21
4	\$ 27.781.963	\$ 17.655.939,55
5	\$ 28.804.339	\$ 16.344.355,47
6	\$ 29.864.339	\$ 15.130.203,35
7	\$ 30.963.346	\$ 14.006.245,39
8	\$ 32.102.797	\$ 12.965.781,44
9	\$ 33.284.180	\$ 12.002.609,11
10	\$ 34.509.038	\$ 11.110.986,72
11	\$ 35.778.971	\$ 10.285.599,13
12	\$ 37.095.637	\$ 9.521.526,05
13	\$ 38.460.756	\$ 8.814.212,69
14	\$ 39.876.112	\$ 8.159.442,60
15	\$ 41.343.553	\$ 7.553.312,58
16	\$ 42.864.996	\$ 6.992.209,36
17	\$ 44.442.428	\$ 6.472.788,09
18	\$	\$ 5.991.952,41

	46.077.909	
19	\$	\$ 5.546.835,94
	47.773.576	
20	\$	\$ 5.134.785,27
	49.531.644	
	VPN	(\$ 1.420.554.867,02)

Nota: Elaborada por el autor

- Energía Eólica

Tabla 61

Valor Presente Neto para tecnología Enair-30

AÑO	FLUJO DE EFECTIVO	VP
0	\$ (19.679.213.520)	(\$ 19.679.213.520,00)
1	\$ 248.004.753	\$ 221.432.815,18
2	\$ 257.131.328	\$ 204.983.520,34
3	\$ 266.593.761	\$ 189.756.173,11
4	\$ 276.404.411	\$ 175.660.000,25
5	\$ 286.576.094	\$ 162.610.971,66
6	\$ 297.122.094	\$ 150.531.299,48
7	\$ 308.056.187	\$ 139.348.974,38
8	\$ 319.392.654	\$ 128.997.336,28
9	\$ 331.146.304	\$ 119.414.677,01
10	\$ 343.332.488	\$ 110.543.872,44
11	\$ 355.967.124	\$ 102.332.041,91
12	\$ 369.066.714	\$ 94.730.233,08
13	\$ 382.648.369	\$ 87.693.130,06
14	\$ 396.729.829	\$ 81.178.783,25
15	\$ 411.329.487	\$ 75.148.359,35
16	\$ 426.466.412	\$ 69.565.909,80
17	\$ 442.160.376	\$ 64.398.156,50
18	\$	\$ 59.614.293,45

	458.431.877	
19	\$	\$ 55.185.803,08
	475.302.171	
20	\$	\$ 51.086.286,28
	492.793.290	
	VPN	(\$ 17.335.000.883,12)

Nota: Elaborada por el autor

- Energía de Biomasa

Tabla 62
Valor Presente Neto para tecnología PP-20

AÑO	FLUJO DE EFECTIVO	VP
0	\$ (653.976.312)	(\$ 653.976.312,00)
1	\$ 129.258.180	\$ 115.409.089,29
2	\$ 134.014.881	\$ 106.835.842,65
3	\$ 138.946.629	\$ 98.899.465,77
4	\$ 144.059.865	\$ 91.552.648,31
5	\$ 149.361.268	\$ 84.751.594,44
6	\$ 154.857.762	\$ 78.455.761,71
7	\$ 160.556.528	\$ 72.627.619,41
8	\$ 166.465.008	\$ 67.232.424,83
9	\$ 172.590.920	\$ 62.238.016,12
10	\$ 178.942.266	\$ 57.614.620,64
	VPN	\$ 181.640.771,17

Nota: Elaborada por el autor

BIBLIOGRAFÍA

AGUIRRE, D. C. O. M.-J. S. A. & E. H. (2012). una revisión a la reglamentación e incentivos de las energías renovables en Colombia., *XX(2)*, 57.

Alcaldía de Nuquí-Chocó. (n.d.). Información general Nuquí- Chocó.

All power labs. (2012). GASIFICADOR PP20-POWER PALET. Retrieved from <http://www.allpowerlabs.com/products/product-overview>

Álvarez, R. A. R., Dorado, A. M. E., Martínez, C., Ramos, R. L. V., Zamora, A., Bautista, S. Y. G., ... Sanabria, M. (2006). Analisis de las metodologías de evaluación financiera, económica, social y ambiental de proyectos de inversión agrícola utilizadas en Colombia. *Finanzas Y Política Económica*, *1(1)*, 67–96. Retrieved from http://portalweb.ucatolica.edu.co/easyWeb2/files/4_13_rosalse-y-otros.pdf

Appisa. (2015). CONVERSIONES DE MAYOR USO EN LA INDUSTRIA DE GAS. Retrieved from http://www.appisa.com/pdf/apoyo_tecnico/tablas_unidades.pdf

Arias, A. F. O., Restrepo, P. A., Otero, L., Correa, J., & Ortega, S. (n.d.). Las energías del mar. *Propiedad Publica*.

AutoSolar. (2015). Batería AGM 48V 40Ah VISION. Retrieved March 1, 2015, from https://autosolar.es/baterias/bateria-48v/Bater%C3%ADa-AGM-48V-40Ah-VISION_precio

Banco de la Republica. (2015a). DATOS HISTORICOS DEL EURO. Retrieved March 1, 2015, from <https://www.grupoaval.com/portales/jsp/historicoindicadores.jsp>

Banco de la Republica. (2015b). Serie historica DOLAR. Retrieved March 1, 2015, from http://obiee.banrep.gov.co/analytics/saw.dll?Go&_scid=RxUHITMeyyI

Bedard, R., Hagerman, G., & Siddiqui, O. (2004). *System Level Design , Performance and Costs for San Francisco California Pelamis Offshore Wave Power Plant* (pp. 32–40). California. Retrieved from http://oceanenergy.epri.com/attachments/wave/reports/006_San_Francisco_Pelamis_Conceptual_Design_12-11-04.pdf

Bert, G. H. Le. (2009a). Potencial energético de las mareas para generar electricidad. *Revista Digital Universitaria*, *10(6)*, 1–10. doi:ISSN:1067-6079



**TESIS DE GRADO
GESEA - SEMILLERO DE GESTIÓN ENERGÉTICA
Y SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICO-AMBIENTAL**

ENTREGA FINAL

- Bert, G. H. Le. (2009b). Potencial energético de las mareas para generar electricidad. *Revista Digital Universitaria*, 10(6), 1–10. doi:ISSN:1067-6079
- Caipichun, L. O., Uribe, M. V., Almonacid., V. S., Barrientos, B. V., Pérez., K. T., Vera., M. M., & Apablaza., J. V. (2011). *Proyecto Energía Mareomotriz “ Turbinas Marinas ”*. (pp. 1–38). Retrieved from <http://es.slideshare.net/JaysonVillarroel/proyecto-energa-mareomotriz-turbinas-marinas-2>
- Canada., N. R. (n.d.). RETScreen.
- Carcas, M. (2011). The Pelamis Wave Energy Converter. UK: Ocean Power Delivery Ltd. Retrieved from http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/3/3a/Carcas,_M._The_Pelamis_Wave_Energ_Converter.pdf
- César Antonio Jara González. (2010). Alternativas para la reducción de emisiones de CO2 del sector doméstico del municipio de Santa María de Palautordera.
- Chile, M. de E. de. (2009). Energías Renovables No Convencionales.
- Choco, gobernacion del. (2012). PLAN DE DESARROLLO 2012-2015, 17–27.
- Chozas, J. F. (2008). *Una Aproximación al Aprovechamiento de la energía de las olas para la generación de electricidad*. Universidad Politécnica de Madrid. Retrieved from http://oa.upm.es/1203/1/PFC_JULIA_FERNANDEZ_CHOZAS.pdf
- Christensen, L., Friis-Madsen, E., & Kofoed, J. P. (2005). The Wave Energy Challenge: The Wave Dragon Case. *Proceedings of the POWER-GEN 2005 Europe Conference*, 1–20. Retrieved from http://vbn.aau.dk/files/52131745/The_Wave_Energy_Challenge_the_Wave_Dragon_case.pdf
- Clean Energy Brands. (2015). XANTREX (TRACE) C Series - C40 Charge Controllers 40A, 12/24/48V. Retrieved March 1, 2015, from <http://www.cleanenergybrands.com/shoppingcart/products/XANTREX-%28TRACE%29%20C-Series-%252d-C40-Charge-Controllers--40A,-12%7B47%7D24%7B47%7D48V.html?setCurrencyId=5>
- COLCIENCIAS. (2013). Ideas para el cambio - Necesidades priorizadas. Retrieved March 3, 2014, from http://www.ideasparaelcambio.gov.co/2013/pacificopuraenergia/necesidades_priorizadas/
- Colombiana, P., & Cardona, J. G. (1952). r.



**TESIS DE GRADO
GESEA - SEMILLERO DE GESTIÓN ENERGÉTICA
Y SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICO-AMBIENTAL**

ENTREGA FINAL

CREG. Resolucion Creg 004 de 2014.pdf (2014). Bogotá: Comisión de Regulación de Energía y Gas. Retrieved from <http://www.ipse.gov.co/ipse/comunicaciones-ipse/noticias-ipse/899-resolucion-004-de-2014-de-la-creg>

Dane. (2013). Resultados- Pobreza monetaria y desigualdad 2012, por departamentos. *Dane*, 1–18.

DESARROLLO INTEGRAL DE LA CUENCA PACIFICA COLOMBIANA. (n.d.). Retrieved October 2, 2014, from https://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/publicaciones_icesi/article/viewFile/553/553

Díaz, T., & Carmona, G. (2012). COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA. In MC Graw-Hill (Ed.), *Instalaciones solares Fotovoltaicas* (p. 24). Retrieved from <http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>

DIMAR. (2013). Boletín Meteorológico del Pacífico Colombiano ENERO-DICIEMBRE 2013. Retrieved January 17, 2015, from http://issuu.com/dimarcolombia/docs/b_meteo_2013_01

DIMAR. (2014). Boletín Meteorológico del Pacífico Colombiano Enero - Noviembre 2014. doi:ISSN 2339-4080

Dominguez, A. B. (2007). GENERADORES EÓLICOS DE BAJA POTENCIA. *Academia Nacional de Ingenieros*, (3), 411–429. Retrieved from <http://www.acadning.org.ar/anales/2007/19-dominguez.pdf>

Ecogent, A. (2008). APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA DEL MAR.

Ecolife. (n.d.). Aerogeneradores de eje vertical en Colombia. Retrieved February 13, 2015, from <http://ecolife.co/index.php/ecotecno/139-aerogeneradores-de-eje-vertical-en-colombia>

eddy. (n.d.). Características del aerogenerador Eddy. Barranquilla: Amper Ingeniería S.A.S. Retrieved from <http://www.amperingenieria.com/docs/PortafolioProductos.pdf>

Educación, M. De. (2013). Colombia Una Potencia en Energías Alternativas.

ENAIR. (2006). Manual de usuario ENAIR-30. Castalla. Retrieved from <http://www.emisarios.uncan.es/herramientas.htm>

EPA. (2007). Tecnologías de energía renovable. Retrieved January 31, 2015, from <http://www.epa.gov/region9/cleanup-clean-air/pdf/spanish-factsheet-0807.pdf>

EPE. (2010). Protocolo para la cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero en actividades de gestión de residuos. Paris. Retrieved from



**TESIS DE GRADO
GESEA - SEMILLERO DE GESTIÓN ENERGÉTICA
Y SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICO-AMBIENTAL**

ENTREGA FINAL

http://hcredios.asegre.com/DOCUMENTACION_JORNADA_HC_26_MAYO_2011/EpE Protocol/Documento Protocolo.pdf

- ERCO. (2015). PANELES SOLARES. Retrieved February 22, 2015, from <http://www.ercoenergia.com.co/site/index.php/productos/item/98-paneles-solares>
- Estrada, C. A., & Zapata Meneses, A. (2004). Gasificación de biomasa para producción de combustibles de bajo poder calorífico y su utilización en generación de potencia y calor. *Scientia et Technica*, (25), 155–159. doi:ISSN 0122-1702
- F. Melle. (1998). The global and urban environment: the need for clean power systems, *71*(1), 7–11.
- Financiera, E. (n.d.). La tasa interna de retorno.
- FINDETER. (2015). Tasas Aplicables (Tasas de Redescuento). Retrieved April 21, 2015, from [http://www.findeter.gov.co/publicaciones/tasas_aplicables_\(tasas_de_redescuento\)_pub](http://www.findeter.gov.co/publicaciones/tasas_aplicables_(tasas_de_redescuento)_pub)
- Frau, J. I., & Gutierrez, J. (2005). Transporte de energía eléctrica en corriente continua □ : HVDC. *CITCEA-UPC*, (361), 2–14. Retrieved from [http://www.cerien.upc.edu/jornades/jiie2005/ponencias/transporte de energia electronica en cc.pdf](http://www.cerien.upc.edu/jornades/jiie2005/ponencias/transporte%20de%20energia%20electronica%20en%20cc.pdf)
- Galicia, I. E. de. (n.d.). Unidades y factores de conversión.
- García, A. F., Escribano, C. G., Madrona, M. M., & Smith, C. S. (2014). Electrificación rural mediante sistema híbrido eólico-fotovoltaico en Roraima, Brasil. Comunidad de Maturuca. Retrieved from <https://sites.google.com/a/learning.eoi.es/mermemad2013-electrificacion-rural/documentos>
- Gobernación del Chocó. (2012). BASES DEL PLAN DE DESARROLLO 2012-2015, 17–27. Retrieved from <http://www.choco.gov.co/apc-aa-files/33383233323433613733356461666538/plandedesarrollo.pdf>
- Gonzalez, S. A., & Salgado, S. A. (2013). *CONFIGURACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO PARA LA COMERCIALIZACIÓN DE SISTEMAS DE ENERGÍA FOTOVOLTAICOS EN COLOMBIA*. ESUCELA DE INGENIERIA DE ANTIOQUIA. Retrieved from <http://repository.eia.edu.co/bitstream/11190/319/1/INDU0208.pdf>
- Haim, A. P. (2012). Energía undimotriz. *Camara Argentina de Energías Renovables*, 1–12. Retrieved from http://www.clubderoma.org.ar/documentos/Undimotriz_Haim.pdf



**TESIS DE GRADO
GESEA - SEMILLERO DE GESTIÓN ENERGÉTICA
Y SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICO-AMBIENTAL**

ENTREGA FINAL

Hernández, S. J. (2012). *Planeación, diseño e instalación de un prototipo para la conversión de desechos orgánicos en energía térmica*. Universidad Nacional Autónoma de México. Retrieved from www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.../1/Tesis.pdf

IAEA. (2007). *Modelo para el Análisis de la Demanda de Energía (MAED-2)*. Austria: IAEA. Retrieved from http://www.olade.org/sites/default/files/MAED_español_V-April-07.pdf

IDAE. (2006). *Manual de Energías Renovables*. Madrid. Retrieved from http://www.energiasrenovables.ciemat.es/adjuntos_documentos/Energia_Eolica.pdf

IDEAM, U. (2005a). *Atlas de Radiación Solar de Colombia*. Bogotá. Retrieved from http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/0-Primera_Parte.pdf

IDEAM, U. (2005b). *ATLAS DE VIENTO Y ENERGÍA EÓLICA DE COLOMBIA*. Bogotá. Retrieved from <http://www.upme.gov.co/Docs/MapaViento/PROLOGO.pdf>

IDEAM, U. (2005c). *ATLAS DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA RESIDUAL EN COLOMBIA*. Bogotá: IDEAM - UPME. doi:ISBN 978-958-8504-59-9

INCP. (n.d.). *Índice de inflación 1955-2011*. Retrieved February 11, 2015, from <http://www.incp.org.co/indicadores-economicos-e-informacion-financiera-incp/indice-de-inflacion-1955-2011/>

IPSE. (n.d.). *Sobre Información Institucional - ¿Qué son las ZNI?* Retrieved October 13, 2014, from <http://www.ipse.gov.co/ipse/atencion-ciudadano/preguntas-frecuentes-y-respuestas/2-Institucional/3-Qué son las ZNI>

IPSE. (2013). *Energías Renovables en las ZNI* (pp. 1–21). Bogotá. Retrieved from <http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/archivosEventos/9988.pdf>

IVIE. (2013). *Análisis de la situación económica, social y territorial de la Comunidad Valenciana*. Valencia. Retrieved from http://www.chap.gva.es/documents/599445/599488/Diagnostico+Comunidad+Valenciana+2014-2020_RESUMEN+EJECUTIVO_def.pdf/42a941a6-6fbd-41b9-9dac-298c7bfd737

LBA Industrial. (n.d.). *¿Qué es la Energía Eólica? Definición, ventajas y desventajas*. Retrieved February 23, 2015, from <http://www.lbaindustrial.com.mx/que-es-la-energia-eolica/>

Lesme-Jaen, R., Martínez, J. D., Viera-Andrade, R., & Silva-Lora, E. (2011). *EVALUACIÓN TEÓRICO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA AVANZADO GASIFICADOR DE BIOMASA / MOTOR RECIPROCANTE PARA LA GENERACIÓN DEELECTRICIDAD*. *TECNOLOGÍA QUÍMICA*, XXXI(3), 23–30. Retrieved from <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar36/HTML/Articulo02N.htm>

- Lopez, A., Somolinos, J. A., & Nuñez, L. R. (2014). Modelado Energético de Convertidores Primarios para el Aprovechamiento de las Energías Renovables Marinas. Retrieved October 13, 2014, from http://ac.els-cdn.com/S1697791214000120/1-s2.0-S1697791214000120-main.pdf?_tid=91a44e2e-52f6-11e4-9f7d-00000aab0f27&acdnat=1413218148_bdd7485d22dbe0c24994a101b53b24d3
- Lorenzo, J. A. (2011a). Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma. España: Europe SunFields. Retrieved from http://www.sfe-solar.com/wp-content/uploads/2011/09/Sunfields_Boletin_Fotovoltaica_Autonomas.pdf
- Lorenzo, J. A. (2011b). Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma. España: Europe SunFields.
- Lozano, I., & Rincón, H. (2012). Formación de las tarifas eléctricas e inflación en Colombia. *Banco de La República*, 20–22. Retrieved from http://banrep.dayscript.com/sites/default/files/eventos/archivos/borra634_0.pdf
- Martin, C. C. (2009). Energías renovables energía oceánica.
- Miranda, J. J. M. (2005a). Estructura Financiera del proyecto. In MMEditores (Ed.), *Gestion de proyectos. identificación, Formulación y evaluación*. (5th ed., pp. 202–239). Bogotá. Retrieved from http://antioquia.gov.co/antioquia-v1/organismos/planeacion/descargas/banco_proyectos/libro/preliminares.pdf
- Miranda, J. J. M. (2005b). Estructura Financiera del proyecto. In MMEditores (Ed.), *Gestion de proyectos. identificación, Formulación y evaluación*. (5th ed., pp. 202–239). Bogotá.
- Muños, L. M., Arboleda, C., Garcia, J. G., Vasques, M., & Palencia, C. (2012). Uso inteligente de la energía eléctrica. Medellín: EPM. Retrieved from https://www.epm.com.co/site/Portals/2/documentos/banco_de_recomendaciones_uso_inteligente_energia_electricamarzo_27.pdf
- Murcia, H. R. (2009). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas Development of Solar Energy in Colombia and its Prospects. *Revista de Ingeniería Universidad de Los Andes*, 28, 83–89. doi:ISSN. 0121-4993
- Natural Resources Canada. (2014). RETScreen International Descripción General. Retrieved March 7, 2015, from <http://www.etscreen.net/es/centre.php>
- Neumann, A. L. (2002). LA ENERGÍA EOLICA. Principios básicos y tecnología. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid. Retrieved from http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49917eec3c3bd/1234272455_eolica_ALecuona.pdf



**TESIS DE GRADO
GESEA - SEMILLERO DE GESTIÓN ENERGÉTICA
Y SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICO-AMBIENTAL**

ENTREGA FINAL

- Nex Power Corporation. (n.d.). PANEL NT SERIE 140.pdf. ENF SOLAR. Retrieved from http://es.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/Thin-film/301?utm_source=ENF&utm_medium=panel_profile&utm_campaign=enquiry_company_directory&utm_content=3354
- Olaya, D. (2008). La Tasa Interna de Oportunidad – TIO- y la creación de empresas, 89–101.
- Ortiz, R. E. A., Deibe, A. A. G., Mejía, G. A. M., & Aldana, C. A. V. (2008). Energías Renovables en Colombia. *SER- Escuela de Negocios*, 59–65. Retrieved from http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:36266/componente36265.pdf
- OSINERG. (2010). Guía para calcular el consumo eléctrico domestico. Perú. Retrieved from <http://www.osinerg.gob.pe/newweb/uploads/GFE/GuiaCalcularConsumo1.pdf>
- Peláez, C. T., & Caicedo, A. M. C. (2009). Cálculo del consumo de energía mientras los electrodomésticos están apagados y siguen conectados. Medellín: Parque Explora. Retrieved from http://www.parqueexplora.org/v2_base/file_downloader.php?id_file=5257-m21-6c51412cdda019263dd2f2976d167e63.
- Pinilla, A. (1997). MANUAL DE APLICACIÓN DE LA ENERGÍA EÓLICA. Bogotá: INEA. doi:ISBN 958-96121-5-6
- Poveda, Y. E. M. (2013). *La energía como factor fundamental en el proceso económico La energía como factor fundamental en el proceso económico*. Universidad Nacional de Colombia. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/47638/1/1152185134.2015.pdf>
- Ramírez, J. C., Parra-peña, R. I., Fonseca, A. C., & Arevalo, L. G. (2013). *Escalafón. Competitividad en los departamentos de Colombia* (pp. 1–20). Bogotá. Retrieved from <http://www.cepal.org/colombia/noticias/documentosdetrabajo/6/51446/EscalafonColombia.pdf>
- Renovables, C. A. D. E. (2010). Energía undimotriz, 1–12.
- Rodríguez, J., Sarmiento, A., & Polo, J. (2009). Potencial de generación de energía a lo largo de la costa colombiana mediante el uso de corrientes inducidas por mareas. *Revista de Ingeniería Universidad de Los Andes*, (28), 99–105. doi:ISSN 0121-4993
- Sardinero, I. B. (2009). *Instalación solar fotovoltaica conectada a red sobre la azotea de una nave industrial*. Unviersidad Carlos III de Madrid. Retrieved from http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/6063/PFC_Israel_Blanco_Sardinero.pdf?sequence=1
- Silva, P. A. (2013). Energía undimotriz en Chile. Retrieved February 23, 2015, from <http://enjambr.cl/debatamos/energ%C3%ADa-undimotriz-en-chile>

- Soerensen, H. C. (2006). Wave Dragon –From the 20kW to the 7MW prototipe device. *Wave Dragon APS*, 41. Retrieved from https://ec.europa.eu/research/energy/pdf/gp/gp_events/ocean_energy/1010_wave_dragon_en.pdf
- SOL-I-VENT. (n.d.). Aerogenerador Enair 30 / 24V. Retrieved February 12, 2015, from <http://www.sol-i-vent.es/aerogenerador-enair-30--24v-p-1-50-183/>
- SOL-I-VENT. (2015). Inversor - Cargador Studer Xtender XTM 4000W 48V Cargador 50A. Retrieved March 1, 2015, from <http://www.sol-i-vent.es/inversor--cargador-studer-xtender-xtm-400048-4000w-48v-cargador--50a-p-1-50-431/>
- Subdirección de energía eléctrica. (2013). INFORME MENSUAL DE VARIABLES DE GENERACIÓN Y DEL MERCADO ELÉCTRICO COLOMBIANO – DICIEMBRE DE 2013. Retrieved October 13, 2014, from <http://www.siel.gov.co/LinkClick.aspx?fileticket=6oFR7gGDVIE=&tabid=115>
- Universidad de los Andes. (2009). Biocombustibles de segunda generación y Biodiesel: Una mirada a la contribución de la Universidad de los Andes. doi:0121-4993
- UPME. (n.d.-a). ENERGIAS RENOVABLES DESCRIPCION TECNOLOGICA Y USOS FINALES. doi:9383-36-X
- UPME. (n.d.-b). *Energías Renovables: Descripción, tecnologías y usos finales* (pp. 7–40). Bogotá. Retrieved from <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Iluminacion/CarFNCE.pdf>
- UPME. (2014). Guía para el consumo consciente, racional y eficiente de la energía. Bogotá. Retrieved from <http://www.si3ea.gov.co/LinkClick.aspx?fileticket=VaQh9I97ubc=&tabid=90&mid=449&language=en-US>
- W. Häfele. (1989). Etapas de transición de los sistemas energéticos conforme a las condiciones ambientales y del suministro. *VOLETIN DEL OIEA*, 2, 1–11.
- Yin, S. (2015). Aeolos - H 500W. Aeolos Wind Turbine.
- Yingli Solar. (2008). PANEL SERIE YGE 60 Cells 40mm. Retrieved from <http://www.yinglisolar.com/al/products/multicrystalline/yge-60-cell-series/>
- Yingli-Solar. (2008). PANEL MONOCRISTALINO SERIE PANDA 60 Cell 40mm. Retrieved from http://www.yinglisolar.com/assets/uploads/products/downloads/DS_PANDA60Cell-30b_40mm_EU_EN_B&B_201309_v02.40.pdf